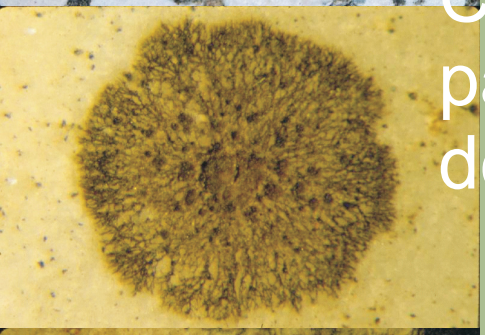
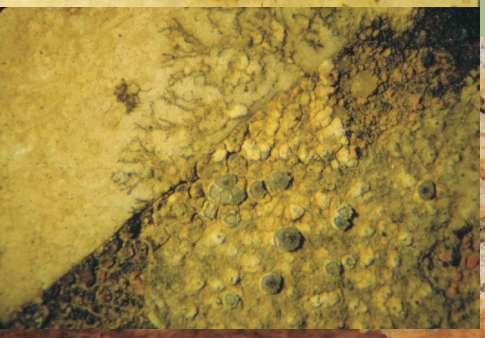




Ciencia y Tecnología para la Conservación del Patrimonio Cultural

TechnoHeritage
Red de Ciencia y Tecnología para la Conservación del Patrimonio Cultural

Miguel Ángel Rogerio Candelera y
Cesáreo Sáiz Jiménez (editores)

Ciencia y Tecnología para la Conservación del Patrimonio Cultural

Primera Reunión de la Red de Ciencia y Tecnología para la Conservación del Patrimonio

Madrid, 28-29 de Junio de 2011
Sede: Instituto del Patrimonio Cultural de España
C/ Pintor El Greco, 4; 28223 Madrid

Programa y Comunicaciones

Volumen editado por

Miguel Ángel Rogerio Candelera
Cesáreo Sáiz Jiménez

Sevilla, 2011

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transcribirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación sin permiso escrito de la Red de Ciencia y Tecnología para la Conservación del Patrimonio Cultural.

Ciencia y Tecnología para la
Conservación del Patrimonio Cultural

© de los textos, los autores
© de la edición, Red de Ciencia y Tecnología
para la Conservación del Patrimonio Cultural

Editores: Miguel Ángel Rogerio Candelera y Cesáreo Sáiz Jiménez
Diseño y Maquetación: Miguel Ángel Rogerio
Edita: Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, CSIC

I.S.B.N.: 978-84-694-6137-2

Impreso en España – Printed in Spain

Introducción

El volumen que presentamos recoge treinta y seis comunicaciones, de las que treinta y cinco fueron presentadas en la Primera Reunión de la Red de Ciencia y Tecnología para la Conservación del Patrimonio Cultural, celebrada en Madrid, en la sede del Instituto del Patrimonio Cultural de España, los días 28 y 29 de junio de 2011. Se recoge, además, una comunicación que no pudo ser presentada directamente por sus autores.

Este conjunto de trabajos resume las actividades en relación con el Patrimonio Cultural de buena parte de los grupos que integran la Red. Esta comenzó a funcionar en Febrero de 2011 con financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación (Acción Complementaria HAR2010-11432-E) y aglutina sesenta y seis grupos, que se distribuyen en tres áreas de actividad: grupos de investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y de diferentes universidades españolas; instituciones culturales, fundaciones y museos; y empresas del sector. La Red pretende fomentar la colaboración entre los actores del sistema ciencia-tecnología-empresa para facilitar la puesta en común de ideas y experiencias que ayuden a la resolución de problemas y permita la transferencia de tecnología con el objetivo común de contribuir a la conservación del Patrimonio Cultural.

Las diferentes actividades que la Red tiene el propósito de llevar a cabo en los próximos tres años se encaminan a:

1. Impulsar a los diferentes grupos mediante la coordinación de actividades, en la actualidad dispersas en diferentes áreas científicas;

2. Obtener el reconocimiento institucional de las actividades y la promoción de los grupos miembros a través de acciones prioritarias;

3. Fomentar la colaboración entre los grupos de cara a crear una masa crítica mediante su asociación en proyectos de investigación nacionales y europeos; y

4. Crear una proyección adecuada de la Red mediante la colaboración con grupos europeos similares para facilitar el acceso a consorcios y proyectos internacionales.

La Primera Reunión de la Red de Ciencia y Tecnología para la Conservación del Patrimonio Cultural, de la que damos cuenta en este volumen, es la primera de las acciones programadas para el período 2011-2014. A lo largo de 2011 se llevarán a cabo Jornadas Técnicas, la convocatoria de ayudas de movilidad entre grupos de la Red y la puesta en marcha del sitio web que servirá como página de referencia de las actividades de la Red (www.technoheritage.es). La revista electrónica *Coalition* (ISSN 1579-8410), que a partir del volumen 22 (Julio 2011)

se publica con el auspicio de la Red, complementará el apartado de difusión de las actividades.

El volumen se organiza siguiendo el orden de las intervenciones que se detallan en el programa, por ello, para no caer en la reiteración, no se ha elaborado un índice de contenidos. Para facilitar la localización de comunicaciones, no obstante, se ha confeccionado un índice de autores que ocupa las dos últimas páginas.

El comité científico de la reunión ha estado compuesto por Cesáreo Sáiz Jiménez, Emilio Cano Díaz, Margarita San Andrés Moya, Marián del Egido, Enrique Sanz Rubio y Miguel Ángel Rogerio Candelera. El comité organizador lo han constituido Marián del Egido, Cesáreo Sáiz Jiménez y Miguel Ángel Rogerio Candelera.

La inestimable ayuda y colaboración del Instituto del Patrimonio Cultural de España ha sido decisiva para la organización de la Reunión.

Cesáreo Sáiz Jiménez
Coordinador

Miguel Ángel Rogerio Candelera
Secretario de la Red

Programa

28 junio 2011		
10.00-10.30	Inauguración	
10.30	Estructura social y territorio. Arqueología del Paisaje	Inés Sastre et al.
10.50	Estudio de materiales y técnicas utilizados en obras de arte	Ángel Justo et al.
11.10	Materiales poliméricos y patrimonio cultural	Massimo Lazzari, A. Ledo
11.30	Grupo de Bioingeniería y Materiales (BIO-MAT) de la Universidad Politécnica de Madrid	Diego A. Moreno, Ana M. García
11.50	Grupo de Tecnología Mecánica y Arqueometalurgia	Antonio Javier Criado Martín et al.
12.10	ICMUV Grupo de Arqueometría	Clodoaldo Roldán, Sonia Murcia-Mascarós
12.30	Láseres y Nanotecnologías para el Patrimonio Cultural	Marta Castillejo et al.
12.50	Rocas ornamentales: procesos fisicoquímicos	Adolfo C. Íñigo et al.
13.10	Grupo de investigación en el Patrimonio Arquitectónico y Sostenibilidad (GIPAS-UAH)	Gonzalo Barluenga et al.
13.30	Monitorización y tratamiento de datos micro-climáticos en el patrimonio cultural: IC9 Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico del IVC+R	Juan Pérez-Miralles et al.
14.10-15.30	Pausa almuerzo	
15.30	Diagnóstico de Impactos Ambientales sobre el Patrimonio Cultural (Histórico, Artístico y Natural) mediante análisis in-situ, observaciones micro-espectroscópicas y modelado químico	Juan M. Madariaga et al.
15.50	Conservación de vidrios y materiales cerámicos históricos y monumentales (CERVITRUM)	Mª Ángeles Villegas et al.
16.10	Mineralogía y Quimiometría de materiales arqueológicos	Rosario García Jiménez et al.
16.30	Petrología y Geoquímica aplicadas a Patrimonio (PGPA)	Mª Pilar Lapuente et al.
16.50	Corrosión y protección de metales para la construcción y el patrimonio cultural	Emilio Cano et al.
17.10	Ciencias de Materiales aplicadas al Patrimonio	Mª Teresa Blanco et al.
17.30	Centro Andaluz de Arqueología Ibérica (CAAI)	Arturo Ruiz, Alberto Sánchez
17.50-18.50	Reunión de los miembros de la Red	

29 junio 2011		
09.30	Museo Nacional del Prado. Laboratorio de Análisis, Área de Restauración	Mª Dolores Gayo et al.
09.50	Ciencia y Cultura escrita: Un proyecto de investigación, formación y difusión para la conservación del patrimonio documental	Teresa Espejo
10.10	Análisis geoambiental en medios hipogeos (MNCN y Grupo de Petrología Aplicada, UA)	Sergio Sánchez et al.
10.30	Instituto del Patrimonio Cultural de España	A. Borraz et al.
10.50	Caracterización analítica, Documentación, Conservación y Restauración del Patrimonio	Margarita San Andrés et al.
11.10-11.30	Pausa café	
11.30	Microbiología y Patrimonio Cultural	Miguel A. Rogerio, Cesáreo Sáiz
11.50	Petrología aplicada a la conservación del Patrimonio	Rafael Fort et al.
12.10	GPAC. Grupo de Investigación en Patrimonio Construido	Agustín Azkarate
12.30	FEMTOUSAL	Pablo Moreno et al.
12.50	Ecologia microbiana y geomicrobiologia: ECOGEO	Carmen Ascaso et al.
13.10	Aplicaciones de técnicas nucleares de análisis no destructivo al Patrimonio Cultural	Miguel A. Respaldiza et al.
13.30	El Centro de Conservación y Restauración de Bienes culturales de Castilla y León	Milagros Burón
13.50-15.30	Pausa almuerzo	
15.30	Geomnia Natural Resources, SLNE - ARTCHEMIST	Enrique Sanz et al.
15.50	AIPA. Análisis e intervención en el patrimonio arquitectónico	Juan Monjo et al.
16.10	MATERIAYARTE. Investigación interdisciplinar para la conservación del patrimonio a través del conocimiento material y técnico	María Arjonilla et al.
16.30	SIT Grupo Empresarial	Guillermo Andrade, Antonio Ortega
16.50	Arqueometría y Patrimonio de la cerámica y el vidrio	Carmen Pascual et al.
17.10	Caracterización material de obras del patrimonio cultural	José Francisco García et al.
17.30	Clausura	

Comunicaciones

Estructura social y territorio. Arqueología del paisaje.

I. Sastre, F. Javier Sánchez-Palencia, Almudena Orejas, M. Ruiz del Arbol
IH.CCHS.CSIC. C/ Albasanz 26-28. 28037. Madrid. Ines.sastre@cchs.csic.es

Durante los últimos años el concepto de patrimonio está viviendo una redefinición que afecta tanto a la investigación como a la conservación, valorización y gestión. La noción de desarrollo social lineal basado en el progreso tecnológico está dando paso a otra basada en el conocimiento, pero condicionada por formas de consumo cada vez más diversificadas y exigentes. Por ello, el concepto objetualista de patrimonio, centrado en el valor intrínseco de los objetos, está siendo sustituido por otras visiones patrimoniales más dinámicas y versátiles. Entre ellas destaca la de paisaje cultural, que se caracteriza por su carácter multidisciplinar, multifuncional y flexible y por haberse convertido en muchas regiones en un recurso duradero que combina valores históricos y medioambientales.

Diversos organismos internacionales han definido la figura del paisaje en su dimensión cultural. Dentro de la UE (a través de ámbitos de investigación como COST y ESF) los "Landscapes Studies" tienen reconocido ya un valor estratégico en relación con problemas como la resolución de desequilibrios regionales, o la política agraria común, tanto desde vertientes medioambientales como de ciencias sociales y humanas.

La investigación arqueológica del GI EST-AP se articula en torno a la noción de paisaje cultural como síntesis de las relaciones sociales y de su interacción con el medioambiente. Este enfoque ha permitido una renovación de los estudios territoriales de la llamada Arqueología Espacial, facilitando la comprensión integral de las formas de organización social del pasado. Además, los paisajes culturales son un recurso social susceptible de ser explotado racionalmente desde el punto de vista documental, formativo y turístico. El GI EST-AP ha desarrollado una metodología específica y ha adaptado un conjunto de técnicas al análisis del territorio de forma diacrónica, que incluyen excavación, prospección, fotointerpretación, teledetección y técnicas de información geográfica. La colaboración con las administraciones competentes en la protección y divulgación patrimonial de los paisajes culturales ha hecho que estos instrumentos trasciendan la investigación y alcancen el campo de la gestión.

Investigación y patrimonio no pueden, por lo tanto, disociarse, ya que la investigación genera el conocimiento que revaloriza al paisaje al hacer aflorar y hacer comprensible las dinámicas históricas. La belleza y la monumentalidad son sólo una parte del valor patrimonial de un paisaje. Es más, el conocimiento científico permite revalorizar los paisajes culturales en los que esa belleza o esa monumentalidad no destacan, al poner de manifiesto procesos históricos que pueden ser, sin embargo, únicos. Por lo tanto, la investigación no sólo actúa sobre el patrimonio; la investigación es creadora de patrimonio. Sobre esta base se han desarrollado intervenciones de gran relevancia patrimonial, en áreas del noroeste peninsular caracterizadas por una presencia notable de la minería

romana. En ellos lo fundamental ha sido transmitir a través del paisaje nuestro conocimiento sobre los procesos históricos, sin limitarnos a describir los restos que dejó la actividad minera, que tuvo un enorme impacto sobre el territorio.

La investigación en la **Zona Arqueológica de Las Médulas** (ZAM) es paradigmática en los estudios de paisaje. El marcado carácter monumental de los restos de la minería romana no impidió que el proyecto de patrimonialización se centrara en difundir la relevancia de los procesos históricos que conformaron el paisaje y no en la mera descripción de las infraestructuras mineras. Esto fue reconocido a escala internacional, con la inclusión de Las Médulas en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO en 1997, siendo el primer paisaje cultural europeo merecedor de ese reconocimiento. Así mismo, el proyecto ZAM definió modelos interpretativos sobre las sociedades prerromana y romana del Noroeste que supusieron un hito en los estudios arqueológicos de esta región. Hasta la actualidad nuestro GI colabora con la Junta de Castilla y León en las iniciativas de valoración patrimonial y explotación turística que afectan a este paisaje cultural. Así mismo, el GI colabora con la Fundación Las Médulas como asesor científico en los proyectos de conservación y divulgación de la zona arqueológica.

En el Occidente de Salamanca, los proyectos de investigación permitieron estudiar zonas poco conocidas desde el punto de vista histórico como la Sierra de Francia o la región portuguesa de Penamacor-Meimoa. Como resultado se ha puesto en valor **la Zona Arqueológica de El Cabaco**, con interesantes estructuras mineras que responden a procesos históricos semejantes a los de otras regiones del Noroeste. De especial relevancia ha sido la localización y estudio de estructuras de cultivo aterrazadas, que son parte integrante del territorio minero y permiten ilustrar el carácter no sectorial de la explotación del territorio en época antigua.

Más recientemente nuestro grupo ha llevado a cabo investigaciones en torno al área del actual municipio de **Pino del Oro** (Zamora), un área arqueológica que complementa la riqueza patrimonial del parque natural "Arribes del Duero". Esta zona minera presenta procesos históricos coherentes con los de las regiones nordoccidentales, pero ha sido posible definir sistemas de explotación diferentes y formas de organización social particulares. Las estructuras mineras documentadas son de pequeño porte comparadas con la espectacularidad de otras regiones del Noroeste. Por ello, en este caso, la relevancia de la investigación a la hora de generar patrimonio cultural está siendo de primer orden. Se han documentado cortas, trincheras y sondeos para extracción del material aurífero, así como cazoletas y piletas para el triturado, tostado y lavado del material para extraer el oro. Se trata de sistemas de explotación que aún no habían sido documentados en el Noroeste peninsular, pero que están claramente descritos en las fuentes grecolatinas y fueron empleados en otras regiones antiguas, como en las minas atenienses de Laurion y en Egipto. Está en marcha el estudio del poblamiento, dentro del cual se incluye el análisis de la numerosísima documentación epigráfica, entre la cual destaca la aparición de un nuevo pacto de hospitalidad en bronce durante los trabajos arqueológicos en el yacimiento de El Picón. Desde el punto de vista patrimonial, se han definido itinerarios de visita en los municipios de Pino del Oro y Villardiegua.

Figura 1. Cartel del itinerario arqueológico de la Zona Minera de Pino del Oro (Zamora)

Figura 2. Bronce con pacto de hospitalidad procedente de Pino del Oro (Zamora)

El GI EST-AP ha trabajado además en otras áreas arqueológicas caracterizadas por procesos históricos semejantes también condicionados por la minería antigua. Esto se enmarca dentro de una estrategia de carácter global cuyo objetivo es la comprensión de las formas de dominación romana y de los procesos de cambio que ésta puso en marcha en los territorios provinciales de Hispania. De ahí la importancia de la comparación regional y de los estudios diacrónicos tanto dentro del Noroeste hispano (área de Gijón-Oviedo; área de la montaña leonesa), de la Península Ibérica (zonas mineras de Sierra Morena, Cartagena y Suroeste) como en otras áreas del Imperio. Destaca, en este sentido, las investigaciones recientes en la región italiana de Biella (Bessa, Piamonte), en la que se documentan para la época republicana los precedentes tecnológicos y organizativos de la minería hispana altoimperial.

Todas estas investigaciones se han articulado en torno a proyectos de investigación y convenios con numerosas instituciones, nacionales e

internacionales. Destacaremos sólo dos de entre los más recientes. Tanto la zona arqueológica de Las Médulas como la de Pino del Oro se integran como "proyectos demostradores" en el programa CONSOLIDER de investigación en tecnologías para la conservación y revalorización del patrimonio cultural. Así mismo, nuestro GI ha liderado el proyecto *Understanding pre-industrial structures in rural and mining landscapes (LANDMARKS)*. Acción COST A27 de la Comisión Europea, con la participación de 21 países europeos.

Referencias

Bartels, Ch., Bloemers, T., van Londen, H., Orejas, A., Ruiz del Árbol, M. (2006), *Landmarks. Profiling Europe's Landscapes*, Bochum (BDM, COST, CSIC), 113-124.

Orejas, A.; Mattingly, D.; Clavel- Lévêque, M. (2010): *From present to past through landscape*, Madrid,

Ruiz del Árbol, M. y Orejas, A. (eds.), 2005: *Landscapes as Cultural Heritage in the European research. Proceedings of the open workshop (COST A27 - Madrid, 29th october 2004)*, Madrid (CSIC, Biblioteca de Ciencias, 22), 2005.

Ruiz del Árbol, M.; Lévêque, L.; Pop, L. y Bartels, Ch. (eds.) 2006, *Journeys through European Landscapes/ Voyages dans les paisajes européens*, Ponferrada (Fundación Las Médulas – COST).

Sánchez-Palencia, F.J. (ed.) (2000): *Las Médulas (León). Un paisaje cultural en la Asturia Augustana*, León.

Sánchez-Palencia, F.J. y otros (2010): "La zona minera de Pino del Oro (Zamora). Un paisaje rural de época romana". En *Dialéctica histórica y compromiso social. Homenaje a Domingo Plácido*, Madrid, vol. 2: 1067-1090.

Sánchez-Palencia, F.J. y otros (2010): *La zona minera de Pino del Oro (Zamora)*. Guía arqueológica, Valladolid.

Estudio de materiales y técnicas utilizados en obras de arte

Á. Justo, A. Durán, M.C. Jiménez de Haro, M.B. Sigüenza, J.L. Pérez-Rodríguez, I. Garófano
Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (CSIC-Universidad de Sevilla), Avda. Américo Vespucio, 49, 41092 Sevilla (España), e-mail: jjusto@icmse.csic.es

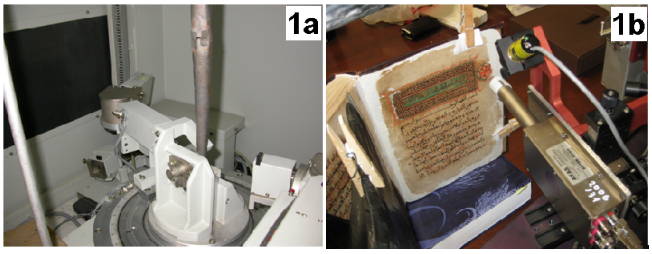
El estudio científico del patrimonio histórico y cultural para un mejor conocimiento de la composición de todo tipo de obras de arte y de sus procesos de alteración, y para la posterior implementación de medidas que ayuden a su conservación y restauración, es una de las aplicaciones más directas que el mundo de la investigación científica tiene en la sociedad actual. En el Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, un grupo de investigadores llevan más de cuarenta años estudiando el patrimonio histórico-artístico de Andalucía y de toda España. La intención del grupo es que los estudios sean lo más interdisciplinares posibles, por lo que hemos mantenido colaboraciones con miembros de todas las ramas del saber, como historiadores del arte, restauradores, organistas, arquitectos, geólogos y físicos, todo ello para un mejor y mayor conocimiento del Patrimonio Histórico y Cultural.

La labor científica de estos profesionales ha sido en gran parte posible gracias a la concesión de diferentes proyectos como el europeo STEP-CT90-0101 ("Granitic materials and historical monuments: study of the factors and mechanisms of weathering and application to historical heritage conservation"), los concedidos por el Ministerio de Educación y Ciencia en los últimos años ("Procesos fisicoquímicos implicados en los tratamientos de conservación de materiales ornamentales" MAT2000-0972-C02-02, "Comportamiento de rocas de alta porosidad y baja resistencia mecánica frente a tratamientos previos a la intervención arquitectónica" MAT2004-04498, "Estudio de órganos históricos: composición y alteración de tubos metálicos" MAT2007-63234, "Estudio de los procesos de degradación de los materiales utilizados en la construcción de Órganos Históricos" MAT2010-20660), y los Proyectos Intramurales del CSIC. También se debe mencionar la colaboración, mediante convenios y contratos, con la Dirección General de Bienes Culturales de la Junta de Andalucía, que ha permitido participar activamente en grandes proyectos culturales, como "Andalucía Barroca", mediante el cual se estudiaron más de cien obras, incluyendo la restauración integral de diferentes iglesias (bienes muebles e inmuebles) a lo largo de las ocho provincias andaluzas en el período 2004-2008. Y por supuesto, no se deben olvidar los diferentes convenios y acuerdos suscritos con Instituciones como el Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH), Patronato del Real Alcázar de Sevilla, las Facultades de Bellas Artes de Sevilla y Granada, la Real Chancillería de Granada, la Catedral de Sevilla, la Iglesia Colegial del Divino Salvador, el Ayuntamiento de Sevilla y las colaboraciones con el Museo de Bellas Artes de Sevilla.

La amplia variabilidad de materiales estudiados ha obligado a aplicar todas las técnicas analíticas a nuestro alcance, poniendo a punto algunas de las mismas e innovando para adaptarlas al estudio del patrimonio cultural. Implementaciones como el uso de espejos Göbel en difractómetros convencionales (Figura 1a) ha

permitido el estudio no destructivo de pequeñas piezas con superficies irregulares (Duran et al., 2008); también a destacar citamos el empleo de técnicas espectroscópicas para el estudio de las fibras componentes de documentos históricos y lienzos (Espejo et al., 2010). Por otra parte, nuevas técnicas como aquellas que emplean radiación sincrotrón (difracción de rayos X de alta resolución, microfluorescencia de rayos X, etc.) y aceleradores de partículas (PIXE y RBS) se han aplicado para estudios más específicos. Varios miembros del grupo han realizado estancias en diferentes laboratorios europeos punteros en la materia, como el Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (C2RMF, laboratorios del Museo del Louvre en Paris), o el European Radiation Synchrotron Facilities (ESRF) en Grenoble (Francia) (Herrera et al., 2009a, 2010; Duran et al., 2010a). En dichas instalaciones, los miembros del grupo han colaborado en el desarrollo de nuevos equipos para el estudio *in situ* y no invasivo del patrimonio cultural, tales como equipos de difracción y fluorescencia portátiles (Duran et al., 2009, 2011) (Figura 1b) o equipos de micro-difracción (Duran et al., 2010b).

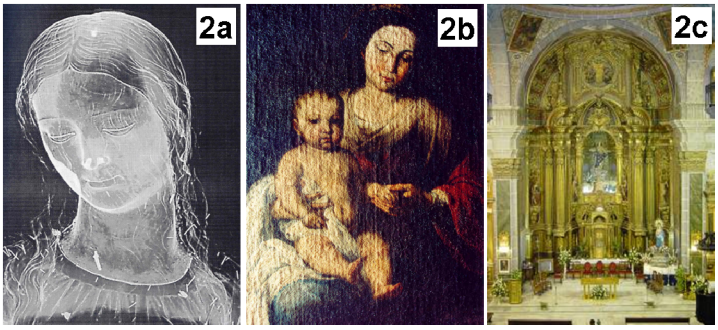
El número de publicaciones en revistas científicas internacionales con alto índice de impacto ha crecido en los últimos años con el desarrollo de estas nuevas técnicas, cuyas nuevas aplicaciones han sido presentadas en los más prestigiosas congresos de química, física y arte.



Los muchos años dedicados a la investigación del Patrimonio han permitido el estudio de una amplia variedad de obras de arte, tanto en tipología como en número (son más de 500 las obras estudiadas en estos 40 años); entre ellas podemos destacar las siguientes:

- Las figuras en cerámica de los Pórticos del Nacimiento y Bautismo y de la Puerta del Perdón de la Catedral de Sevilla,
- La Puerta de bronce en la Puerta del Perdón de la Mezquita-Catedral de Córdoba,
- La colección de sellos de plomo del Ayuntamiento de Sevilla,
- Esculturas de Martínez Montañés, como la popular "Cieguecita" expuesta al culto en la Catedral de Sevilla (Figura 2a),
- Lienzos de Murillo ("Virgen con Niño", "San José y el Niño", "San Juan Bautista", etc.) (Figura 2b) que lucen en el Museo de Bellas Artes de Sevilla,
- El Retablo Mayor de la Catedral de Sevilla y el Retablo Mayor de la Iglesia Parroquial de Huercal Overa (Almería) (Figura 2c),
- Pinturas murales, como las de Vázquez Díaz en el Monasterio de la Rábida (Huelva), las del Patio de las Doncellas en los Reales Alcázares de Sevilla o las de la Iglesia Colegial del Divino Salvador de Sevilla,

- Espejos del siglo XVII de la Iglesia de Santo Domingo (Granada), de la Iglesia Parroquial de Baños de la Encina (Jaén) y de la Iglesia de Santa Ana (Sevilla),
- Estudios arqueológicos en la comarca de Tierra de Barros (Badajoz) y en la Casa del Mithraeum (Mérida),
- Manuscritos árabes de la Abadía del Sacromonte y la Real Chancillería (Granada) (Figura 1b).



Otra de las actividades llevadas a cabo en el grupo de investigación ha sido la realización y lectura de varias Tesis Doctorales. La actividad del grupo se completa con la participación en diferentes cursos de especialización, masters y cursos de doctorado, en colaboración con Universidades españolas y extranjeras en los que se da a conocer las técnicas de investigación aplicadas por el grupo al estudio del Patrimonio Histórico-Artístico.

El principal objetivo de los últimos proyectos concedidos al grupo (los referidos al estudio de órganos históricos: MAT2007-63234 y MAT2010-20660) es conocer la composición y microestructura de las aleaciones estaño-plomo y cobre-zinc empleadas en tubos y lengüetas de órganos históricos españoles, y sus productos de corrosión. Se persigue conocer el comportamiento de dichos materiales y los factores que afectan a la corrosión de los mismos. Se han estudiado dichas aleaciones (Pb-Sn, Cu-Zn) empleando técnicas convencionales (microscopia electrónica de barrido-análisis por energías dispersivas de rayos X, microscopias Raman y de Infrarrojos, difracción de rayos X), variantes de las mismas (DRX con cristales Göbel) (Justo-Estebaranz et al., 2011) y técnicas que emplean radiación sincrotrón (RS), tales como micro-RS Fluorescencia de Rayos X y micro-RS Difracción de Rayos X, y se han comparado los resultados obtenidos en las aleaciones preparadas en el laboratorio (proporcionadas por la empresa de organería Grenzing) con aquellas procedentes de órganos (Herrera et al., 2009b). Los estudios se han realizado con la colaboración de las empresas de organería Grenzing y LOIS.

Por otra parte, se ha realizado el estudio químico y microestructural de otras aleaciones metálicas (amalgama de estaño, plomo, etc.) de las que se componen otras obras de arte (espejos históricos, etc.) para comparación de los procesos de corrosión que suceden en las mismas con los producidos en los tubos de órgano.

En la actualidad, se están realizando ensayos de corrosión acelerada en cámaras de simulación de niebla salina y cámaras climáticas para conocer la influencia de la composición y microestructura de las aleaciones en los procesos

de corrosión. Igualmente, se estudia la influencia en estos procesos de las diferentes maderas empleadas en organería.

También se han estudiado tanto las aleaciones preparadas en el laboratorio como aquellas procedentes de órganos históricos mediante técnicas IBA (PIXE, PIGE, RBS) en el acelerador AGLAE del C2RMF. Por último, se estudiarán las propiedades mecánicas de los tubos y se estudiará la influencia de la composición de los tubos y aleaciones en el espectro acústico.

En definitivita, un grupo en expansión, que mira hacia el futuro buscando nuevos retos y nuevas metas, y todo ello para un para un mejor y mayor conocimiento del patrimonio cultural, un bien que repercute directamente en nuestra sociedad.

Referencias

Duran, A., Herrera, L.K., Jimenez de Haro, M.C., Justo, A., Perez-Rodriguez, J.L. (2008) Non-destructive analysis of cultural Heritage artefacts from Andalusia, Spain, by X-ray diffraction with Göbel mirrors. *Talanta* 76, 183-188.

Duran, A., Perez-Rodriguez, J.L., Espejo, T., Franquelo, M.L., Castaing, J., Walter, P. (2009) Characterization of illuminated manuscripts by laboratory-made portable XRD and micro-XRD systems. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 395, 1997-2004.

Duran, A., Jimenez de Haro, M.C., Perez-Rodriguez, J.L., Franquelo, M.L., Herrera, L.K., Justo, A. (2010a) Determination of pigments and binders in Pompeian wall paintings using synchrotron radiation high-resolution X-ray powder diffraction and conventional spectroscopy-chromatography. *Archaeometry* 52, 286-307.

Duran, A., Siguenza, M.B., Franquelo, M.L., Jimenez de Haro, M.C., Justo, A., Perez-Rodriguez, J.L. (2010b) Murillo's paintings revealed by spectroscopic techniques and dedicated laboratory-made micro X-ray diffraction. *Analytica Chimica Acta* 671, 1-8.

Duran, A., Franquelo, M.L., Centeno, M.A., Espejo, T., Perez-Rodriguez, J.L. (2011) The forgery detection on an Arabic illuminated manuscript by micro-Raman and X-ray fluorescence. *Journal of Raman Spectroscopy* 42, 48-55.

Espejo, T., Duran, A., Lopez-Montes, A., Blanc, R. (2010) Microscopic and spectroscopic techniques for the study of paper supports and textile used in the binding of hispano-arabic manuscripts from Al-Andalus: a transition model in the 15th Century. *Journal of Cultural Heritage* 11, 50-58.

Herrera, L.K., Montalbani, S., Chiavari, G., Cotte, M., Solé, V.A., Bueno, J., Duran, A., Justo, A., Perez-Rodriguez, J.L. (2009a) Advance combined application of μ-XRD/μ-XRF with conventional techniques for the identification of pictorial materials from Baroque Andalusia paintings. *Talanta* 80, 71-83.

Herrera, L.K., Justo, A., Muñoz-Paez, A., Sans, J.A., Martinez-Criado, G. (2009b) Study of metallic components of historical organ pipes using synchrotron radiation X-ray microfluorescence imaging and grazing incidence X-ray diffraction. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 395, 1969-1975.

Herrera, L.K., Justo, A., Duran, A., Jimenez de Haro, M.C., Franquelo, M.L., Perez-Rodriguez, J.L. (2010) Identification of cellulose fibres belonging to Spanish cultural heritage using synchrotron high resolution X-ray diffraction. *Applied Physics A* 99, 391-398.

Justo-Estebaranz, A., Herrera, L.K., Duran, A., Siguenza, B., Jimenez de Haro, M.C., Laguna, O., Justo, A. (2011) Analysis of the restoration of an historical organ: the case study of the Cavaillé-Coll organ of La Merced Church in Burgos, Spain. *Studies in Conservation* (enviado).

Materiales poliméricos y patrimonio cultural

M. Lazzari y A. Ledo Suárez
Centro de Investigación en Química Biológica y Materiales (CIQUS) C. Jenaro de la Fuente s/n, Campus Vida y LPPP - unidad asociada al Instituto de Ciencias del Patrimonio, CSIC Universidad de Santiago de Compostela, 15782 Santiago de Compostela e-mail: massimo.lazzari@usc.es

Los materiales poliméricos han empezado a aparecer en los museos desde principio del siglo XX pero solo en las últimas décadas su presencia se ha ido multiplicando y se han vuelto omnipresentes, sobre todo en los museos de arte contemporáneo. Pinturas, instalaciones, esculturas, fotografías, etc., están en parte o completamente constituidas por polímeros sintéticos o naturales, por lo que la necesidad de su mejor conocimiento se hace urgente, debido sobre todo al preocupante estado de deterioro en el que están empezando a encontrarse cada vez más obras. En el marco de la complejidad de una obra de arte contemporáneo, ya se trate de una pintura, una escultura o una instalación, la investigación científica permite no solo la identificación de los componentes materiales, sino que puede ir más allá, observando su distribución, estudiando los fenómenos que se producen en la interfaz con el ambiente, interpretando los cambios sufridos en función del tiempo y de otros parámetros naturales o accidentales (por ejemplo la exposición de una obra de arte a condiciones particularmente agresivas, como altas temperaturas o elevada luminosidad o humedad, o bien como consecuencia de una intervención de conservación o restauración).

Figura 1. Obras de la Colección Permanente del Centro Galego de Arte Contemporánea (CGAC) de Santiago de Compostela, en parte o completamente constituidas por polímeros.

Dentro de este tipo de problemática hemos llevado a cabo una trayectoria de acercamiento progresivo al estudio de obras de arte contemporáneo (véase ejemplos en Figura), centrando la actividad de investigación no solo en la identificación de los componentes del complejo y variado universo que frecuentemente constituye obras de este tipo (con un especial cuidado para sus componentes poliméricos) y de los materiales utilizados en posibles intervenciones de restauración precedentes, sino sobre todo en la evaluación del estado de conservación y envejecimiento, así como de la predicción de su futura evolución, con el objetivo de determinar las mejores condiciones de almacenamiento y exposición o, en su caso, de proponer la mejor metodología de restauración.

Las etapas fundamentales de la metodología que aplicamos al estudio de obras de arte contemporáneo (López 2008, Lazzari 2011) y más recientemente de objetos de diseño en plástico (Toja 2011) se pueden esquematizar en:

1. identificación de los materiales y evaluación del estado de conservación;
2. estudio del envejecimiento acelerado de los materiales (poliméricos) clave;
3. seguimiento del envejecimiento natural;
4. puesta a punto de una guía para la selección de los mejores materiales/técnicas para la restauración y de las condiciones de almacenamiento/exposición de la obra o del objeto (en su caso, sugerencias para el artista a la hora de realizar obras parecidas).

Paralelamente a esta línea principal de investigación, llevada a cabo en colaboración con el CGAC de Santiago de Compostela, se están desarrollando estudios puntuales de evaluación del envejecimiento natural y acelerado de resinas sintéticas y naturales, usadas en tratamientos de conservación de bienes muebles o para la protección de materiales pétreos (véase por ejemplo Scalarone 2007, Lazzari 2009, Lazzari 2010).

Referencias

Lazzari, M., Scalarone, D., Riedo, C., Chiantore, O. (2009) Compositional analysis of fluorinated and unfluorinated acrylic copolymers. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 85, 321-326.

Lazzari, M., Scalarone, D., Malucelli, G., Chiantore, O. (2010) Durability of acrylic films from commercial aqueous dispersion: glass transition temperature and tensile behavior as indexes of photooxidative degradation. *Prog. Org. Coat.*, 70, 116-121.

Lazzari, M., Ledo-Suárez, A., López, T., Scalarone, D., López-Quintela, M.A. (2011) Plastic matters: an analytical procedure to evaluate the degradability of contemporary works of art. *Anal. Bioanal. Chem.*, 399, 2939–2948.

López, T., Rodríguez, A., Lazzari, M., López-Quintela, M. A. (2008) Conservar el cambio: Dos obras de látex del artista Andres Pinal en el CGAC. En: C*onservación de Arte Contemporáneo*, MNCA Reina Sofía, Madrid, pp. 35-42.

Scalarone, D., Lazzari, M., Castelvetro, V., Chiantore, O. (2007) Surface monitoring of surfactant phase separation and stability in waterborne acrylic coatings. *Chem. Mater.*, 19, 6107-6113.

Toja, F., Lazzari, M., Levi, M., Toniolo, L. (2011) Post-production stabilization of plastic objects: a possible approach to conservation? En: *FUTURE TALKS 011. Technology and Conservation of Modern Materials in Design*.

Grupo de Bioingeniería y Materiales (BIO-MAT) de la Universidad Politécnica de Madrid

Diego A. Moreno, Ana M. García
Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, c/ José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid, E-mail: diego.moreno@upm.es

Actividades del Grupo BIO-MAT en Patrimonio

El Grupo de Investigación BIO-MAT (Bioingeniería y Materiales) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) realiza sus actividades en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales desde hace 25 años. La multidisciplinariedad de los miembros del Grupo, doctores ingenieros industriales, químicos, biólogos, etc. le permite llevar a cabo múltiples proyectos de I+D y asesoría.

Desde su constitución en 1986 el Grupo BIO-MAT ha estado implicado en temas de BIODETERIORO DE PATRIMONIO con más o menos intensidad dependiendo de las ayudas recibidas en cada momento. En la Tabla 1 se presentan la línea principal y las actividades de investigación en esta área. En los últimos años destacan las intervenciones llevadas a cabo en la Fuente de los Leones en la Alhambra (Granada) (Sarró y cols., 2006) y en las Cuevas de Covalanas y La Haza (Ramales de la Victoria, Cantabria) (García y cols., 2004), siendo el objetivo final la preservación de ambos patrimonios de la humanidad.

Tabla 1. Línea Principal y Actividades de Investigación del Grupo BIO-MAT de la UPM

Investigación de los Mecanismos del Biodeterioro del Patrimonio Histórico para Establecer Estrategias de Conservación y Prevención
Estudio y caracterización de los soportes afectados por Biodeterioro
Identificación de los microorganismos causantes del Biodeterioro
Establecimiento de medidas de tratamiento, prevención y control del Biodeterioro

Debido a la vocación iberoamericana de la UPM con ayudas para la investigación y cooperación, el Grupo BIO-MAT acaba de constituir junto a Grupos de Argentina y Cuba una Red Temática sobre Biodeterioro del Patrimonio Histórico y Cultural para el estudio conjunto del biodeterioro de materiales de interés patrimonial, que surge tras una Acción Prospectiva y dos Proyectos de Investigación y Desarrollo en colaboración con el Grupo de Argentina financiados por la UPM (Rosato y cols., 2008). En la Tabla 2 se presentan la pertenencia a distintas redes sobre Patrimonio en las que está involucrado el Grupo BIO-MAT.

Tabla 2. Pertenencia a Redes sobre Patrimonio del Grupo BIO-MAT de la UPM

Red Temática sobre Biodeterioro del Patrimonio Histórico y Cultural (Proyectos con América Latina de la UPM)
Red de Ciencia y Tecnología para la Conservación del Patrimonio (Ministerio de Ciencia e Innovación)
Cluster de Patrimonio (Campus de Excelencia Internacional Moncloa)

Capacidades formativas

La capacidad formativa del Grupo se plasma en la dirección de tesis doctorales. Víctor M. Rivalta defendió su tesis sobre "Las poblaciones microbianas de las cuevas con pinturas rupestres de Covalanas y La Haza (Ramales de la Victoria, Cantabria) (Figura 1). La investigadora Isbel Vivar, del Archivo Nacional de la República de Cuba, ha realizado una estancia para llevar a cabo parte de su tesis doctoral sobre "Evaluación de la microbiota que deteriora al Patrimonio Documental de Cuba mediante técnicas biotecnológicas" (Figura 2) en el seno del Grupo a través de una Beca del Programa UNESCO (Cultura). En el Grupo también se formó M. Isabel Sarró, que actualmente trabaja como Gestor de Laboratorios en el Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (Burgos).

Figura 1. Pintura rupestre en la Cueva de Covalanas (Ramales de la Victoria, Cantabria) (García y cols., 2004).

El Grupo está preparando para el curso 2011-2012 una asignatura a distancia sobre "Biodeterioro del Patrimonio Histórico y Cultural" en colaboración con docentes e investigadores de Argentina y Cuba. La asignatura se ofrecerá en la modalidad de Libre Elección mediante Telenseñanza y posteriormente como Open Course Wire en la UPM. Asimismo será impartida en la Universidad Nacional de la Plata (Argentina) y en la Universidad de La Habana (Cuba).

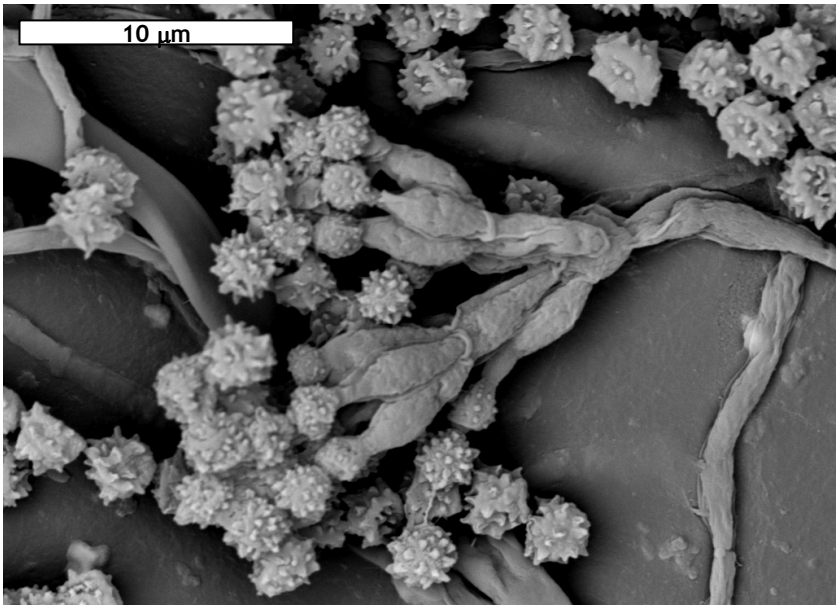


Figura 2. Fotografía de SEM de un *Aspergillus* aislado de una película cinematográfica del Archivo Nacional de la República de Cuba (Vivar y cols., 2011).

Infraestructuras

El Grupo BIO-MAT posee las infraestructuras necesarias para llevar a cabo las actividades de investigación anteriormente citadas. Posee laboratorios de Microbiología, Biología Molecular, Análisis Químico y Materiales. Estos Laboratorios están equipados para efectuar estudios de microscopía óptica, de epifluorescencia y electrónica de barrido (SEM); cultivo de microorganismos e identificación de los mismos mediante técnicas de PCR-Secuenciación, así como identificación de microorganismos no cultivables mediante técnicas de clonaje; análisis químico por infrarrojos, TGA, HPLC, cromatografía de gases; estudios de caracterización de superficies, Ensayos No Destructivos y propiedades mecánicas de materiales, etc.

Adicionalmente y gracias a su pertenencia al Cluster de Patrimonio del Campus de Excelencia Internacional de Moncloa puede disponer de toda la infraestructura del Campus, y en especial de los Servicios de Apoyo a la Investigación.

Colaboraciones futuras

El Grupo estaría interesado en colaborar con todos aquellos participantes en la Red implicados en la protección y conservación del Patrimonio, y en especial en relación con los procesos de biodeterioro por agentes biológicos.

Agradecimientos

Al Programa de Ayudas de la Universidad Politécnica de Madrid para realizar actividades con América Latina (Red Temática sobre Biodeterioro del Patrimonio Histórico y Cultural, Ref. AL11-RT-01).

Referencias

García, M., Sarró, M.I., Moreno, D.A., García, A.M., Rivalta, V.M., Eguizábal, J., González, M.R. (2004) Proyecto de Estudio del Impacto de las Visitas en las Condiciones Naturales de Cavidades con Arte Rupestre Paleolítico: Estudio Comparativo de Covalanas y La Haza (Ramales de la Victoria, Cantabria). *Altamira* Tomo LXVI, 283-302.

Rosato, V., Gómez de Saravia, S., García, A.M., Moreno, D.A., Guiamet, P.S. (2008) Biofilms on Funerary Monuments in La Plata Cemetery: Study of Crypts with Historical and Architectural Interest. 14th International Biodeterioration and Biodegradation Symposium. Sant'Alessio Siculo, Messina (Italy), October 6-11, 2008.

Sarró, M.I., García, A.M., Rivalta, V.M., Moreno, D.A., Arroyo, I. (2006) Biodeterioration of The Lions Fountain at The Alhambra Palace, Granada (Spain). *Building and Environment* 41 (12), 1811-1820.

Vivar, I., Borrego, S., Moreno, D.A., García, A.M. (2011) Biodeterioration of Cinematographic Films of the Cultural Heritage of Cuba. 15th International Biodeterioration and Biodegradation Symposium. Vienna (Austria), September 19-24, 2011.

Grupo de Tecnología Mecánica y Arqueometalurgia. Líneas de Investigación

A.J. Criado Martín*, A.J. Criado Portal, J.A. Martínez García, C. Dietz y L. García Sánchez
Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Complutense de Madrid. 28040. Madrid. E-mail: criado.antonio@sapac.es

Introducción

En el Grupo de Tecnología Mecánica y Arqueometalurgia de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Complutense de Madrid, llevamos desde hace dos décadas, cada vez con más intensidad, dedicando nuestros esfuerzos en la investigación de todo tipo de patrimonio cultural, fundamentalmente el arqueológico, aunque con especial hincapié en el campo de la Arqueometalurgia.

Debido a la reducida extensión de esta comunicación nos centraremos en la exposición de las líneas de investigación referentes al campo en el que más hemos indagado y profundizado, el de la Metalurgia Antigua. En este aspecto no nos hemos centrado en ciertos períodos en concreto, sino que abarcamos todo tipo de material metálico desde la primera aparición de la Metalurgia hasta nuestros días.

Las líneas de investigación se pueden resumir y clasificar en los siguientes apartados:

1. Análisis químico instrumental, metalográfico, Rayos X, ensayos destructivos y no destructivos de materiales metálicos procedentes de yacimientos arqueológicos, museos, colecciones privadas, etc.
2. Estudio, puesta a punto y reproducción de tecnologías de fabricación de piezas metálicas, a partir del examen de muestras arqueológicas. Algunos ejemplos: Armas de acero con pátinas de magnetita y de bronce-magnetita de época prerromana; Aceros cementados; Aceros de Damasco; Acero de Toledo; Acero Solingen.
3. Análogos arqueológicos metálicos para su aplicación en el Almacenamiento Geológico Profundo (AGP) de residuos Nucleares de Alta Actividad.
4. Estudio y puesta a punto de claves metalúrgicas para la identificación de hierros y aceros sometidos a ritos de cremación.
5. Estudios de corrosión de piezas metálicas arqueológicas relacionados con la geoquímica de los suelos de enterramiento.
6. Estudios tecnológicos dirigidos a la autentificación de piezas arqueológicas metálicas: análisis químicos, análisis isotópicos de plomo, metalografía, datación, etc.

A continuación se expondrá uno de los casos más novedosos en los que hemos trabajado en los últimos años, y con el cual seguimos investigando, como es el estudio de hierros y aceros incinerados en ritos de cremación entre los pueblos prerromanos de la península ibérica.

Los carburos de hierro como testigos de los ritos de cremación entre los pueblos prerromanos de la Península Ibérica

El trabajo trata sobre el estudio de unas microestructuras típicas que aparecen en el núcleo de piezas de acero incineradas con cadáveres entre los pueblos prerromanos de la Península Ibérica. A través de su análisis y la reproducción del proceso térmico y de envejecimiento que sufrieron estas piezas, con aceros modernos experimentales, de las mismas características, en laboratorio, podemos deducir datos como las temperaturas que se alcanzaban en estos ritos funerarios, las velocidades de enfriamiento de la pira, si las piezas de acero analizadas se quemaban junto al cadáver o se depositaban a posteriori junto a la urna cineraria sin que sufrieran exposición al fuego y los procesos termodinámicos que operaban en las piezas durante el rito y que dan como resultado estas estructuras.

Para ello se analizaron una serie de piezas de hierro y acero, con funcionalidades diversas, cubriendo una cronología desde el siglo V a. C. al siglo II a. C. Abarcan un amplio ámbito geográfico involucrando a la cultura ibérica y celtibérica, siendo las piezas estudiadas las que a continuación se enumeran: pillum ibérico (Cerro Muriano, Córdoba), hebilla de placas de defensa (Villanueva de Teba, Burgos), tachuela (Villanueva de Teba, Burgos), falcata ibérica (Museo Armería Vitoria-Gasteiz).

Para la reproducción experimental del proceso térmico sufrido por estas piezas se eligió el acero comercial AISI 1005 por poseer unas características similares a los hierros y aceros arqueológicos, fundamentalmente por tener un bajo contenido en carbono. Su tratamiento consistió en un recocido a 1000 ºC durante 1 hora y, posteriormente, enfriado al aire. El tratamiento de envejecimiento natural de las piezas arqueológicas se simuló provocando calentamientos prolongados a 300 ºC y tiempos de entre unas horas y 10000 horas, para acelerar el proceso.

De la observación de las muestras estudiadas y de los estudios que se derivan de la literatura internacional relacionada con el mundo de los aceros incinerados, se puede asegurar que la aparición de carburos de hierro idiomórficos con estructura Widmanstätten, en granos de ferrita, son un vector afirmativo de la incineración de esas piezas de acero con el cadáver (Figura 1). Además, se puede afirmar, que es general, ya que otras piezas de acero que han sufrido niveles de incendio solo presentan cementita globulizada en las colonias perlíticas, pero nunca los carburos idiomórficos con estructura Widmanstätten.

La naturaleza de estos carburos ha sido puesta en cuestión algunas veces por autores que aseguran que se trata de nitruros de hierro. Pero estos autores nunca han hecho un estudio analítico de ellos para comprobar su hipótesis. Por el contrario, todos aquellos que los han analizado, han llegado a la misma

conclusión que nosotros. En nuestro caso, hemos utilizado la Microsonda Electrónica, que los ha identificado con seguridad como carburos de hierro, sin detectar en ningún lugar la presencia de nitrógeno, procedente de la combustión de los tejidos humanos (Figura 2).

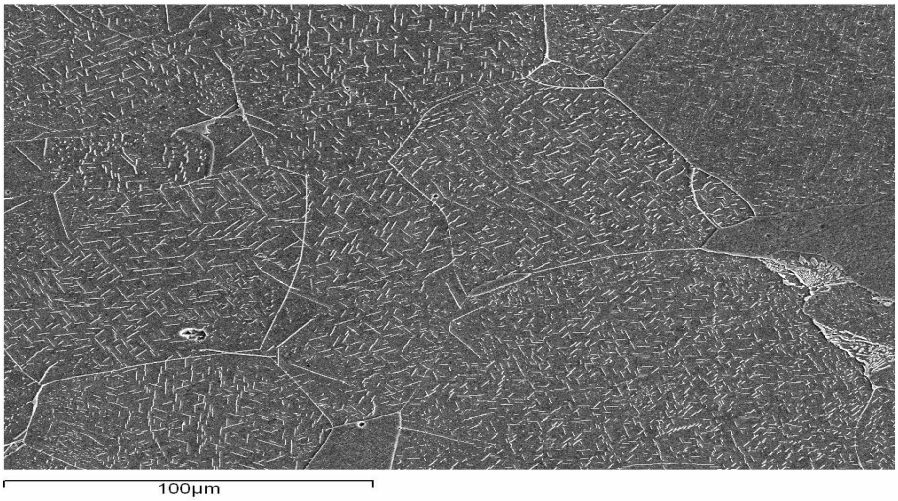


Figura 1. Imagen mediante Microscopía Electrónica de la hebilla.

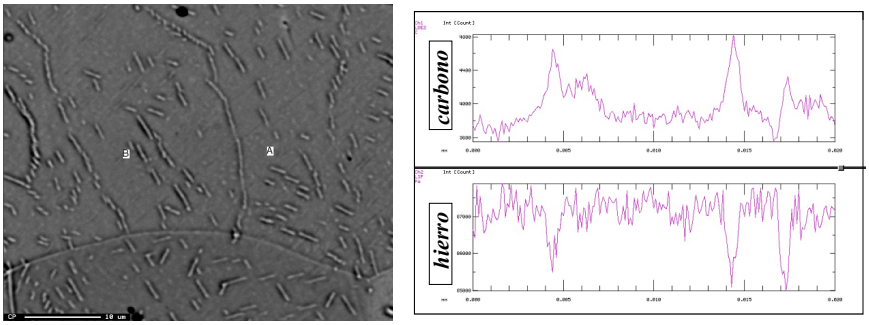


Figura 2. Gráfica del análisis mediante Microsonda Electrónica de la falcata.

La conclusión fue que para que aparezcan estos cristales idiomórficos de carburo de hierro, la ferrita debe quedar sobresaturada en carbono, lo que exige un grado de subenfriamiento fuerte, que sólo se alcanza si la temperatura de cremación fue muy elevada frente a la temperatura ambiente o se usó algún líquido para apagar la pira, cuantificando esta temperatura como de al menos 950ºC a 1000ºC, superándose en numerosas ocasiones esta última temperatura.

Durante el proceso de envejecimiento natural o artificial simulado, los carburos de hierro idiomórficos, precipitan en las interfases de las agujas de ferrita, presentando, por tanto, una clara orientación en ciertos planos, originando la conocida estructura Windmanstätten. Su forma idiomórfica alargada se debe a su crecimiento semicoherente en algunos planos e incoherente en otros planos.

Formados los núcleos cristalinos, se establece una competencia de crecimiento entre ellos, favoreciendo a los mayores y redisolviendo a los más pequeños, debido a que las energías libres son diferentes en las interfases de los cristales, provocando que la concentración en carbono de la matriz ferrítica sea diferente. Se produce un flujo de átomos de carbono de la interfase ferrita-carburo de hierro, de los más pequeños hacia los de mayor volumen.

En resumen y para concluir, la aparición de carburos de hierro nos están indicando tres hechos, que son los objetivos fundamentales que se plantearon para esta investigación y que hasta ahora no estaban claros: la primera es que la pieza de hierro o acero fue cremada junto al cadáver; lo segundo es que se produjo un subenfriamiento rápido de la pira, cosa que se efectuó, hipotéticamente, apagándola con algún tipo de líquido; y tercero que para que se produzcan estas microestructuras típicas, la pira tuvo que llegar a una temperatura mínima de 950º a 1000º C.

Bibliografía básica

Criado, A.J., Martínez, J.A., Calabrés, R., Arias, D. (1997) Fabricación del acero de Damasco: estudio metalográfico. *Revista de Metalurgia (CENIM)* 33 (1), 44-49.

Criado, A.J., Martínez, J.A., Calabrés, R., Jiménez, J.M. (2000) Metallographic Study of the Steel Blade of the Sword Tizona. *Praktische Metallographie* 37 (7), 315-325.

Criado, A.J., Penco, F. (2002) Tres piezas metálicas descontextualizadas procedentes del complejo arqueológico de Cerro Muriano (Córdoba): relación isotópica del plomo y otros aspectos. *Antiqvitas* 14, 9-21.

Criado, A.J., Martínez, J.A., Criado, A.J., Dietz, C., Arévalo, R., Guzmán, J., Chamón, J., Bravo, E. (2006) Archaeologic analogues: microstructural changes by natural ageing in carbon steels. *Journal of Nuclear Materials* 349, 1-5.

Criado, A.J., Chamón, J., Dietz, C., García, L., Arévalo, R., Bravo, E., Criado, A.J., Martínez, J.A. (2009) An Archaeological Analogue for a Composite material of carbon Steel, Cooper and Magnetite. *Praktische Metallographie* 46 (8), 377-393.

Criado, A.J., Criado, A.J., San Nicolás, M.P, García, L., Criado, A. (2009) Los carburos de hierro como testigos de los ritos de cremación entre los pueblos prerromanos de la Península Ibérica: algunos ejemplos. *SPAL* (18), 95-120.

Criado, A.J., García, L., Azor, A., Criado, A.J., Dietz, C. (2010) Beitrag zum Verständnis von Solingenstahl des 19 Jahrhunderts. *Praktische Metallographie* 47 (6), 342-353.

Activities in the ICMUV Archaeometry group

C. Roldán, S. Murcia-Mascarós
Instituto de Ciencia de los Materiales de la Universidad de Valencia (ICMUV). P.O. Box 22085, E46071-Valencia (Spain)

The Material Science Institute of the Valencia University (ICMUV) has been involved during past years in the development, evaluation and analytical applications of XRF spectrometry in the field of the Cultural Heritage analyses. Here we will briefly present some case studies focused on the pigment characterization of archaeological and cultural materials.

Characterization of pigments used by Iberian Neanderthals

Experts in Paleoanthropology and Archaeology have long debated just how similar Neanderthal cognition was to our own. Prof. João Zilhão and others specialists argue that Neanderthals invented some symbolic traditions on their own (body paint, jewellery …), before anatomically modern humans arrived in Europe around 40,000 years ago. Critics, however, believe the items originated with moderns. In a paper published in the *Proceedings of the National Academy of Sciences USA,* Prof. *João* Zilhão and an international team (Zilhão et al., 2010), reported on finds that could settle the dispute: yielded perforated and pigment-stained marine shells from two Neandertal sites (Cueva de los Aviones and Cueva Antón) in Spain dated to nearly 50,000 years ago. At Cueva de los Aviones, three umbo-perforated valves of Acanthocardia and Glycymeris were found alongside lumps of yellow and red colorants, and residues preserved inside a Spondylus shell consist of a red lepidocrocite base mixed with ground, dark red-to-black fragments of hematite and pyrite. A perforated Pecten shell, painted on its external, white side with an orange mix of goethite and hematite, was abandoned after breakage at Cueva Antón, 60 km inland. Comparable early modern human-associated material from Africa and the Near East is widely accepted as evidence for body ornamentation, implying behavioral modernity.

The ICMUV has participated in this research and has analyzed pigment's remains found in a Pecten shell "Cueva Antón (Murcia, Spain)". The Pecten found in the level I-k of Cueva Antón presents a red pigment that is ubiquitously preserved but on the shell's external, discoloured side only, suggesting that it may have been deliberately painted, either to regain the original appearance or to make it the same color as the internal side, which remained its natural red.

In order to identify the red pigment, analyses using X-Ray fluorescence and micro-Raman spectroscopy were carried out at the ICMUV. We used a portable XRF and a μ-Raman Jobin Yvon T64000 triple spectrometer using the 514.5 nm line. Measurements were carried out directly on the sample with no previous preparation of any kind. The internal face of the shell presents a reddish coloration, for which observation under binocular microscope suggested a biogenic cause. The external face presents a whitish coloration and features red/yellow terrigenous deposits that, under the binocular microscope, overlie the surface of the shell. We carried out XRF analysis of one of these accretions and compared the results with those obtained by XRF analysis of the shell's body

in areas where it presents both a whitish and a reddish coloration. The spectra of the calcareous matrix are practically identical in both the whitish and the reddish areas, indicating that the coloration is biogenic. The spectrum of the red/yellow accretion presents an iron fluorescence peak significantly more intense than that of the calcareous matrix. This indicates the presence of an iron oxide compound with an iron concentration higher than that of the shells. The Raman spectrum of the internal (reddish) side shows calcite attenuated by the presence of bands related to the pigments of the shell itself, which are carotenoids. No anthropogenic mineral pigments were detected on this side of the shell. The different spectra obtained in the three areas with red/yellow pigment that were analyzed show very clearly the presence of bands that correspond to two iron oxides: hematite (α-Fe2O3), responsible for the red color, and goethite (α-FeOOH), responsible for the yellow color. The final result is a mixture of both pigments, yielding an overall orange hue.

The analyses report secure evidence that, approximately 50,000 years cal B. P., 10 millennia before modern humans are first recorded in Europe, the behavior of Neandertals was symbolically organized and continued to be so until the very end of their evolutionary trajectory.

EDXRF analysis of pigments of Levantine rock art

Levantine rock art is one of the main Postpalaeolithic rock art traditions located in the Mediterranean slope of the Iberian Peninsula. Superimpositions and variations in forms, themes and techniques reveal a complex and lasting tradition, whose internal variations reflect the changing identities of the authors in space and time. Actually, it is widely accepted that their origins could be related with the Neolithisation process (5400-5200 B.C.). Our goal in this study is the characterization of the elemental composition of Levantine rock art pigments located at the "Saltadora" rock shelters (Castellón, Spain) and to show the usefulness of the field portable EDXRF spectrometry for in situ, non-destructive analyses on hard to get to archaeological sites. The EDXRF analysis of these red and black pigments provides interesting data that help to identify the materials used in their execution, to determine their state of conservation and test the existence of connections between different figures and discriminating different raw materials and execution phases Additionally, in situ characterization of these pigments by EDXRF will determine future sampling decisions in use with other analytical techniques to obtain additional information about structure and chemical composition of pigments.

EDXRF spectra were acquired directly on pigments with no contact, preparation or cleaning by means a portable spectrometer. Whole espectrometer (X-ray tube, detector, electronic modules, personal computer, and mechanical positioning system on a tripode) has a weight of 15 kg and may be easilly brought to the archaeological sites on arranged suitcases. Analyses were carried out with a 600W generator and inverter for current control that allows working in places with no power source available.

The detected elements indicate the use of red earth or ochre for the red pigments and manganese oxides for the black pigments. Presence of manganese was detected in some red pigments showing the use of iron oxides from different

sources, as well as a possible intentional addition in one of the figures. The detection of traces of arsenic in part of a red deer is in agreement with the utilization of two kinds of red pigments and different phases of execution. Analysis of black pigments shows the presence of barium that correlates with manganese, therefore, the use of raw materials of manganese oxides or hydroxides with traces of barium may be assumed. Field portable EDXRF spectrometry proved to be a useful technique to detect the chemical elements present in prehistoric rock art pigments and to identify different raw materials used in their production process.

Characterization of Mediterranean Spanish glasses

In the excavations carried out inside the Collegiate Church of Gandia in 2001, some pieces of glass from funeral burials were found. Amount of several grave goods as chalices and mass wine jug, stands out above all two of which that are blue and decorated with white enamel. The pieces are similar to other Mediterranean Spanish glasses dated to the sixteenth century and with shapes and decoration as the Venetian fashion but with local stylistic characteristics.

The analyses of the materials composition of these pieces were performed by portable energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry (EDXRF). The technique has already been used successfully in the characterization of other Spanish "façon de Venise" glasses. These analyses make it possible to relate the composition of Gandia glasses with already analyzed. The measures do not require sampling and this is without any alteration of the pieces. Linear correlation has been established between Co and Ni, and Pb and Bi (Murcia-Mascarós et al., 2009). Any correlation was funded between As and Co. Probably, Ni was incorporated as part of Co mineral. Also Bi takes part of Pb mineral. The results reveal the particularity of the pieces because, as well cobalt is detected as responsible of blue glass colour, important amount of lead, bismuth, nickel and arsenic are present. This composition is compatible with chronologies covering the fifteenth to seventeenth centuries. By other hand, gold is detected over the glass. Probably, theses pieces were completely covered at source.

Characterization of Sorolla's oil on canvas pigments from the Hispanic Society of America

In this work, portable EDXRF spectrometry was employed to the characterization of the palette used by the Spanish artist Joaquin Sorolla (1863-1923) in the paintings "Vision of Spain", a set of fourteen oils on canvas painted by Sorolla between 1911 and 1919 by order of Mr. Archer Huntington to decorate the library of the Hispanic Society of America (HSA) in New York. The analyses, sponsored by BANCAJA and provided by the HSA, were carried out in situ, previously to the cleaning and restoration process, while the paintings hanging on the walls of the library of the HAS (Roldán et al., 2011). A fork-lift truck was used to have access to the selected analysis points. The paintings are oils on canvas of large format without any layer of protective varnish. A total of 608 EDXRF spectra were obtained from different primers, colours and hues in the paintings by means a portable spectrometer, developed by the ICMUV.

Pigment identification was based on their characteristic colour, the detected elements (by EDXRF) and the named "key elements" of a given pigment. The results revealed that the paintings were made over different preparation layers containing, respectively, lead white, zinc and barium compounds, lead white mixed with zinc white or lead white mixed with zinc and barium compounds. The EDXRF spectra of all analyzed points from the pigment layers are characterized by the strong presence of the fluorescence lines of lead due to the use of lead white as whitener, mixed with other pigments, in order to obtain lighter hues. The EDXRF analyses of coloured zones identified up to 29 inorganic pigments and, in some cases, the probable use of organic pigments. Sorolla used traditional pigments as earth pigments, lead white, vermillion, etc., and modern pigments as cadmium yellow, zinc white, cobalt based blue, chromium based green, manganese based violet, etc. The results of these analyses complete the ICMUV database about the palette of Joaquin Sorolla and have allowed assisting restorers, curators and researchers of the HSA and BANCAJA, in the restoration process of the "Vision of Spain" paintings.

References

Murcia-Mascarós, S., Roldán, C., Rodenas, I., Vidal, C. (2009) Non-destructive Analysis of Christian funerary glass from Gandia Collegiate Church (Valencia). *Proceeding of the VIII Congreso Ibérico de Arqueometría*, in press.

Roldán, C., Ferrero, J., Juanes, D., Murcia, S., Ripollés, V. (2011). Joaquin Sorolla's pigment characterization of the paintings "Vision of Spain" by means EDXRF portable system. *X-Ray Spectrometry* (DOI 10.1002/xrs.1339, wileyonlinelibrary.com, 2 de mayo de 2011).

Roldán, C., Murcia-Mascarós, S., Ferrero, J., Villaverde, V., López, E., Domingo, I., Martínez, R., Guillem, P. (2010) Application of field portable EDXRF spectrometry to analysis of pigments of Levantine rock art, in *X-Ray Spectrometry*, *39*, 243–250.

Zilhão, J., Angelucci, D.E., Badal-García, E., d'Errico, F., Daniel, F., Dayet, L., Douka, K., Higham, T., Martínez-Sánchez, M., R. Montes-Bernárdez, S. Murcia-Mascarós, C. Pérez-Sirvent, C. Roldán-García, Vanhaeren, M., Villaverde, V., Wood, R., Zapata, J. (2010) Symbolic Use of Marine Shells and Mineral Pigments by Iberian Neandertals. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 107, No. 3, January 19, 1023–1028.

Láseres y Nanotecnologías para el Patrimonio Cultural (LANAPAC)

M. Castillejo*, C. Domingo, S. Martínez y M. Oujja
**Instituto de Química Física Rocasolano (CSIC), Serrano 119, 28006 Madrid, marta.castillejo@iqfr.csic.es*

Introducción

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 Patrimonio Cultural, 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. Los láseres se utilizan como fuentes de excitación para análisis espectroscópico y diagnóstico óptico, como herramientas para conservación, como por ejemplo para limpieza basada en ablación láser, y como elemento principal de los escáners 3D, dispositivos que analizan la forma y el color de los objetos (Castillejo 2008).

Las actividades de investigación del Grupo Láseres y Nanotecnologías para el Patrimonio Cultural LANAPAC, constituido por investigadores del Instituto de Química Física Rocasolano y del Instituto de Estructura de la Materia del CSIC, están orientadas hacia las siguientes líneas: Procesado de materiales con láser, incluyendo limpieza y fabricación de nanoestructuras y Desarrollo y aplicación de técnicas de espectroscopía láser para análisis y diagnóstico de materiales y objetos. Una parte importante de dicha actividad tiene lugar en colaboración con instituciones de conservación, museos, y empresas de restauración de ámbito nacional e internacional. Además el grupo desarrolla actividades encaminadas a la formación de jóvenes investigadores y al entrenamiento de restauradores y conservadores en el uso de técnicas avanzadas de restauración y análisis basadas en láser.

Limpieza láser

La limpieza láser se basa en la eliminación de material superficial mediante la irradiación con pulsos láser de suficiente intensidad. Este procedimiento elimina el contacto directo con el substrato y permite el control del espesor de la capa eliminada en el rango de decenas de nanómetros (1 nm= 10^{-9} m). Este fenómeno se denomina ablación láser y tiene lugar a través de mecanismos generalmente complejos en los que intervienen procesos de tipo térmico, fotoquímico y fotomecánico. La contribución relativa de cada uno de ellos depende de la naturaleza del substrato y de las parámetros del láser, fundamentalmente longitud de onda, energía, duración y número de pulsos. Con el fin de avanzar en la comprensión de estos mecanismos y guiar las aplicaciones en sistemas reales del Patrimonio, en el Grupo LANAPAC se realizan estudios en sistemas modelo (polímeros dopados, capas pictóricas) cuyas propiedades se encuentran bien definidas y pueden ser controladas a voluntad (Oujja 2011a). En la Figura 1 se muestra un ejemplo de la aplicación de pulsos láser de distinta duración para la eliminación de barnices sobre substratos pictóricos.

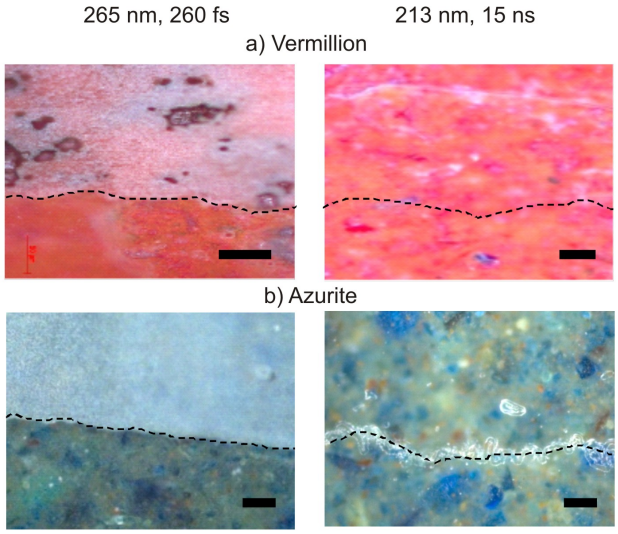


Figura 1. Imágenes de microscopía óptica de muestras de pintura a la témpera con barniz shellac (a) bermellón y (b) azurita. El límite entre la zona no-irradiada (abajo) y la zona irradiada con una fluencia 1.5 veces el valor umbral de eliminación del barniz (arriba) está marcada mediante una línea discontinua. Las columnas izquierda y derecha corresponden a la irradiación con 100 pulsos láser de duración y longitud de onda indicadas. La barra es de 50 micras en todas las imágenes (Oujja 2011a).

Además de los estudios mencionados, se aplican técnicas de limpieza láser en objetos y substratos reales del Patrimonio. Este método está ampliamente aceptado en el ámbito de la conservación para la restauración de fachadas arquitectónicas y esculturas. Sin embargo su aplicación a substratos más delicados como las pinturas y policromías y que contienen materiales sensibles a la irradiación luminosa (pigmentos, barnices, etc.), es sujeto de mayor atención y demanda una investigación cuidadosa enfocada a la identificación de las condiciones de aplicación y a los posibles efectos colaterales. Como se ha mencionado el grupo colabora con restauradores, conservadores e instituciones del Patrimonio en la evaluación y aplicación de los métodos de limpieza láser sobre monumentos y obras de arte. Entre los estudios recientes cabe destacar 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 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 (Oujja 2005).

Desarrollo y aplicación de técnicas de espectroscopía láser

Las espectroscopías láser LIF (L*aser Induced Fluorescence*) y LIBS (*Laser Induced Breakdown Spectroscopy*), así como la espectroscopía Raman, tanto en su versión más convencional como utilizando la técnica de alta sensibilidad SERS

(*Surface Enhanced Raman Spectroscopy)*, han demostrado su utilidad y éxito en un rango amplio de aplicaciones para el análisis elemental o para la identificación molecular a escala micrométrica. Estas técnicas, por sí mismas o en combinación, permiten además el seguimiento y control *on line* del proceso de intervención durante los trabajos de conservación. Debido a su carácter no destructivo o mínimamente intrusivo, su uso elimina la necesidad de toma de muestra. La posibilidad de su implementación como equipos portátiles hace posible su acceso a objetos valiosos o a estructuras del patrimonio inmueble. El Grupo LANAPAC ha utilizado ampliamente las técnicas mencionadas para el análisis de objetos y substratos del Patrimonio, incluyendo pigmentos en pinturas y policromías, vidrios históricos, documentos en papel o pergamino, etc. La Figura 2 muestra la aplicación de las técnicas de LIF y espectroscopía Raman por transformada de Fourier (FT-Raman) para la caracterización de pátinas históricas sobre substratos pétreos (Oujja 2011b).

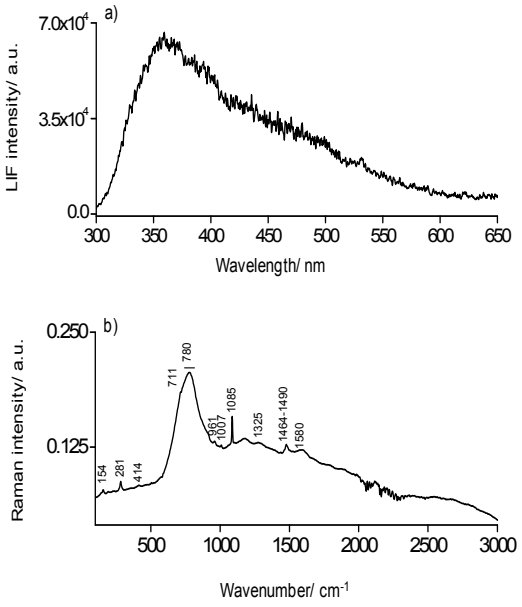


Figura 2. Espectros LIF, a) y FT-Raman, b) de pátina histórica de la fachada del Monasterio de San Blas, Lerma, Burgos (estilo Barroco, s. XVII)

Tras haber sido pioneros en la aplicación de la técnica SERS a la caracterización de pigmentos orgánicos naturales, así como en su detección en textiles teñidos *en la fibra* sin necesidad de llevar a cabo procesos de hidrólisis y extracción previa, se ha abordado recientemente el estudio y caracterización SERS de pigmentos orgánicos sintéticos de altas prestaciones utilizados en obras de arte contemporáneo, en particular quinacridonas. Dada su insolubilidad, tanto en agua como en disolventes orgánicos, estos pigmentos son difíciles de detectar utilizando técnicas convencionales de análisis. Por otra parte, debido a su alta

capacidad de tinción, se utilizan en cantidades muy pequeñas, por lo que son necesarias técnicas de detección con muy alta sensibilidad. Se han desarrollado varias estrategias para su identificación mediante la técnica SERS entre las que cabe destacar la dispersión en calixarenos (del Puerto 2011), y en líquidos iónicos.

Dentro del campo de aplicación de las espectroscopías Raman y SERS se están realizando en la actualidad estudios de diferentes aditivos y mezclas en materiales artificiales de construcción en edificaciones del Patrimonio para su identificación y caracterización de sus interacciones. En particular, en el caso de los morteros, es conocido desde la época romana, que la adición de compuestos orgánicos al cemento (urea, sangre, etc.) puede modificar algunas de sus propiedades (viscosidad, porosidad, etc.). Al estar presentes en bajas concentraciones, las técnicas tradicionales (FTIR, DRX, etc.) no permiten su fácil identificación. Por el contrario la elevada sensibilidad de las espectroscopías láser vibracionales las hace muy adecuadas en su aplicación tanto en materiales antiguos (morteros de cal, puzolana, etc.), como en materiales modernos (cementos, hormigones y otros).

Agradecimientos

La actividad del grupo LANAPAC está financiada por Proyectos de Ministerio de Ciencia e Innovación (CTQ2010-15680, CONSOLIDER CSD2007-00058) y Programa Geomateriales (CAM, S2009/Mat-1629).

Referencias

Castillejo M., Moreno P., Oujja M., Radvan R., Ruiz J. (eds.) (2008), Volume of Proceedings of 7th International Conference of Lasers in the Conservation of Artworks, CRC Press, Taylor and Francis Group, London, ISBN 978-0-415-47596-9

del Puerto E., Sánchez-Cortés S., García-Ramos J.V., Domingo C. (2011) *Chem. Commun.* 47, 1854

Oujja M., Rebollar E., Castillejo M., Domingo C., Cirujano C., Guerra-Librero F. (2005) *J. Cult. Herit.* 6, 321.

Oujja M., García A., Romero C., Moreno P., Rodríguez Vázquez de Aldana J., Castillejo M. (2011) *Phys. Chem. Chem. Phys.* 13, 4625.

Oujja M., Sanz M., Vázquez-Calvo C., Álvarez de Buergo M., Fort R., Castillejo M.(2011) enviado a *Anal. Bioanal. Chem.*

Rocas ornamentales: procesos fisicoquímicos

A. C. Iñigo, E. Molina, V. Rives, S. Vicente Tavera, J. García Talegón y A. García Sánchez
CSIC-Universidad de Salamanca (Grupo Unidad Asociada "Química del Estado Sólido), c) Cordel de Merinas 40-52, 37008 Salamanca, e-mail: adolfo.inigo@irnasa.csic.es

El principal objetivo de la investigación llevada a cabo por el grupo se centra en el conocimiento de la naturaleza, comportamiento, formas de empleo y conservación racional de los materiales pétreos empleados como materiales de construcción, ornamentación y restauración.

Nuestra actividad investigadora, actualmente se centra en:

- Caracterización química, mineralógica, petrofísica y físico-mecánica de materiales pétreos: i) areniscas, conglomerados y granitos silicificados en monumentos de Zamora, ii) En monumentos de Salamanca, las areniscas (Piedra de Villamayor), areniscas y conglomerados silicificados y granitos, iii) los granitos silicificados de Ávila y iv) la caliza de Campaspero (Valladolid).
- Localización e identificación de materiales de cantera aptos para posibles reposiciones en actuaciones sobre monumentos, edificios de interés histórico-artístico y para nuevas edificaciones. Una aplicación de nuestra investigación fue en el puente romano de Salamanca (Iñigo et al., 2005): areniscas y conglomerados silicificados, vaugnerita de Calzadilla, leucogranito de Martinamor y granodiorita de Los Santos, Figura 1.

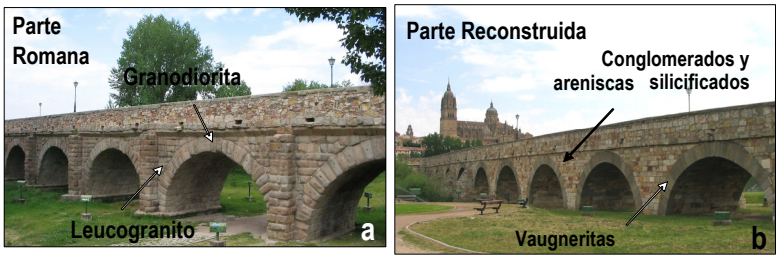


Figura 1: Distribución de los principales granitos y conglomerados y areniscas silicificados en el puente romano de Salamanca.

- Análisis de comportamiento, patologías y diagnostico de evolución presentes en los materiales pétreos empleados en monumentos, según sus características intrínsecas y las condiciones ambientales de las diferentes zonas de los edificios, realizando las correspondientes cartografías: i) la Iglesia de Sta. María de Azogue de Benavente (Zamora) y ii) el castillo de Zamora.
- Ensayos de envejecimiento acelerado bajo condiciones controladas de materiales pétreos de cantera (hielo/deshielo, cristalización de sales, niebla salina, etc.). Durabilidad de las areniscas y conglomerados silicificados de Zamora (García Talegón et al., 2006a).

▪ Recopilación y tratamiento estadístico de los datos relativos a los parámetros indicativos de los diferentes microambientes presentes en el edificio (datos meteorológicos y contaminación atmosférica, de aguas de escorrentía y subsuperficiales: i) Catedral de Zamora (García Talegón et al., 2006b) y ii) Catedral de Ávila (Iñigo et al., 2001).

▪ Determinación de la eficacia y durabilidad de tratamientos de conservación (desalación/cataplasmas de arcilla, biocidas, consolidantes e hidrofugantes) de los materiales pétreos anteriormente mencionados, con el fin de dar propuestas que contribuyan a una mejor conservación del Patrimonio Cultural, Figura 2.

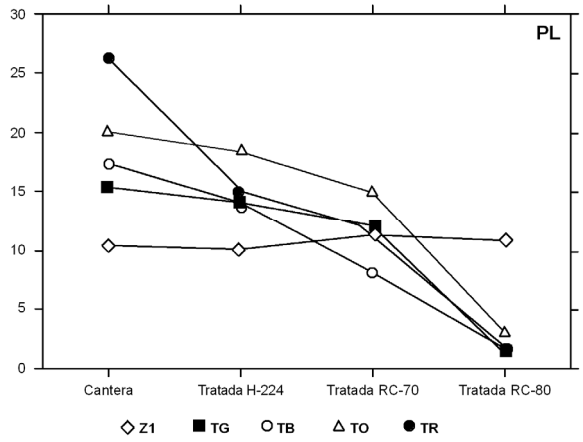


Figura 2: Gráfico de la interacción muestra/tratamiento para la variable porosidad libre de las areniscas y conglomerados silicificados de Zamora: cantera, y tratadas con hidrofugante, consolidante y consolidante/hidrofugante).

Dentro de las colaboraciones con otros grupos de la Red TechnoHeritage, cabe destacar la mantenida con los Drs. José Luís Pérez Rodríguez y Ángel Justo Erbez del Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (ICMSE), que durante los últimos diez años se plasmó en la realización de dos proyectos del Plan Nacional y un convenio con el Arzobispado de Sevilla, para la restauración de la Iglesia Colegial del Divino Salvador. Además, a partir del año 2007, se ha establecido colaboración con la empresa REARASA, cuyo fruto ha sido la firma de dos contratos de apoyo tecnológico.

Referencias

García-Talegón, J., Hinojal, R., Iñigo, A. C., Alonso-Gavilán, G., Molina, E., Vicente-Tavera, S. (2006a) El sistema poroso de las areniscas y microconglomerados silicificados de Zamora tras la alteración experimental por hielo/deshielo. *Geo-Temas* 9, 93-97.

Garcia-Talegon, J., González-Sánchez, M., Iñigo, A. C., Vicente-Tavera, S., Rives, V. (2006b) Microenvironments in the inner and outer of the Zamora Cathedral. En: *Heritage, weathering & conservation*, R. Fort, M. Alvarez de Buergo, M. Gomez-Heras, C. Vazquez-Calvo (eds.), A.A. Balkema Publishers - Taylor & Francis, The Netherlands 1, pp. 457-461.

Iñigo, A. C., Lopez-Moro, F. J., Vicente-Tavera, S., Rives, V. (2005) Monitoring of origin and evolution of building stones through their major components. *Journal of Materials in Civil Engineering* 17, 440-446.

Iñigo, A. C., Vicente-Tavera, S. (2001) Different degrees of stone decay on the inner and outer walls of a Cloister. *Building and Environment* 36, 911-917.

Grupo de investigación en el Patrimonio Arquitectónico y Sostenibilidad (GIPAS-UAH)

G. Barluenga, L. Ramón Laca, A. García, F. da Casa, M.A. Layuno, J. Rivera, F. Estirado, J. Puentes, R. Undurraga, Y. Gómez
Departamento de Arquitectura, Universidad de Alcalá, C. Santa Úrsula

El arquitecto es el profesional que define el proyecto de intervención en los edificios del Patrimonio arquitectónico, por lo que sus decisiones determinan las medidas de conservación del mismo. Debido al desarrollo e implementación de técnicas de diagnóstico y de tratamiento aplicables al patrimonio histórico, resulta necesario el trabajo interdisciplinar en la intervención en el patrimonio. Para poder tomar decisiones adecuadas, el arquitecto necesita disponer de estudios previos, realizados por especialistas, que caractericen e identifiquen los materiales, técnicas y etapas constructivas, datación histórica y estado de conservación de los edificios. En los últimos años se están desarrollando gran cantidad de técnicas no destructivas que permiten obtener una gran cantidad de información con la que evaluar el estado de conservación de los materiales que constituyen los diferentes elementos constructivos.

El grupo de investigación GIPAS surge de la necesidad de crear equipos de trabajo multidisciplinares que puedan abarcar las diferentes facetas históricas, constructivas y relacionadas con los materiales que constituyen los edificios del Patrimonio arquitectónico, así como algunos elementos de mobiliario asociados. Actualmente participa junto con varios grupos de investigación en el Programa Geomateriales (S2009/Mat-1629), financiado por la Comunidad de Madrid.

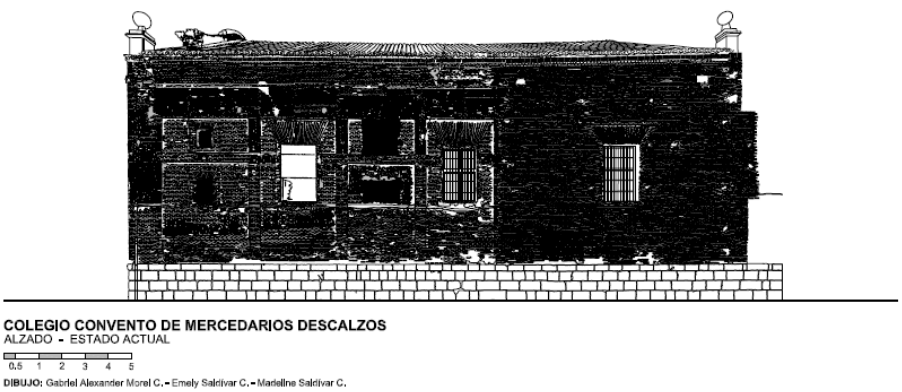


Figura 1. Levantamiento del Alzado del Colegio Convento de Mercedarios Descalzos (Alcalá de Henares).

La aproximación al estudio se realiza desde un punto de vista arquitectónico de las técnicas de auscultación y caracterización requeridas para la conservación, restauración y rehabilitación, estableciendo protocolos de aplicación de las técnicas de caracterización e identificación de los materiales y procedimientos constructivos presentes. La combinación de diferentes tipos de

materiales en los diferentes elementos arquitectónicos supone una dificultad añadida a la hora de analizar el estado de conservación de los edificios, ya que se debe tener en cuenta tanto el aspecto y acabado de los mismos, como la capacidad conjunta para responder a las exigencias estéticas, físicas y mecánicas.

A través del estudio de edificios concretos del Patrimonio, el grupo desarrolla su actividad investigadora, evaluando la cantidad y calidad de la información obtenida a través de las diferentes técnicas, con el objetivo de establecer protocolos de utilización de las mismas e interpretación de los resultados.

En el desarrollo de estos protocolos de estudio e intervención en el Patrimonio arquitectónico, se integran técnicas de levantamiento arquitectónico y fotogrametría, datación, fuentes documentales históricas, caracterización de materiales y elementos constructivos mediante ensayos no-destructivos y caracterización físico-mecánica, morfológica y microestructural.

En la mayor parte de los casos nos encontramos con edificios del Patrimonio donde, además de los procesos de degradación de los materiales propios del paso del tiempo y la exposición a agentes ambientales, se han realizado numerosas intervenciones a lo largo de la historia. La combinación de técnicas de evaluación complementarias permite establecer criterios objetivos a la hora de elaborar los proyectos de intervención en el Patrimonio Arquitectónico.

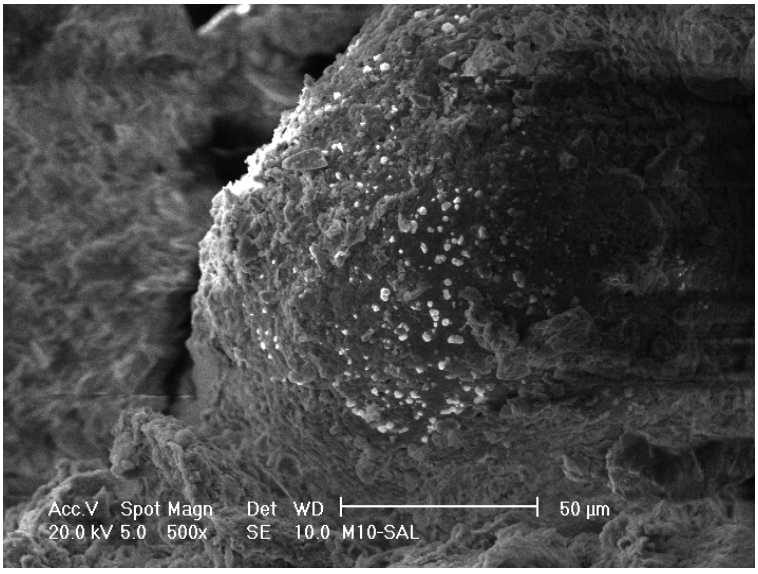


Figura 2. Presencia de sales en un mortero histórico de albañilería (Microscopía Electrónica de Barrido).

Monitorización y tratamiento de datos micro-climáticos en el patrimonio cultural: IC9 Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico Del IVC+R

J. Pérez-Miralles, F.J. García-Diego, C. Pérez García, P. Mercé, P. d´Antoni, H. d´Antoni
Instituto Valenciano de Conservación y Restauración. 12080 Castellón. e-mail: jperezm@ivcr.es

Introducción

La aplicación práctica de un plan de conservación preventiva, implica el control eficaz de los agentes de degradación. La conservación preventiva se ocupa de determinar cuáles son las condiciones idóneas y diseñar los sistemas de control y seguridad más adecuados para prolongar la vida material de un bien cultural, manteniendo en lo posible las propiedades originales. Para estudiar y controlar estas condiciones hemos desarrollado un sistema de monitorización de parámetros físicos, basado en el empleo de un sistema complejo de sensores, que recogen datos de las obras de arte, de manera independiente a su lugares de exhibición, utilizando además otros estudios y ensayos no destructivos como el empleo de la termografia y la documentación digital de alta resolución. Con todo ello se consigue realizar un estudio pormenorizado de la situación del bien cultural, trazar las estrategias más adecuadas de actuación y llegado el caso actuar comprobando con los mismos sistemas la validez.

Sistema de Monitorización

En primer lugar deberíamos plantearnos ¿Qué puede aportar un estudio microclimático a la conservación preventiva del Patrimonio? La respuesta es: *Estudiar* cambios producidos por agentes externos o por el hombre, que están afectando negativa a la obra y si es el caso, proponer formas de paliar estos daños; *Controlar* en un futuro si algún cambio que se efectue puede variar el microclima de la misma y cómo se puede minimizar este hecho.

El sistema de monitorización de parámetros físicos desarollado, nos permite tener el control de cada pieza de manera individualizada, como de cualquier zona del espacio expositivo que se pretende estudiar y controlar. Esto se realiza gracias a la incorporación, en la propia obra, de un sensor que nos proporciona el parámetro deseado. Para lograr esto se ha adoptado un bus de datos sencillo basado en que cada sensor dispone de un número único e irrepetible. Con este número podemos colocar todos los sensores en paralelo como si de un sistema de telegrama se tratase. Así el ordenador pregunta por un sensor en particular y solamente responde el sensor en cuestión. Con este sistema se pretende en poder actuar rápidamente sobre las obras de arte, ya que los sensores están incorporados en las obras o en su entorno dando información precisa sobre sus condiciones particulares. En un sistema enfocado a la sala, éste puede no ser adecuado para una obra en concreto ya que estas pueden estar sometidas a un microclima inadecuado, debido a factores como su ubicación, numero de visitantes, iluminación. fuentes de calor, etc. Por tanto en primer lugar con este sistema podemos individualizar su estudio y tratamiento. Y en segundo lugar

recabar datos sobre las condiciones climáticas a las que han sido sometidas a lo largo del tiempo que han sido monitorizadas. Para cubrir las necesidades específicas de gestión, por la gran cantidad de datos provenientes de estos sensores de parámetros climáticos (humedad relativa, temperatura, etc.) se ha desarrollado un software al que hemos denominado "Burrito". Esta aplicación puede almacenar sin problemas varios millones de datos, realizar búsquedas (por fecha, sensor, etc.), obtener resultados promediados (por 30 minutos, por hora, por día…), presentar gráficos y exportar resultados a la popular hoja de cálculo MS Excel para, por ejemplo, realizar análisis estadísticos complejos. El análisis de los datos climáticos lo realizamos mediante técnicas estadísticas avanzadas, a través de la técnica del PCA (Principal Component Analisis). Esta técnica permite analizar los datos en dos dimensiones, analizando tanto, la media como el cámbio de forma de la misma. En una representación gráfica en 2D, cada sensor ocupa una posición, que permite generar unos "mapas", de manera que se puede conocer visualmente, el estado del bién cultural monitorizado.

Aplicación del sistema

La primera aplicación fue realizada en el año 2001 en una exposición temporal realizada en la localidad de Morella (Castellón-España) donde se realiza un seguimiento individualizado de algunas piezas, que por su importancia o exigencia del préstamo se realizó el control. Este fue el punto de partida para darnos cuenta, por los resultados que se obtenían, que las obras eran sometidas en un mismo lugar a diferentes condiciones ambientales. Otras exposiciones han sido partícipes de este sistema de monitorización, pudiendo actuar de manera eficiente a problemas puntuales provenientes de cambios inesperados en las condiciones ambientales. Además se ha realizado un gran esfuerzo para implementar este método de estudio y diagnosis a lugares y obras de gran relevancia artística e histórica, diseñando y modificando continuamente tanto la aplicación como el tipo de sensor por exigencia del bién cultural. Entre estos bienes culturales nos encontramos con los Frescos Renacentistas de la Catedral de Valencia, España; los frescos romanos de la casa de Ariadna en Pompeya, Italia; el Pecio español encontrado en puerto Madero, Argentina y otros numerosos bienes culturales.

Finalidad

La finalidad en la utilización de estos sistemas de monitorización y diagnosis va encaminad al manejo de esta herramienta tecnológica como instrumento de apoyo para la mejor estrategia de conservación preventiva del Patrimonio Cultural. Otra de las finalidades, con la utilización de este sistema de monitorización, es la creación de una base de datos de todos los bienes culturales que lleven implantado este sistema de control. Tener los datos almacenados, poder conocer en tiempo real como se encuentran y disponer de estos para el estudio y diagnosis de comportamiento que ayuden a comprender mejor su evolución.

Metodologia

Cuando el equipo de trabajo se enfrenta a una petición de estudio en un bien cultural concreto, se abre una discusión sobre los parámetros importantes a

controlar, donde y como de va a intalar el sistema y que otras aplicaciones complementarias se deben de utilizar. Entre las otras aplicaciones que pueden emplearse, nos encontramos con la aplicación de la termografía como complemento de la medición climática, capaz de detectar humedades tanto por filtración en cubiertas como por capilaridad procedente del suelo, oquedades, cambio en los materiales constitutivos, descohesión en entre estratos. Otra de las aplicaciones utilizadas es la fotografía digital de alta resolución, capaz de obtener una documentación excepcional con los medios actuales, con la utilización de respaldos digitales y luz calibrada, tanto en calidad como en potencia. Así se logra descubrir detalles que a simple vista el ojo humano no puede apreciar. Esta documentación es por si un testimonio de cómo se encuentra el bien cultural facilitándonos la posibilidad de estudiarlo al mínimo detalles. La posibilidad de poder conocer los niveles de radiación que llegan a los bienes culturales es otra de las herramientas importantes utilizadas en el estudio y diagnosis. Con ella se puede ver la incidencia de la radiación y estudiar sus efectos.

Principales resultados

Poner de manifiesto la importancia de la monitorización de un bien cultural y como su estudio e interpretación pueden ayudar en las estrategias para una correcta conservación preventiva. Como ejemplo tenemos el trabajo realizado en la casa de Ariadna en Pompeya. Desde el año 2007 se empezó a realizar un estudio para poder tener un diagnostico preciso de cuatro de la estancias de esta casa, que presentaban distintas cubiertas y unas condiciones ambientales particulares. Se realizó un estudio micro-climático en estas habitaciones a distintas alturas. La altura de estas habitaciones es de unos cinco metros. Los cerramientos que se han estudiado eran de tres tipos: uno tradicional de teja; Otro de policarbonato; y un tercero de cristal sobre un mosaico. Se tomaron mediciones de radiación electromagnética, se tomaron registros con cámara termográfica y algunas tomas con fotografía digital. El tiempo que se implementó el sistema de sensores fue de un año aproximadamente. Con los datos recogidos se realizó un informe con los resultados, que fueron expuestos en unas jornadas realizadas en Valencia sobre Pompeya y donde asistieron responsables del recinto arqueológico de Pompeya. Gracias a estos estudios la arquitecta responsable tomó la determinación de realizar unos cambios en las techumbres o cerramientos superiores de estas habitaciones. En el año 2010 se vuelve a realizar un nuevo estudio con los medios anteriormente expuestos, para determinar la validez de los cambios efectuados y comprobar si se han producido cambios significativos en las pinturas que decoran estas estancias. Los resultados de este último estudio nos han demostrado que los cambios de la techumbres han variado de manera notable las condiciones medio-ambientales con que se encontraban estas habitaciones. Además el registro realizado con fotografía digital de alta resolución nos ha mostrado aspectos muy significativos de los colores, escenas, y motivos que decoran la gran mayoría de las paredes de estas noble casa de Ariadna.

Conclusión

Es una necesidad poder tener elementos objetivos de juicio para poder ser estudiados de manera pormenorizada. La tecnología nos brinda la oportunidad de poder aplicar sistemas novedosos, capaces de trasmitirnos una información valiosa para futuras actuaciones y lo que es igual de importante, poder disponer de una base de datos de las condiciones en que la obra has estado expuesta. El estudio de estos datos es lo que proponemos para lograr un mejor control de los mismos y en definitiva de conservar en mejores condiciones nuestro patrimonio artístico.

En el caso expuesto las conclusiones vienen dadas por los daños producidos por estas cubiertas y las bruscas variaciones de temperatura y humedad que producen. Éstos son de dos tipos: *Relativos a la obra en sí*, reacciones químicas (favorecidas por altas temperaturas y humedad), Agrietamiento debido a las constantes dilataciones y contracciones, así como desconchamientos o separación de las pinturas de la pared; *Relativos al entorno*: Al crear un punto de baja humedad y alta temperatura, creamos un punto de evaporación de agua, es decir, el agua del suelo tenderá a evaporar por esos puntos, esto explica el porqué los mosaicos se encuentran levantados (cosa que no había ocurrido durante muchos años).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido subvencionado parcialmente por el Ministerio de Ciemcias e Innovación HAR2010-21944-C02-01 y HAR2010-21944-C02-02

Bibliografia

Camuffo, D. *Microclimate for cultural heritage*, Elsevier, Amsterdam, 1998.

Bernardi, A., Camuffo, D. Microclimate in the Chiericati Palace Municipal Museum, Vicenza, Museum Manag. *Curatorship* 14 (1995) 5-18.

Camuffo, D., Bernardi, A., Sturaro, G., Valentino, A. The microclimate inside the Pollaiolo and Botticelli rooms in the Uffizi Gallery, Florence, J. Cult. Herit. 3 (2002) 155-161.

Tabunschikov, Y., Brodatch, M. Indoor air climate requirements for Russian churches and cathedrals, *Indoor Air* 14 (Suppl 7) (2004) 168-174.

Camuffo, D., Sturaro, G., Valentino, A. Thermodynamic exchanges between the external boundary layer and the indoor microclimate at the basilica of Santa Maria Maggiore, Rome, Italy: the problem of conservation of ancient works of art, *Bound. Layer Meteor.* 92 (1999) 243-262.

Camuffo, D., Pagan, E., Bernardi, A., Becherini, F. The impact of heating, lighting and people in re-using historical buildings: a case study, *J. Cult. Herit.* 5 (2004) 409-416.

Camuffo, D., Bernardi, A. The microclimate of the Sistine Chapel, *Eur. Cult. Heritage Newslett. Res.* 9 (1995) 7-33.

Camuffo, D., Bernardi, A. The microclimate of Leonardo's Last Supper, *Bollettino Geofisico* 14(3) (1991) 1-75.

Del Vescovo, D., Fregolent, A. Assessment of fresco detachments through a non-invasive acoustic method, *J. Sound Vib.* 284 (2005) 1015-1031.

Nomikos, P., MacGregor, J.F. Monitoring of batch processes using multiway principal component analysis, *AIChE J.* 40 (1994) 1361-1375.

Rännar, S., MacGregor, J.F., Wold, S. Adaptive batch monitoring using hierarchical PCA, *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 41 (1998) 73-81.

Zarzo, M., Ferrer, A. Batch process diagnosis: PLS with variable selection versus block-wise PCR, *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 73 (2004) 15-27.

Diagnóstico de Impactos Ambientales sobre el Patrimonio Cultural (Histórico, Artístico y Natural) mediante análisis in-situ, observaciones micro-espectroscópicas y modelado químico

Juan Manuel Madariaga, Kepa Castro, Irantzu Martinez-Arkarazo, Marian Olazabal, Gorka Arana, Maite Maguregui, Silvia Fdez-Ortiz de Vallejuelo
Grupo IBeA, Departamento de Química Analítica, Universidad del País Vasco. E-mail: juanmanuel.madariaga@ehu.es

En los últimos años, nuestro grupo de investigación ha estudiado la acción de los impactos ambientales sobre el Patrimonio Cultural, en especial los gases de combustión y de efecto invernadero, las aguas de infiltración y los procesos de bioimpacto. Se han realizado estudios en patrimonio inmueble: fachadas y elementos decorativos de edificios históricos (ver artículos 10, 17, 19, 22 y 26) y en patrimonio mueble: papeles pintados, esculturas, pinturas murales, etc. (ver artículos 1, 7, 11, 15, 25 y 27). Pero de nada valdría constatar la degradación del patrimonio cultural debido a la contaminación atmosférica o al cambio climático, si no se conocen los mecanismos fisico-químicos que provocan dicha degradación. Es precisamente la elucidación de dichos mecanismos lo que proporcionan una información valiosísima para poder posteriormente proponer y establecer los trabajos de conservación y restauración más adecuados y efectivos (ver artículos 21 y 23).

Una de las características más relevantes de todos los trabajos llevados a cabo por el grupo IBeA en temas relacionados con el Patrimonio Cultural ha sido el empleo de instrumentación científica portátil y no invasiva. Técnicas como la espectroscopia Raman e Infrarroja (DRIFT) y la Fluorescencia de Rayos X son de gran utilidad en el diagnóstico y la monitorización. La verificación de la eficacia en el análisis de equipos portátiles ha sido objeto de estudio en varias ocasiones, en concreto en el ámbito de análisis in situ sobre muestras de distinta naturaleza (Ver artículos 2, 3, 6, 9, 14 y 19).

Nuestro grupo de investigación hace uso de la especiación molecular (mediante análisis Raman y FTIR, apoyado con medidas de XRF) en conjunción con la especiación termodinámicos mediante la simulación de equilibrios en disolución (mediante software como MEDUSA, Visual-Minteq, etc.) para esclarecer cómo se han podido formar los productos de deterioro por reacción entre los componentes originales y los agentes químicos ambientales. Algunos de esos ejemplos se han publicado en revistas de muy alto índice de impacto en el Area de la Química Analítica (ver artículos 8, 13, 18, 20, 24 y 29).

Se han realizado varios trabajos de investigación sobre el efecto de acciones conservación sobre diferentes obras de arte. Cabe destacar los trabajos realizados en las Iglesias de Villalibado (Burgos), Lemoniz (Bizkaia) y Monasterio de Hermo (Asturias), donde se pudo constatar como una mala praxis en cuanto a los trabajos de restauración y conservación, está siendo la responsable del paulatino deterioro de pinturas murales (Ver artículos 4, 5, 8 y 23).

Nuestro grupo de investigación extiende su actividad al patrimonio natural. Las cuevas, y en concreto las cuevas turísticas, son entes muy delicados que

merecen ser preservadas lo más inalteradas posible. Las visitas y la actividad de flora y fauna sobre la cavidad son factores que provocan la alteración, degradación e incluso destrucción de las mismas. Nuestro grupo ha investigado el impacto de ambos factores en la cueva de Pozalagua (Bizkaia), englobada en la lista de Patrimonio de la Humanidad y famosa por poseer la mayor cantidad de estalactitas excéntricas de todas las cuevas de Europa, y en la de Lantz (Navarra). En concreto nos hemos centrado en el llamado mal verde, en la descalcificación de las paredes, en la generación de estalacticas coloreadas, en el impacto de nitratos y en la génesis de la llamada "leche de luna" ó Moonmilk (ver artículos 12, 13, 16 y 28).

A continuación se indican, a modo de ejemplos, algunas de nuestras publicaciones ISI. Muchos de estos trabajos se han hecho en colaboración con grupos de Italia, Portugal, Francia, Reino Unido, Bélgica y Finlandia, donde nuestra aportación ha sido casi siempre el diagnóstico de impactos ambientales sobre materiales del Patrimonio Cultural (papeles pintados, mapas, morteros, pinturas murales, edificios..) y/o del Patrimonio Natural (cuevas, sedimentos,…):

1.- K. Castro, M.D. Rodríguez-Laso, L.A. Fernández and J.M. Madariaga, FT-Raman spectroscopic study of Pigments present in decorative wallpapers of the middle nineteenth century from the Santa Isabel factory (Vitoria, Basque Country, Spain), *Journal of Raman Spectroscopy, 33, 17-25, 2002*
2.- K. Castro, M. Pérez-Alonso, M.D. Rodríguez-Laso and J.M. Madariaga, FT-IR Spectra Database of Inorganic Artists' Materials, *Analytical Chemistry, 75, 214A-221A, 2003*
3.- K. Castro, M. Pérez-Alonso, M.D. Rodríguez-Laso and J.M. Madariaga, Pigment analysis of a wallpaper from the beginning of XIX century: Les Monuments de Paris, *Journal of Raman Spectroscopy, 35, 704-709, 2004*
4.- M. Pérez-Alonso, K. Castro, I. Martinez-Arkarazo, M. Angulo, M.A. Olazabal and J.M. Madariaga, Analysis of bulk and degradation inorganic products of stones, mortars and wallpaintings by portable Raman microprobe, *Analytical and Bioanalytical Chemistry, 379, 42-50, 2004*
5.- M. Pérez-Alonso, K. Castro, M. Álvarez and J. M. Madariaga, Scientific Analysis versus Restorer's Expertise for diagnosis prior to a restoration process: The case of Santa Maria Church (Hermo, Asturias, North of Spain), *Analytica Chimica Acta, 524, 379-389, 2004*
6.- K. Castro, M. Pérez-Alonso, M.D. Rodríguez-Laso, L.A. Fernández and J.M. Madariaga, On-line FT-Raman and dispersive Raman spectra database of artists' materials (e-VISART database), *Analytical and Bioanalytical Chemistry, 382, 248-258, 2005*
7.- M. Pérez-Alonso, K. Castro and J.M. Madariaga, Vibrational Spectroscopic Techniques for the Analysis of Artefacts with Historical, Artistic and Archaeological Value, *Current Analytical Chemistry, 2, 89-100, 2006*
8.- M. Pérez-Alonso, K. Castro and J.M. Madariaga. Investigation of Degradation Mechanisms by Portable Raman Spectroscopy and Thermodynamic Speciation: the wall painting of Santa Maria de Lemoniz (Basque Country, North of Spain), *Analytica Chimica Acta, 571, 121-128, 2006*

9.- P. Vandenabeele, K. Castro, M. Hargreaves, L. Moens, J.M. Madariaga and H.G.M. Edwards Comparative Study of Mobile Raman Instrumentation for Art Analysis, *Analytica ChimicaActa, 588, 108-116, 2007,*
10.- I. Martinez-Arkarazo, M. Angulo, L. Bartolomé, N. Etxebarria, J.M. Madariaga. An Integrated Analytical Approach to Diagnose the Conservation State of Building Materials of a Palace House in the Metropolitan Bilbao (Basque Country, North of Spain), *Analytica Chimica Acta, 584, 350-359, 2007*
11.- K. Castro, A. Sarmiento, E. Princi, M. Pérez-Alonso, M. D. Rodríguez-Laso, S. Vicini, J. M. Madariaga and E. Pedemonte, Vibrational Spectroscopy at the Service of Industrial Archaeology: XIX century of Wallpaper Industry, *TRAC, Trends in Analytical Chemistry, 26, 347-359, 2007*
12.- I. Martinez-Arkarazo, M. Angulo, O. Zuloaga, A. Usobiaga and J.M. Madariaga, Spectroscopic characterisation of moonmilk deposits in Pozalagua tourist Cave (Karratza, Basque Country, North of Spain), *Spectrochimica Acta, Part A, 68, 1058-1064, 2007*
13.- I. Martinez-Arkarazo, A. Sarmiento, A. Usobiaga, M. Angulo, N. Etxebarria and J. M. Madariaga, Thermodynamic and Raman spectroscopic speciation to define the operating conditions of an innovative cleaning treatment for carbonated stones based on the use of ion exchangers-A case study, *Talanta, 75, 511-516, 2008*
14.- K. Castro, S. Pessanha, N. Proietti, E. Princi, D. Capitani, M.L. Carvalho and J.M. Madariaga, Non-invasive and non-destructive NMR, RAMAN and XRF analysis of a Blaeu's coloured map from the XVII century, *Analytical and Bioanalytical Chemistry, 391, 433-441, 2008*
15.- K. Castro, N. Proietti, E. Princi, S. Pessanha, M.L. Carvalho, S. Vicini, D. Capitani and J.M. Madariaga, Analysis of a coloured Dutch map from the eighteenth century: the need for a multi-analytical spectroscopic approach using portable instrumentation, *Analytica Chimica Acta, 623, 187-194, 2008*
16.- M. Maguregui, A. Sarmiento, I. Martínez-Arkarazo, M. Angulo, K. Castro, G. Arana, N. Etxebarria and J. M. Madariaga, Analytical diagnosis methodology to evaluate nitrate impact on historical building materials, *Analytical and Bioanalalytical Chemistry, 391, 1361-1370, 2008*
17.- A. Sarmiento, M. Maguregui, I. Martinez-Arkarazo, M. Angulo, K. Castro, M. A. Olazábal, L. A. Fernández, M. D. Rodríguez-Laso, A. M. Mujika, J. Gómez and J. M. Madariaga, Raman spectroscopy as a tool to diagnose the impacts of combustion and greenhouse acid gases on properties of Built Heritage, *Journal of Raman Spectroscopy, 39, 1042-1049, 2008*
18.- K. Castro, A. Sarmiento, I. Martinez-Arkarazo, J.M. Madariaga and L.A. Fernández, Green Copper pigment biodegradation in Cultural Heritage: From Malachite to Moolooite, thermodynamic modelling, X-ray fluorescence and Raman Evidence, *Analytical Chemistry, 80, 4103-4110, 2008*
19.- I. Martinez-Arkarazo, D.C. Smith, O. Zuloaga, M.A. Olazabal and J.M. Madariaga, Evaluation of three different mobile Raman microscopes employed to study deteriorated civil building stones, *Journal of Raman Spectroscopy, 39, 1018-1029, 2008*
20.- K. Castro, A. Sarmiento, M. Maguregui, I. Martínez-Arkarazo, N. Etxebarria, M. Angulo, M. Urrutikoetxea Barrutia, J.M. González-Cembellín and J.M.

Madariaga, Multianalytical approach to the analysis of English polychromed alabasters sculptures: μRaman, μEDXRF and FTIR spectroscopies, *Analytical and Bioanalytical Chemistry, 392, 755-763, 2008*

21.- C. Boileau, S. Pessanha, Ch. Tardif, K. Castro, N. Proietti, D. Capitani, S. Vicini, J. M. Madariaga, M. L. Carvalho and E. Princi, Efficacy of Waterborne Polyurethane to Prevent the enzymatic Attack on Paper Based Materials, *Journal of Applied Polymer Science, 113, 2030-2040, 2009*

22.- M. Maguregui, A. Sarmiento, R. Escribano, I. Martinez-Arkarazo, K. Castro and J.M. Madariaga, Raman Spectroscopy after accelerated ageing tests to assess the origin of some decayed products found in real historical bricks affected by urban polluted atmospheres, *Analytical and Bioanalytical Chemistry, 395, 2119-2129, 2009*

23.- I. Martinez-Arkarazo, A. Sarmiento, M. Maguregui, K. Castro and J.M. Madariaga, Portable Raman monitoring of modern cleaning and consolidation operations of artworks on mineral supports, *Analytical and Bioanalytical Chemistry, 397, 2717-2725, 2010*

24.- M. Maguregui, U. Knuutinen, K. Castro and J.M. Madariaga, Raman spectroscopy as a tool to diagnose the impact and conservation state of Pompeian second and fourth style wall paintings exposed to diverse environments (House of Marcus Lucretius), *Journal of Raman Spectroscopy, 41, 1110-1119, 2010*

25.- J.A. Carrero, N. Goienaga, S. Fdez-Ortiz de Vallejuelo, G. Arana and J.M. Madariaga, Archaeological pieces classification into their respective stratum by a chemometric model based on the soil metal concentration of 26 selected elements, *Spectrochimica Acta, Part B, 65, 279-286, 2010*

26.- N. Prieto-Taboada, M. Maguregui, I. Martinez-Arkarazo, M. A. Olazabal, G. Arana,J. M. Madariaga, Spectroscopic evaluation of the environmental impact on black crusted modern mortars in urban–industrial areas, *Analytical and Bioanalalytical Chemistry, 399, 2949-2959, 2011*

27.- A. Sarmiento, M. Pérez-Alonso, M. Olivares, K. Castro, I. Martinez-Arkarazo, L.A. Fernández and J.M. Madariaga, Classification and Identification of Organic Binding Media in Artworks by means of Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Principal Component Analysis, *Analytical and Bioanalytical Chemistry, 399, 3601-3611, 2011*

28.- L.F.O. Silva, X. Querol, K.M. da Boit, S. Fdez-Ortiz de Vallejuelo and J.M. Madariaga, Brazilian Coal Mining Residues and Sulphides Oxidation by Fenton´s Reaction: an accelerated weathering procedure to evaluate the impact for environment and human health, *Journal of Hazardous Materials, 186, 516-525, 2011*

29.- M. Maguregui, U. Knuutinen, I. Martinez-Arkarazo, K. Castro and J.M. Madariaga, Thermodynamic and spectroscopic speciation to explain the blackening process of hematite promoted by atmospheric SO_2 impact: The case of Marcus Lucretius House (Pompeii), *Analytical Chemistry, 83, 3319-3326, 2011*

Conservación de vidrios y materiales cerámicos históricos y monumentales (CERVITRUM)

M. A. Villegas, M. García Heras, J.Ma. Rincón, F. Agua, J.F. Conde, T. Palomar, J. Peña Poza, A. Guinot, A. Llorente, J. Pérez Lobato
Instituto de Historia, CCHS-CSIC, calle Albasanz, 26-28, 28037 Madrid, mariangeles.villegas@cchs.csic.es

Introducción

CERVITRUM es un Grupo de Investigación multi e interdisciplinar formado en la actualidad por químicos, arqueólogos e ingenieros. Se creó en el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CSIC) en el año 2002. Tras una actividad investigadora de más de cinco años en el CENIM, durante la cual ya contaba con la colaboración del Prof. Rincón del IETcc, el grupo se trasladó, en julio de 2007, al Instituto de Historia en el nuevo Centro de Ciencias Humanas y Sociales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CCHS-CSIC).

Actividades científico-técnicas de I+D+i

Las actividades de investigación de CERVITRUM se centran de modo exclusivo en el Patrimonio Histórico y Cultural. Dichas actividades se llevan a cabo sobre la base de tres líneas de investigación:

1) Caracterización químico-física de materiales inorgánicos (vidrios, cerámicas, metales, etc.)
2) Estudio y diagnosis de procesos de degradación
3) Estrategias de conservación preventiva.

Las temáticas de NET-HERITAGE en las que se incluye la actividad científica de CERVITRUM son:

- *Environmental assessment and monitoring.*
- *Investigation of damage mechanisms to establish preventive conservation strategies.*
- *Measurement instruments of practical relevance for end-users.*
- *Security technologies and systems in museums, libraries, archives and for the movement of artefacts.*

El grupo se articula en torno a uno de los campos de actuación de la Arqueometría, como es la aplicación de técnicas de caracterización químico-física a materiales inorgánicos. Con la aplicación de estas técnicas se determina su tecnología de producción, las características de sus materias primas y su estado de conservación.

Desde el punto de vista de investigación básica, el grupo centra sus objetivos en el estudio y diagnosis de los procesos de deterioro, degradación y corrosión de materiales, tanto por meteorización natural (en aire, en tierra y en medio acuoso), como mediante procesos de envejecimiento acelerado o de simulación en el laboratorio.

Asimismo, los intereses en innovación se orientan al desarrollo de estrategias de conservación preventiva con las que impedir la alteración y degradación futura de los materiales, para una mejor valoración y difusión del Patrimonio Histórico y Cultural del que forman parte. Dicha conservación preventiva se lleva a cabo a través de sensores ambientales basados en la metodología sol-gel. El diseño, preparación y estudio de estos sensores químicos de respuesta óptica se realiza para evaluar el pH (acidez) y otros parámetros medioambientales, como temperatura, humedad relativa e iluminación.

El seguimiento y la asesoría científico-técnica de trabajos de restauración y conservación también forma parte de las actividades del grupo que, en general, se articulan previa solicitud de informe o contrato de la parte interesada.

Equipamiento disponible

Para la preparación y acondicionamiento de muestras se cuenta con: microcortadora, pulidora, placa calefactora, hornos de fusión de alta temperatura, hornos de atmósfera controlada, hornos de tratamientos térmicos, etc. Para la caracterización quimicofísica de materiales inorgánicos se dispone de: viscosímetro, tesiómetro, refractómetro de Abbe, espectrofotómetro UV-VIS-IRP, lupa binocular, microscopio petrográfico, microscopio electrónico de barrido, cámara climática de ensayos acelerados, microindentador Vickers-Knoop, ensayos mecánicos a compresión y flexión y resistencia al desgaste por abrasión.

Experiencia científica y técnica

En la tabla 1 se resume la experiencia del grupo CERVITRUM en estudios científicos y técnicos relacionados con bienes culturales de vidrio y cerámica.

Tabla 1. Estudios científico-técnicos realizados con vidrios y materiales cerámicos

Conjuntos de vidrieras históricas	Otros bienes culturales (vidrio)	Materiales cerámicos
Catedral de León	Cuentas prerromanas celtibéricas (Numancia)	Neolíticos de Tell Ezou y Tell Marj (Siria) (figura 1a)
Catedral de Girona	Vidrios romanos de La Alcudia (Elche) (figura 1b)	Neolíticos de Casa Montero (Madrid)
Catedral de Sta. María (Vitoria-Gasteiz)	Vidrios romanos de La Dehesa de la Oliva (Madrid)	Campaniformes de varios yacimientos (Galicia)
Cartuja de Miraflores (Burgos)	Vidrios romanos de Emerita Augusta (Mérida)	De la Edad del Hierro (Starosiedle, Kozów y Sekowice, Polonia)
San Juan de los Reyes (Toledo)	Teselas romanas de Itálica y Carmona (Sevilla)	Prerromanos y romanos de El Bierzo (Léon)
Iglesia Prioral Sant Pere (Reus)	Vidrios islámicos de Al-Andalus (Murcia)	Mayas de Calakmul (México)
Iglesia San Severino (Balmaseda)	Lámpara capilla Palafox, catedral de Burgo de Osma (Soria)	Terracotas ibéricas (Alicante)
Iglesa del Espíritu Santo (Madrid)	Lámparas de la Real Fábrica de Cristales (La Granja)	Materiales cerámicos del Palacio de Pedro I (Sevilla)
Casa Goyeneche (Madrid)	Cuentas de la Edad del Hierro (Kosów, Polonia)	

El grupo CERVITRUM ha estudiado diversos tipos de metales asociados con las vidrieras históricas, como los perfiles de emplomado, plomos de recibo, barras de sujeción, bastidores, etc. Asimismo, se han realizado análisis de materiales metálicos procedentes de las estaciones de ferrocarril de Aranjuez y de Atocha (Madrid).

Los sensores químicos de respuesta óptica diseñados y producidos por el grupo se han aplicado en: Castillo de Wawel s. XI (Cracovia, Polonia), Palacio Real Museo de Wilanów s. XVIII (Varsovia, Polonia), Biblioteca Archivo Tomás Navarro Tomás s. XXI (Madrid), Real Fábrica de Cristales de La Granja s. XVIII (Segovia), iglesia del Espíritu Santo y Sede Central del CSIC s. XX (Madrid).

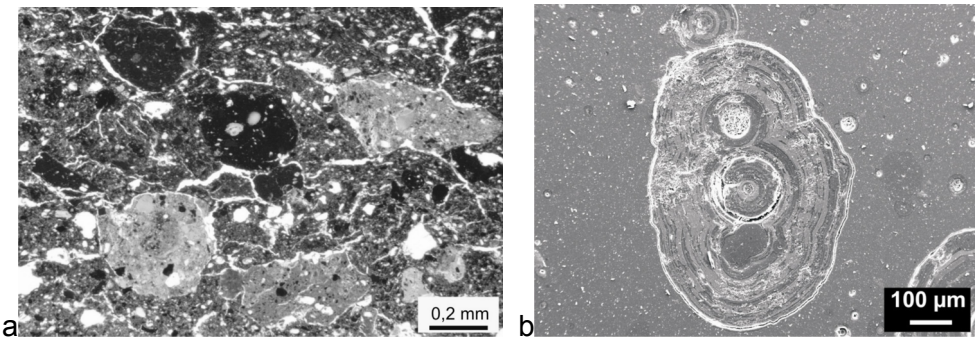


Figura 1a) Micrografía petrográfica de chamota en una cerámica neolítica de Siria. 1b) Imagen MEB de la superficie de un vidrio romano de La Alcudia.

Breve historial curricular

En la figura 2 se muestra la distribución de actividades del grupo CERVITRUM en los últimos cinco años (2005-2010).

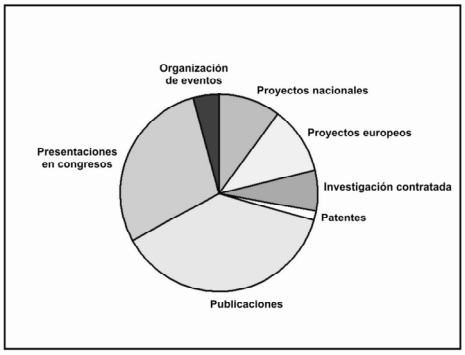


Figura 2. Distribución porcentual de actividades realizadas en el periodo 2006-2010.

Durante los últimos 5 años el grupo CERVITRUM ha participado o liderado 15 proyectos de investigación y 8 contratos de investigación. Actualmente participa, entre otros, en los Programas Consolider Ingenio 2010: "Investigación en tecnologías para la conservación y revalorización del Patrimonio Cultural" (Ministerio de Ciencia e Innovación ref. TCP CSD2007-00058) y Geomateriales:

"Durabilidad y conservación de geomateriales del Patrimonio construido" (Comunidad de Madrid ref. S2009/Mat-1629).

En cuanto a publicaciones catalogadas por JCR ha realizado 8 del Arts & Humanities Citation Index, 2 del Social Sciences Citation Index y 19 del Science Citation Index. Ha publicado 7 artículos en revistas con supervisores no catalogadas por JCR y 14 artículos en obras colectivas. Ha contribuido con 20 trabajos en congresos internacionales y 15 en congresos nacionales. Ha solicitado 3 patentes de invención y ha organizado diversos cursos y actividades científicas, especialmente en el marco de la Semana de la Ciencia de la Comunidad de Madrid. Algunos miembros del grupo han impartido másteres y cursos de doctorado y de especialización del CSIC, y han dirigido o codirigido 2 tesis doctorales.

Referencias seleccionadas

Carmona, N., Laiz, L., González, J.M., García-Heras, M., Villegas, M.A. Sáiz-Jiménez, C. (2006) Biodeterioration of historic stained glasses from the Cartuja de Miraflores (Spain). *International Biodeterioration and Biodegradation* 58(3-4), 155-161.

Carmona, N., Herrero-Hernández, E., Llopis, J., Villegas, M.A. (2008) Novel sol-gel reversible thermochromic materials for environmental sensors. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 47(1), 31-37.

Carmona, N., Villegas, M.A., Jiménez, P., Navarro, J., García-Heras, M. (2009) Islamic glasses from Al-Andalus. Characterisation of materials from a Murcian workshop (12th century AD, Spain). *Journal of Cultural Heritage* 10, 439-445.

Carmona, N., Kowal, A., Rincón, J. Ma., Villegas, M.A. (2010) AFM assessment of the surface nano/microstructure on chemically damaged historical and model glasses. *Materials Chemistry and Physics* 119, 254-260.

Carmona, N., Ortega-Feliú, I., Gómez-Tubío, B., Villegas. M.A. (2010) Advantages and disadvantages of PIXE/PIGE, XRF and EDX spectrometries applied to archaeometric characterisation of glasses. *Materials Characterization* 61, 257-267.

Díaz del Río, P., Consuegra, S., Domínguez, R., Martín-Bañón, A., Vírseda, L., Agua, F., Villegas, M.A., García-Heras, M. (2011) Identificación de una tradición tecnológica cerámica con desgrasante óseo en el Neolítico Peninsular. Estudio arqueométrico de materiales cerámicos de Madrid (5400-3500 cal AC). *Trabajos de Prehistoria* 68(1), 97-122.

García-Heras, M., Villegas, M.A., Caen, J.M.A., Domingo, C., García-Ramos, J.V. (2006) Patination of historical stained windows lead cames from different European locations. *Microchemical Journal* 83(2), 81-90.

Palomar, T., García-Heras, M., Sáiz-Jiménez, C., Márquez, C., Villegas, M.A. (2011) Pathologies and analytical study of mosaic materials from Carmona and Itálica. *Materiales de Construcción* (aceptado).

Mineralogía y Quimiometria de materiales arqueológicos

Rosario García Giménez, Raquel Vigil de la Villa Mencía, Virginia Rubio Fernández, Mario Ramírez Fernández, Isabel de Soto García
Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid. rosario.garcia@uam.es

Introducción

Los materiales inorgánicos tales como las cerámicas y los vidrios encontrados en los diferentes contextos arqueológicos se utilizan como delatores de la actividad, época, comercio y relaciones socioeconómicas de los colectivos implicados en la zona o región de la que proceden los materiales.

Son por estas razones por lo que desde la Faculta de Ciencias de la Universidad Autónoma en colaboración con diferentes excavaciones arqueológicas y organismos autonómicos con los que se ha procedido a estudios de carácter mineralógico y quimiométrico, ambos herramientas imprescindibles para la elaboración de hipótesis en el entorno del Patrimonio Cultural.

Materiales

Se han empleado diferentes materiales procedentes de excavaciones arqueológicas contrastadas y datadas, entre los que se encuentran cerámicas como cuencos carenados, lucernas, cerámica de paredes finas, ánforas, material edilicio, entre los cerámicos, además de vidrios, morteros y teselas.

Métodos

Desde el punto de vista mineralógico y químico se utilizan técnicas de amplia difusión en este tipo de análisis y de probada efectividad , es decir, el análisis mineralógico semicuantitativo por Difracción de Rayos X, el análisis de minerales pesados mediante líquidos densos, la determinación del índice de refracción con refractómetro y la densidad con el método de la balanza hidrostática o por inmersión en los líquidos densos; la observación con el microscopio de luz polarizada y en el campo de análisis químico mediante AAS ó ICP/MS son los vehículos fundamentales para el análisis quimiométrico junto a un buen tratamiento estadístico cuando se trata de gran colectivos de datos.

Resultados

Dependiendo de los diferentes materiales los resultados son variables, así por ejemplo en el estudio de lucernas y considerando diversas procedencias tales como Herrera de Pisuerga (Palencia) y Córdoba se han detectado ejemplares con procedencia itálica mediante técnicas mineralógicas tales como el análisis de minerales pesados y ligeros por observación con microscopio polarizante (1) cuyo recuento se presenta en la Figura 1.

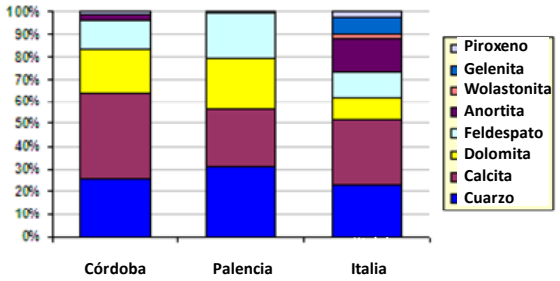


Figura 1.- Recuento mineralógico de minerales ligeros en lucernas procedentes de Herrera de Pisuerga (Palencia) y Córdoba.

En el estudio de los morteros es de gran interés el análisis mineralógico semicuantitativo ya que permite calcular pos porcentajes cal: arena, fundamentales para reproducir composiciones similares, este método ha sido de aplicación en la restauración de la Iglesia de San Andrés de Ávila (2).

Son la determinación del índice de refracción y del peso específico indicativos de la composición química y grado de cristalinidad, estos parámetros fueron definitivos para el estudio de los vidrios del Noroeste de la Península Ibérica, en los que se recopilaban materiales procedentes de los museos de Braga (Portugal), Vigo, Chaves, Lugo, Astorga, Veranes, Castro de Viladonga (España) (3).

Las teselas, consideradas como elementos decorativos, presentan diversa naturaleza según su coloración y es por esta razón que, una técnica como la Difracción de Rayos X, permite diferenciar los materiales amorfos, generalmente vidrios coloreados en verde, azul, rojo, y otras teselas cuya composición mineralógica evidencia una clara composición mineralógica tal como pizarras o carbonatos de diferentes coloración: crema, blanca, gris.

Conclusiones

Se consideran como métodos más adecuados para el análisis de las proporciones cal/arena en morteros el análisis mineralógico semicuantitativo por Difracción de Rayos X.

En el análisis de vidrio la determinación del índice de refracción y de la densidad son orientativos de la composición química y de la cristalinidad en la muestra.

Bibliografía

(1) García Giménez, R., Vigil de la Villa, R., Petit Domínguez, M.D., Rucandio, M.I. (2006). Application of chemical, physical and chemometric analytical techniques to the study of ancient ceramic oil, *Talanta*, 68(4), 1236 -1246.

(2) García Giménez, R. Vigil de la Villa, R., de Soto, I., Caballero, J. (2011) Weathering process of the historic granitic rocks, *Int. J. Architectural Heritage*, in press.

(3) Da Cruz, M. (2009), *O vidro Romano no Noroeste Peninsular, Um olhar a partir de Bracara Augusta*, Tesis Doctoral. Universidade do Minho, Portugal.

Petrología y Geoquímica aplicadas a Patrimonio (PGPA)

M.P. Lapuente, L.F. Auqué, J.A. Cuchí, J. Igea, H. Royo
Area de Petrología y Geoquímica. Dpto. Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias (Geológicas). Universidad de Zaragoza. Plza San Francisco s/n, 50009 Zaragoza. E-mail: plapuent@unizar.es

Las actividades realizadas por este grupo de investigación cubren dos campos de actuación, uno enmarcado en el estudio arqueométrico de material lítico y cerámico y un segundo, dirigido a la caracterización de los materiales de construcción y evaluación de la alteración de monumentos.

Caracterización de material arqueológico pétreo

En la primera línea de actuación, la aplicación de la Petrología y Geoquímica resulta ser una herramienta muy útil para la caracterización del material arqueológico pétreo (mármoles y cerámicas) con distintas finalidades, ya sean en el campo de la restauración o en el de la perspectiva histórica. Dentro del primer grupo de objetivos, hay que señalar entre otros, la necesidad de conocer la naturaleza mineralógica de las piezas arqueológicas previamente a su tratamiento de conservación, el determinar la sustitución de partes perdidas en obras restauradas o la utilidad para recomponer las piezas marmóreas fragmentadas. Desde el punto de vista estrictamente arqueológico, la información que se obtiene del estudio de una pieza arqueológica completa el panorama socio-económico que representa su utilización y su procedencia, o bien trasciende a diversos aspectos de su tecnología.

El estudio arqueométrico del material lapídeo conlleva el determinar la procedencia del mismo. Ello supone la sucesión de una serie de procesos que van desde la documentación histórica, pasando por la localización e identificación de las canteras explotadas en la antigüedad hasta el estudio de campo detallado con la recolección de muestras representativas para elaborar una litoteca de referencia. En la siguiente etapa se procede a analizar las muestras de cantera con diversas técnicas de uso habitual en Petrología y Geoquímica: Microscopía óptica de luz polarizada transmitida (MO), Difracción de rayos X (DRX), Catodoluminiscencia (CL) acoplada al microscopio petrográfico y CL cuantitativa acoplada al microscopio electrónico de barrido, Espectroscopías para el análisis químico elemental e isotópico con determinación de la relación de $^{18}O/^{16}O$ frente a $^{13}C/^{12}C$.

Con el doble análisis, el de la muestra arqueológica y el de la cantera de comparación, puede determinarse en muchos casos, la procedencia geológica del material utilizado en la elaboración de la pieza en cuestión. Finalmente, conociendo el periodo de explotación de cada cantera, se puede llegar a detectar cierto tipo de falsificaciones cuando la pieza está realizada con un tipo de material que no corresponde a la cronología de su estilo.

Nuestro grupo lleva inmerso en esta línea de caracterización de material lítico más de veinticinco años, a lo largo de los cuales se ha trabajado en la identificación de los mármoles hispanos usados en la antigüedad, con el estudio

paralelo de las principales canteras de mármol de la Península Ibérica y las piezas arqueológicas más emblemáticas de gran parte de los Museos hispanos. Se han realizado numerosas publicaciones científicas e interdisciplinares y se ha participado en diversos congresos nacionales e internacionales. Además gran parte de la investigación ha servido para nutrir el trabajo de diversas Tesis Doctorales del campo de Humanidades. Se ha colaborado con distintas entidades locales y regionales, especialmente con aplicaciones museísticas (Museos del Teatro y del Foro de *Caesaraugusta,* Museo Provincial de Huesca, etc), instituciones nacionales como el Museo Nacional de Arte Romano de Mérida, Museo Arqueológico Nacional o diversos Museos Arqueológicos Provinciales. En la actualidad el ámbito de actuación ha traspasado nuestras fronteras, con los trabajos que se están realizando en el Museo Nacional de Arqueología de Lisboa o los de materiales escultóricos de Villa Adriana, en Tívoli. A lo largo de este tiempo la base de datos de nuestra litoteca ha ido creciendo, contando con material de canteras de toda la cuenca mediterránea y colaborando con diversas entidades amparadas por la asociación internacional ASMOSIA (Association for the Study of Marble and Other Stones used In Antiquity).

Actualmente se está llevando a cabo la caracterización de los mármoles de la vertiente francesa del Pirineo central con objeto de incorporar los resultados obtenidos a la base de datos analítica generada para los mármoles hispanos. De forma paralela se ha continuado con el estudio de caracterización de material arqueológico lítico de la *Tarraconense*, en colaboración con el Instituto Catalán de Arqueología Clásica (ICAC), en el marco de un proyecto interdisciplinar financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación. Esta colaboración ha dado como fruto la organización en Tarragona, de la última edición del Congreso Internacional del ASMOSIA y la realización de la Exposición “Marbles and Stones of Hispania”.

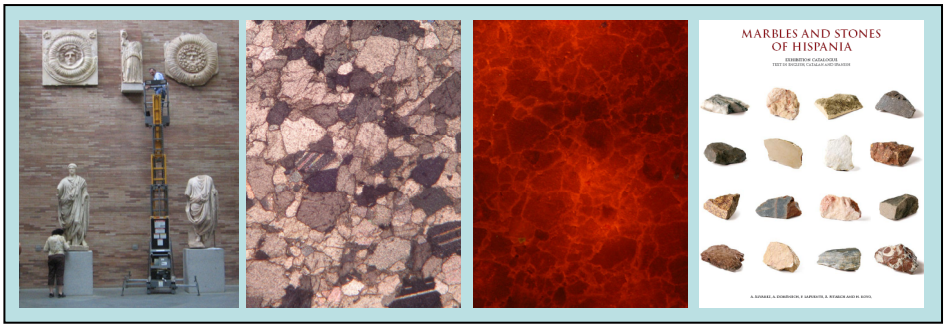


Figura 1. Muestreo de piezas de mármol, imágenes bajo el MO y con CL. A la derecha litotipos hispanos usados en la antigüedad.

Por otra parte, la aplicación de la Petrología y Geoquímica al estudio de caracterización de material cerámico ha obtenido y está reportando diversos resultados que ayudan a completar el conocimiento sobre la cultura material de diferentes épocas históricas (particularmente práctico en el estudio tecnológico y en la diferenciación de talleres).

Se han analizado petrográficamente las piezas neolíticas más antiguas de la Comunidad Aragonesa, diversas producciones autóctonas y foráneas de diferentes etapas prehistóricas, celtibéricas, romanas y medievales. Entre los múltiples trabajos realizados destacar los de la cerámica islámica ricamente decorada de los hornos locales de Zaragoza. En ellos la aplicación de diversas técnicas composicionales y texturales mediante digitalización de imágenes contribuyeron no solo a su caracterización sino también a formular aspectos de la tecnología de sus variadas producciones (meladas, a la almagra, decoradas en verde y manganeso, en "cuerda seca", cerámica utilitaria y refractaria). En la actualidad se está abordando el estudio de las producciones celtibéricas de la ciudad de Segeda y los alfares de su entorno geográfico, bajo el auspicio de un proyecto interdisciplinar I+D+I financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación.

Caracterización de los materiales de construcción y evaluación de la alteración de monumentos

Las intervenciones de restauración llevadas a cabo en los últimos años en el vasto conjunto monumental del Patrimonio aragonés y a solicitud de la Dirección General de Patrimonio del Gobierno de Aragón, nos han empujado desde hace algo más de diez años, a abrir nuestra investigación hacia el campo de la alteración de los materiales de construcción. Del análisis de las formas de deterioro y del estudio de los procesos de interacción agua-roca se deducen las causas y los principales agentes responsables de la degradación progresiva que sufren gran parte de los materiales de construcción de nuestro Patrimonio. La realización de ensayos de caracterización petrofísica y de envejecimiento artificial acelerado facilita el estudio de la relación entre las propiedades físicas de las rocas y los fenómenos de alteración observados en ellas, con el objeto final de proponer la mejor actuación restauradora posible. En el caso de la necesidad de reponer piedra, se hace igualmente necesario contar con el estudio de caracterización de la materia prima de canteras históricas.

En esta línea de investigación se han realizado diversas actividades avanzando en el conocimiento de los materiales de construcción del Mudéjar aragonés. Por una parte, se ha efectuado el estudio de caracterización de los materiales de tres Monumentos Mudéjares y por otra, se ha desarrollado un estudio experimental de morteros de restauración, en colaboración con el Instituto de Ciencias de la Construcción "Eduardo Torroja". Este trabajo está siendo abordado con el disfrute de una beca-contrato predoctoral financiado por el Gobierno de Aragón. Además se ha colaborado con distintos equipos de arquitectos de nuestra Comunidad, destacando el estudio de los materiales de construcción para el proyecto de restauración del Real Monasterio de Santa María de Sijena (Huesca), u otros de menor entidad como el estudio petrológico comparativo de la piedra original y la de reposición de la Ermita de los Dolores, en Monflorite (Huesca).

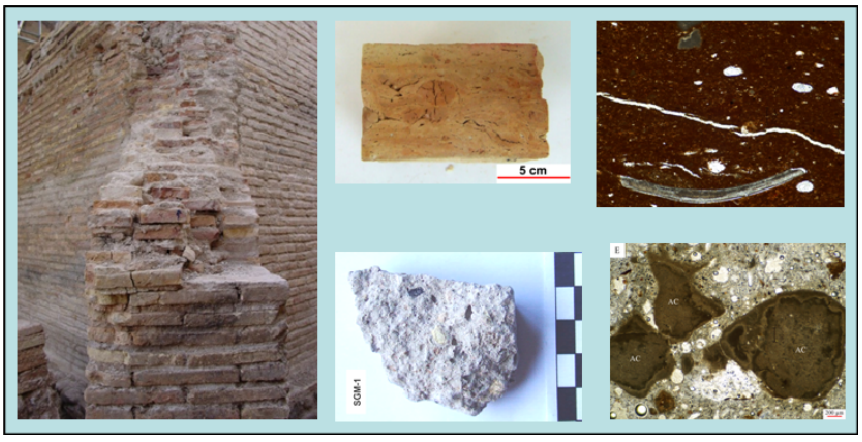


Figura 2. Materiales de construcción del Mudéjar aragonés: ladrillo y mortero de yeso.

Dentro de los aspectos estrictamente geoquímicos el grupo forma parte del GMG (Grupo consolidado de Modelización Geoquímica del Gobierno de Aragón) dedicado al estudio de los procesos geoquímicos de interacción agua-roca en condiciones de baja temperatura, tanto en sistemas naturales como antropogénicos. Los trabajos realizados tienen un doble planteamiento: investigación básica, financiada a través de proyectos de investigación, y geoquímica aplicada, con financiación mixta procedente de empresas privadas y organismos públicos de investigación. En esta línea de geoquímica aplicada, la investigación se dirige hacia la resolución de problemas medioambientales relacionados con procesos de interacción agua-sólidos, entre los que cabe señalar el estudio de los que afectan a los materiales de construcción.

El empleo de técnicas de modelización geoquímica asistida por ordenador, mediante códigos de especiación-solubilidad, pautas de reacción, balance de masas y flujo-transporte reactivo, constituye un elemento metodológico básico en el tratamiento de este tipo de problemas que, además, va perfeccionándose progresivamente conforme se amplían sus campos de aplicación. La potencia de esta herramienta de trabajo ha permitido a nuestro grupo analizar los procesos de alteración y degradación de los materiales de construcción de algunos Monumentos, como el, ya mencionado, Monasterio de Sijena. Esta metodología se ha aplicado a otros sistemas geoquímicos naturales (análisis de la calidad de las aguas en distintos tipos de acuíferos, estudio de diversos procesos de contaminación en medios saturados y no saturados, caracterización de problemas de salinización en aguas y suelos, o análisis de la posible evolución de un almacenamiento de residuos radiactivos).

Científicamente, el uso de estas herramientas de tratamiento y modelización de datos hasta ahora prácticamente desconocidas en el ámbito de aplicación en Patrimonio, suponen una importante contribución por el amplio campo de trabajo multidisciplinar que se ha abierto.

Corrosión y protección de metales para la construcción y el patrimonio cultural

E. Cano, J.M. Bastidas, D. Lafuente, D. M. Bastidas, M. Criado, S. Fajardo
Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM)-CSIC. Avda. Gregorio del Amo 8, 28040 Madrid. E-mail: ecano@cenim.csic.es

Introducción

La corrosión, es decir, la reacción química del metal con el medio en que se encuentra, es la principal causa de degradación del patrimonio cultural metálico. La naturaleza y estructura del material metálico, y el medio en el que se encuentra (sea el medio atmosférico exterior o interior de un museo o vitrina; el agua del mar o la tierra en los objetos sumergidos o enterrados; o incluso componentes de otra naturaleza que forman parte del propio objeto) condiciona los mecanismos y velocidad de deterioro. Es por lo tanto fundamental, si queremos asegurar correcta conservación de este patrimonio metálico, conocer los mecanismos por los que se produce este deterioro y desarrollar metodologías y estrategias para su protección, especialmente adaptadas a las características y necesidades peculiares de este tipo de objetos.

La línea de investigación desarrollada en el grupo se enfoca en este doble sentido de estudio de la degradación y de los sistemas de protección. A continuación se exponen de manera resumida los resultados más destacables en estos temas.

Conservación preventiva de metales en interiores: corrosión de metales por vapores de ácidos orgánicos en museos y exposiciones

Las investigaciones desarrolladas por el grupo desde hace más de 15 años en esta línea se han enfocado al estudio de los mecanismos de interacción de los ácidos orgánicos emitidos por los materiales de construcción y exposición, utilizados en vitrinas, almacenes, etc. con el cobre, plomo y sus aleaciones. En interiores de museos (incluyendo almacenes y vitrinas), donde se exponen y conservan los objetos más delicados y necesitados de especial protección, los contaminantes más abundantes no son los habitualmente estudiados en las investigaciones sobre corrosión (SO_2, Cl^-, NO_x) sino los sulfuros y sobre todo ácidos orgánicos (acético y fórmico) y aldehídos (formaldehido fundamentalmente).

Para estudiar estos efectos se realizan ensayos de campo, con caracterización de los productos de corrosión formados sobre objetos reales, exposición de probetas en vitrinas de museos y posterior caracterización, y mediciones de las concentraciones de dichos contaminantes en museos reales. En la Figura 1 se muestra un ejemplo de captadores de contaminación y probetas expuestas en el Museo Arqueológico Nacional.

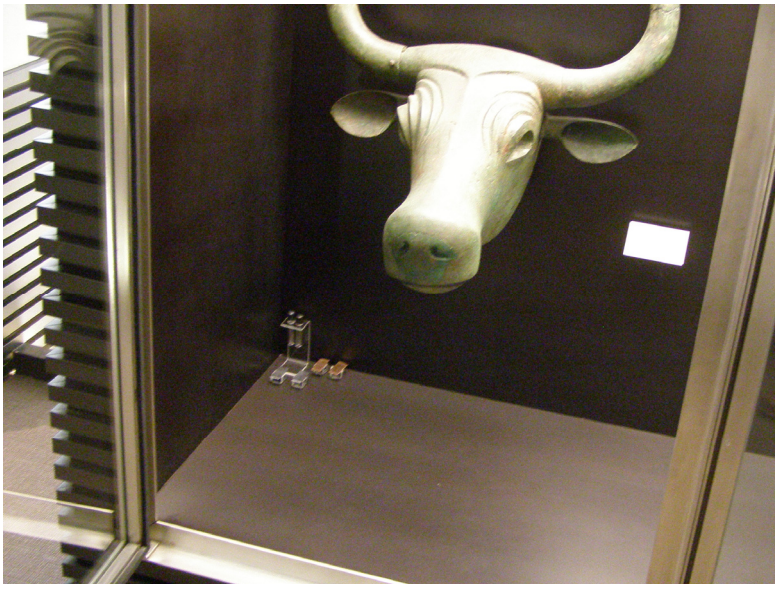


Figura 1. Probetas metálicas y captadores de contaminación expuestos en la vitrina de los toros de Costitx del Museo Arqueológico Nacional.

A partir de los datos de campo se realizan ensayos de laboratorio utilizando cámaras climáticas en las que se pueden controlar la temperatura, humedad relativa y concentración de contaminantes. La velocidad de corrosión se evalúa por procedimientos gravimétricos tradicionales y avanzados (microbalanza de cristal de cuarzo, QCM) y reducciones electroquímicas; los productos de corrosión formados se caracterizan por SEM-EDX, DRX y XPS (Bastidas 2008)

El objetivo final es el establecimiento de las condiciones más seguras para el almacenamiento y exposición de dichos metales.

Aplicación de técnicas electroquímicas en conservación y restauración de metales

Los fenómenos de corrosión que afectan al patrimonio cultural metálico son casi de manera exclusiva de naturaleza electroquímica, por lo que el uso de técnicas electroquímicas puede considerarse especialmente adecuado para el estudio de los mismos y de los sistemas de protección. El uso de estas técnicas puede contribuir a una conservación-restauración sostenible del patrimonio metálico: son relativamente baratas y rápidas en comparación con otras; pueden ser portátiles, siendo por lo tanto aplicables in-situ; pueden aplicarse global o selectivamente; la pérdida de materia del objeto tratado con respecto a otras técnicas de restauración son mínimas; y, en análisis, pueden ser significativamente menos destructivas e invasivas que otros métodos.

Como ejemplos en los que ha trabajado el grupo en los últimos tiempos pueden citarse:

- Aplicación de técnicas electroquímicas para el tratamiento de restauración y estabilización de objetos metálicos de interés cultural. Las

técnicas electroquímicas para tratamientos de conservación-restauración se comenzaron a utilizar hace más de un siglo, pero los cambios en los criterios de restauración hicieron que fueran prácticamente abandonadas en la década de 1980-90 debido a que no existía un exhaustivo control durante el tratamiento siendo, por lo tanto, demasiado agresivas. Sin embargo, han experimentado un gran auge en los últimos años, gracias al desarrollo de tratamientos con control potenciostático. Estos tratamientos permiten un mayor control de los procesos y son menos agresivos, y por lo tanto más acordes con los criterios actuales de mínima intervención (Barrio et al. 2005). No obstante, aun quedan muchos interrogantes abiertos, como el efecto de estos tratamientos en la conservación futura de los objetos (conservación preventiva), la evaluación sistemática del efecto de tratamientos repetitivos en comparación con otras metodologías y el desarrollo de un procedimiento estandarizado de tratamiento localizado con control potenciostático para su uso por los profesionales de la conservación.

- Utilización de técnicas electroquímicas para la evaluación de nuevos recubrimientos protectores frente a la corrosión para objetos metálicos de interés cultural, alternativos a los tradicionalmente usados. Los trabajos pioneros en la aplicación de la espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS) como método de evaluación del estado de conservación y la eficacia de los tratamientos protectores (recubrimientos e inhibidores), han demostrado la utilidad de esta técnica para los profesionales de la conservación-restauración del PC, al proporcionar datos cualitativos y cuantitativos sobre la eficacia de distintos tratamientos (Cano 2010a). En la Figura 2 se muestra la evaluación mediante EIS de la capacidad protectora de distintos recubrimientos –habituales en tratamientos de conservación y nuevos recubrimientos- para la protección de objetos históricos de acero, utilizando probetas que simulan la composición, microestructura y estado de conservación de objetos reales (Cano 2010b).
- Evaluación mediante técnicas electroquímicas de la corrosión producida sobre objetos reales o análogos de laboratorio expuestos en condiciones de museo para evaluar el deterioro sufrido (tales como los mencionados en el apartado anterior). La gran sensibilidad de estas técnicas permiten obtener resultados en atmósferas poco agresivas como las de los museos utilizando tiempos de exposición relativamente cortos.

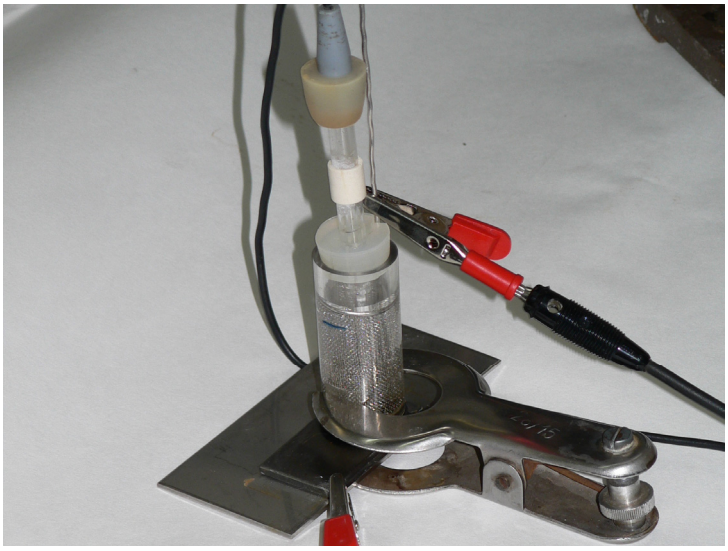


Figura 2. Evaluación mediante técnicas electroquímicas (EIS) de la capacidad protectora de distintos recubrimientos para la protección de objetos históricos de acero.

Referencias

Barrio, J., Cano, E., Arroyo, M., Pardo A.I. y Chamón, J (2005) "Investigación sobre el proceso de estabilización y limpieza por reducción potenciostática de un plomo epigráfico romano" En: *Actas del II Congreso Conservacion e Investigacion en Restauración, Grupo Español del International Institute for Conservation (GE-IIC)*. pp. 133-14. Barcelona. 9-11 Noviembre 2005.

Bastidas, D.M., La Iglesia, M.V., Cano, E., Fajardo, S., Bastidas, J.M. (2008) "Kinetic study of formate compunds developed on copper in the presence of formic acid vapor" *Journal of the Electrochemical Society*, 150, C578-C582

Cano, E., Lafuente, D. y Bastidas, D.M.. (2010a) "Use of EIS for the evaluation of the protective properties of coatings for metallic cultural heritage: a review." *Journal of Solid State Electrochemistry*, 14, 381-391

Cano, E., Bastidas, D. M., Argyropoulos, V., Fajardo, S., Siatou, A., Bastidas, J. M. y Degrigny, C (2010b) "Electrochemical characterization of organic coatings for protection of historic steel artifacts." *Journal of Solid State Electrochemistry* 14, 453-463

Tetreault, J., Cano, E. , van Bommel, M., Scott, D., Dennis, M., Barthés-Labrousse, M.-G., Minel L. and Robiola L. (2003) "Corrosion of copper and lead by formaldehyde, formic and acetic acid vapours" *Studies in Conservation* 48, 237-250

Ciencias de materiales aplicada al Patrimonio. CEMAPA

M.T. Blanco Varela, M.I. Sánchez de Rojas, S. Martínez Ramírez, P. Carmona Quiroga, M. Frías, A.M. Guerrero, F. Puertas, V. Azorín
Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción

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 y hasta la actualidad hemos ejecutado diversos proyectos de investigación financiado por CICYT, UE, CCAA así como por Patronatos o por empresas responsables de la restauración de algún bien cultural concreto.

El grupo ha trabajado en el diagnóstico de más de 40 monumentos, participando siempre en equipos multidisciplinares bien nacionales o internacionales de investigadores y restauradores, lo que me ha permitido conocer las necesidades de los arquitectos, arqueólogos y restauradores en lo referente al conocimiento científico de los problemas y de desarrollo de nuevos materiales y tratamientos aplicados a la conservación de los materiales constitutivos de Patrimonio Histórico y Cultural.

El grupo trabaja en tres líneas fundamentales: a) diagnóstico del estado de conservación de morteros y hormigones del patrimonio; b) desarrollo de morteros de reparación; c) desarrollo y validación de productos de conservación de materiales pétreos.

Estado de conservación de morteros y hormigones del Patrimonio

Los morteros y hormigones, son materiales de construcción cuyos principales componentes son el ligante, el árido y el agua. En algunos casos y con el fin de mejorar sus propiedades se le añaden diferentes adiciones minerales (puzolanas, materiales cerámicos, etc.) o aditivos. Los morteros se emplean con una doble función: a) como revestimiento de superficies débiles tales como columnas, paredes, etc.; b) como material de unión, ya sea entre ladrillos, sillares, etc.

Las propiedades y durabilidad de los morteros dependen en gran medida de la naturaleza del ligante, y de la tecnología de preparación. La determinación de la naturaleza del ligante es el primer paso a dar en una fase de diagnóstico. A finales de los años 90 participamos en un proyecto europeo en el que desarrollamos y validamos un procedimiento de análisis que permite identificar y diferenciar los distintos conglomerantes hidráulicos presentes en morteros históricos. Posteriormente y teniendo en cuenta la bibliografía este procedimiento se completó diferenciando también los morteros de cal aérea y se validó con muestras tomada de monumentos de Italia Bélgica y España.

Una de las causas de deterioro de morteros y hormigones hay que situarla en los contaminantes atmosféricos que al interaccionar con los materiales de construcción, tanto naturales (piedras) como artificiales (morteros, ladrillos, etc.) aceleran su degradación.

Con el fin de modelizar esta interacción, se han llevado a cabo estudios en cámaras climáticas que simulan ambientes agresivos. En este contexto se trabajó en dos proyectos europeos estudiando el mecanismo de interacción de de

morteros de cal, cal y puzolana y morteros de cemento con gases contaminantes (SO_2, NO_x) a distintas concentraciones, tomando como variables la adición de agua y el efecto de oxidantes (ozono). Se establecieron las ecuaciones que determinan las velocidades de interacción de los diferentes agresivos con los materiales de construcción en términos de mg de contaminante cm^{-2} s^{-1}. Se establecieron igualmente las reacciones en las distintas etapas por las que transcurría la mencionada interacción. Los procesos de deterioro de los morteros con los contaminantes gaseosos se estudiaron a través de las sales formadas y depositadas en los mismos, que dependen de la composición del mortero y del gas contaminante.

Desarrollo de morteros de reparación

Tras el diagnóstico y una vez conocida la causa del deterioro de la obra a conservar con frecuencia solo se pueden tomar medidas que palien los efectos. Cabe pues pensar en desarrollar morteros de reparación con propiedades específicas mejoradas.

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 si, sino también respecto de propiedades físico-mecánicas como resistencias, módulo elástico, coeficientes de dilatación térmica e hídrica estabilidad de volumen, etc.

Un ejemplo claro es el deterioro de mosaicos expuestos a la intemperie en climas templados, en los que la principal causa de deterioro de la superficie de las teselas suele ser la colonización biológica. Dicha colonización comienza en el material más poroso y que retiene agua por más tiempo, es decir por el mortero y desde allí se extiende a las teselas, en general menos porosas. Es claro que las medidas de protección han de ir encaminadas a dotar al mosaico de propiedades biocidas y para ello el mercado ofrece productos de impregnación con tales propiedades. Una opción de mayor carga tecnológica ha sido el desarrollo de un mortero de reparación de naturaleza compatible con el de la obra a reparar y con propiedades biocidas en masa, no solo en superficie, como modo de prolongar el tiempo efectivo de la propiedad.

Nuestro grupo ha desarrollado un mortero en base cal, en el que distintos biocidas se incorporaban al mismo adsorbidos en sepiolita.

Otra de las causas de deterioro de los morteros de cal es su baja resistencia a las heladas, en este sentido se han desarrollado otros morteros que son más hidrófobos y con distribución de tamaño de poros optimizada, ello se consiguió utilizando como ligante una mezcla de cal y metacaolín al que además se le añadió un aditivo.

Por otro lado, en épocas históricas los morteros empleados estaban basados exclusivamente en el uso de cal y arena, o en cal con materiales hidráulicos y arena. Estos morteros se adaptaban perfectamente a los materiales del momento de acuerdo a sus necesidades. Con el cambio habido en los morteros y en concreto con la aparición de los cementos Portland, la fabricación de los morteros tradicionales cayó en desuso, siendo sustituidos por mezclas con

cementos hidráulicos. Esto ha provocado en muchos casos un deterioro acelerado del material histórico que lo recibía. La investigación dirigida hacia la recuperación de los morteros tradicionales supone una gran restitución y buena práctica para el Patrimonio Histórico. Existen materiales, como son las puzolanas, que tienen una gran repercusión en la fabricación de los cementos actuales, pero que sin embargo han perdido su uso tradicional en morteros de cal o morteros romanos. La aplicación inmediata de estos morteros fue en la restauración de la Alameda de Osuna de Madrid y distintas colaboraciones con empresas, destacando el estudio del deterioro de los materiales existentes en el Palacio de Comunicaciones de Madrid y los morteros del Monasterio de Yuste.

Otra característica que puede requerir control es el color ya que con frecuencia se realizan reparaciones con morteros cuyo color ha de ajustarse a unos valores cromáticos. Tras la labor de caracterización de los pigmentos originales usados en la obra a reparar se tratará de desarrollar morteros con color similar usando pigmentos estables en el medio fuertemente básico que suelen tener los morteros. Ejemplos de desarrollos en este sentido son los morteros diseñados para las restauraciones, ya mencionadas, en la Alameda de Osuna y en Monasterio de Yuste.

Desarrollo y validación de productos de conservación de materiales pétreos

La conservación de los materiales en monumentos requiere con frecuencia la aplicación de productos tales como consolidantes hidrofugantes, antigraffiti etc. La idoneidad de estos tratamientos se suele evaluar mediante el estudio de la modificación de las propiedades físicas de substratos pétreos tras la aplicación de los mismos (propiedades hídricas, color y brillo, porosidad y permeabilidad) y de su durabilidad (ciclos hielo deshielo, radiación UV, cristalización de sales etc).

En coordinación con diferentes grupos de investigación de Salamanca, Sevilla y Madrid, se iniciaron los trabajos de investigación que, desde un marco de Proyecto EUROCARE, consistían en el estudio de los materiales pétreos existentes en las Catedrales de Salamanca, Sevilla y Toledo.

Así, las labores del Instituto Eduardo Torroja se basaban, entre otras, en el estudio de la piedra arenisca de Villamayor, de donde proceden los materiales empleados en la mayoría de monumentos salmantinos, y por consiguiente utilizada en la edificación de las Catedrales de Salamanca, investigando el efecto que sobre este tipo de material pétreo tenían distintos agentes de consolidación e hidrofugación comerciales.

También, este tipo de investigaciones se han propuesto en estudios más recientes en la restauración de la Torre del Oro en Sevilla

Nuestro grupo además realiza estudios para conocer las interacciones moleculares entre los tratamientos de conservación (consolidantes, hidrofugantes, *antigraffitis)* y las superficies de materiales pétreos a través de técnicas espectroscópicas (Raman, FTIR y RMN) y termogravimetría. A su vez hemos establecido metodologías de estudio que permiten a través de diferentes técnicas instrumentales, correlacionar la capacidad protectora (hidrofugante, antigraffiti, etc.) conferida por productos comerciales a materiales pétreos con su estructura molecular;

Por otra parte y en colaboración con el ICV hacemos estudios de las energías superficiales y determinamos los centros activos de las superficies de los materiales de construcción, que permitan conocer el tipo de interacción eficaz con cada uno de los tratamientos.

Centro Andaluz de Arqueología Ibérica (CAAI)

Arturo Ruiz y Alberto Sánchez
Centro Andaluz de Arqueología Ibérica. Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas Ed. C6 23071. Jaén. Correo: arruiz@ujaen.es

El Centro Andaluz de Arqueología Ibérica fue creado en 1998 en el marco del II Plan Andaluz de Investigación acogiéndose a que este desarrollaba lo que en el I Plan se definió como centros de excelencia entendidos como mecanismos de planificación con capacidad ejecutiva en la gestión de los fondos que se le asignaran, y dotados de una estructura ágil que se sobreponía a diferentes grupos de investigación integrados en distintos organismos, para permitirles la definición de objetivos comunes, la movilidad de su personal, la adquisición y uso compartido de equipamiento y la coordinación y aglutinación de su esfuerzo investigador. Específicamente su creación se articuló además a la definición de la cultura ibérica como proyecto estratégico tal y como proponía el Plan Estratégico de la Provincia de Jaén en su proyecto nº 87. El CAAI se creó por convenio entre la Universidad de Jaén y la Consejería de Educación y Ciencia, hoy Consejería de Economía, Innovación y Ciencia y su ubicación se establece en la Universidad de Jaén aun cuando se integren en el futuro nuevos grupos de investigación procedentes de otras instituciones. El CAAI por su vinculación temática la cultura ibérica se ha estructurado en un doble nivel: de una parte las líneas que tienen que ver con la citada cultura y de otra parte una red de laboratorios con temáticas transversales (www.ujaen.es/centros/caai) (Figura 1).

En el primer campo se trabaja por proyectos de investigación y excepcionalmente con contratos con administraciones públicas. En este campo la delimitación es espacio temporal y se desarrollan geográficamente en el contexto andaluz abarcando las provincias de Jaén, Málaga, Córdoba, Granada y Almería. Con una cronología que va desde el siglo IX al siglo I a. C., es decir, prácticamente un milenio, y se desarrollan en sitios arqueológicos con diferentes funcionalidades: necrópolis, santuarios, *oppida*, escenarios de batalla y lugares productivos. En este campo se trabaja en varias líneas:

1- Línea. Historiografía ibérica: Esta línea se ha desarrollado en el marco del proyecto europeo AREA (2005-0841/001-001CLT-CA22 Cultura 2000) coordinado por el CNRS en su última edición. En la actualidad continúa a partir de un convenio con La Fundación Rodríguez Acosta estudiando el legado de Manuel Gómez Moreno.

2- Línea. Arqueología de la Cultura Ibera: En la actualidad se interviene en ocho sitios iberos con distintas instituciones:

- Excavación de la necrópolis de la Noria, Fuente Piedra, Málaga (Contrato con la delegación de Málaga de la Consejería de Cultura).
- Proyecto de Restauración y Valorización de la Necrópolis de Tutugi, Galera, Granada (Consejería de Cultura y Ayuntamiento de Galera)
- Excavación en apoyo a la restauración y puesta en valor de varias zonas del *oppidum* de Puente Tablas, Jaén. (Contrato con la Diputación de Jaén y la Consejería de Turismo, en el marco del plan turístico "Viaje al Tiempo de los Iberos")

- Salvamento y estudio de la Necrópolis de Piquia, Arjona, Jaén (Colaboración con el Ayuntamiento de Arjona y la "Asociación Amigos de los Iberos").

- Prospección en el entorno del oppidum de Giribaile, Vilches, Jaén (Proyecto I+D+i del Plan Nacional y colaboración con contratos del ADR del Condado, Jaén.

- Estudio del escenario de la batalla de Baecula, Santo Tomé, Jaén. (Proyecto I+D+i del Plan Nacional (HUM2007-63954/HIST)) y proyecto sistemático de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía).

- Elaboración de Plan director y la puesta en valor del santuario ibero de Castellar, Jaén (Contratos con la Diputación de Jaén y el Ayuntamiento de Castellar).

- Excavación y valorización de la ciudad de Cástulo (Proyecto extraordinario de la Consejería de Economía, Innovación y Ciencia).

3- Línea. Difusión y Valorización de la Cultura Ibera:

En la actualidad se realiza el asesoramiento científico del proyecto creado por el CAAI: "*Viaje al Tiempo de los Iberos*" que lidera en su ejecución la Diputación de Jaén, la Consejería de Turismo y la Consejería de Cultura. Del mismo modo se realiza asesoramiento científico en la Museología del Museo Ibero de la Consejería de Cultura, que en la actualidad se construye en Jaén.

En el campo de la difusión on-line se trabaja en el proyecto Europeo CARARE, (*Connecting Archaeology and Architecture in Europeana*, VII Programa Marco, ICT PSP programme) que transfiere a Europeana los contenidos del proyecto CATA (Hum 890, proyecto de excelencia de la Junta de Andalucía).

El CAAI desarrolla con grupos de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Jaén un segundo tema que asocia patrimonio ibérico y GPS en el proyecto *Geoasis Sistema Inteligente De Información Turística Basado en la Posición* (Po8-Tic-04199, proyecto de excelencia de la Junta de Andalucía).

El CAAI organiza exposiciones como: "*Baecula, arqueología de una batalla*" en el Museo de Jaén y "*Tras los pasos perdidos*" en la Ventana de la Ciencia en el Parque de las Ciencias de Granada.

En el segundo campo, las temáticas transversales, el CAAI se estructura en Laboratorios y Seminarios, que en la actualidad son los siguientes:

1-Laboratorio de Ceramología y Patrimonio Digital. El CAAI lleva desarrollando en los últimos años la elaboración de una metodología de estudio de cerámica arqueológica sustentada en la aplicación de nuevas tecnologías, destinadas a cambiar la tecnología del dibujo cerámico con la utilización del escáner tridimensional para la captura de las formas de los recipientes completos. En definitiva se han creado modelos tridimensionales que constituyen un salto cualitativo en cuanto a la calidad de la información gráfica utilizada para exponer y visualizar los resultados de cualquier investigación y para contrastar entre si los recipientes. Se ha utilizado el lenguaje informático *MySQL* que permite la realización de un sistema relacional de base de datos multiusuario y es frecuentemente utilizado en aplicaciones web. En el análisis y creación de tipologías se han introducido métodos matemáticos informatizados para la comparación de formas cerámicas similares. Se ha utilizado una técnica basada en un análisis de deformación no rígido para evaluar la energía de la fuerza de

deformación que necesita un contorno dado para adaptarse a otro. Para ello se ha contado con la colaboración de otros Departamentos de la Universidad de Jaén (Ingeniería Gráfica, Diseños y Proyectos, e Informática).

2-Laboratorio de análisis físico-químicos aplicados a la Arqueología. El laboratorio desarrolla trabajos de análisis a partir de proyectos específicos, como parte de proyectos de investigación más amplios o por medios de contratos o encargos específicos. Su objetivo fundamental es doble, de una parte análisis de indicadores físico-químicos cuya presencia o ausencia pueden ser correlacionada con acciones, procesos y actividades de carácter concreto que conduzcan a la reconstrucción histórica, y de otra, análisis de indicadores físico-químicos que contribuyan a los procesos de restauración y puesta en valor de materiales y asentamientos arqueológicos Estos objetivos hacen necesaria la cooperación estrecha entre arqueólogos y químicos, y de ahí que se haya establecido una cooperación con dos grupos de investigación de la Universidad de Jaén: Grupo de Química Analítica (FQM 323) y el Grupo de Investigación Química Física teórica y Experimental (FQM 173). La líneas de trabajo son tres: a. Identificación de áreas de actividad arqueológicas a partir del análisis de fósforo y de otros indicadores químicos (metales fundamentalmente) aplicando diferentes técnicas de análisis (espectroscopía uV-vis, ICP-MS, AAS). b. Análisis de contenidos en recipientes cerámicos mediante la identificación de lípidos y ceras de abejas a partir de GC-MS. c. Análisis mediante MRS, EDXRF y XRD de materiales de construcción y pigmentos empleados en la construcción y en la decoración de cerámicas y recubrimientos.

3- Laboratorio de Paleoambiente. Este laboratorio trabaja en Antracología y Carpología desarrollando una de la línea de investigación transversal Paleoambiente. La Antracología desarrolla varias líneas sobre los usos de la madera por las distintas comunidades y la historia de la vegetación, principalmente centrada Andalucía. La Carpología se centra en el estudio de los sistemas agrícolas, el origen de las plantas cultivadas y la determinación del uso de las plantas. Además se realizan estudios etnobotánicos y experimentales centrados en la producción, gestión y manipulación de varias especies vegetales por parte de sociedades actuales. El Laboratorio mantiene contactos con otros Centros de Investigación o Universidades donde existen especialistas en la materia, como son: el Laboratori d'arqueobotànica del Museu d'Arqueologia de Catalunya, Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Valencia, Departamento de Prehistoria de la Universidad Autónoma de Barcelona y Laboratorio de Arqueobiología del Instituto de Historia del CSIC. El laboratorio trabaja externamente con Departamentos y grupos de investigación que contratan analíticas paleoambientales de sus intervenciones arqueologicas

4- Laboratorio de Arqueología Preventiva. Esta línea realiza servicios externos en obras de infraestructura con dos objetivos. De un lado innovar en metodología de campo, fundamentalmente prospección arqueológica, y de otro desarrollando protocolos que configuren procesos de intervención que no se limiten exclusivamente a la intervención arqueológica, sino que continúen posteriormente desarrollando la labor investigadora y la transferencia de resultados a la sociedad, cuestiones que no son habituales en la labor arqueológica extrauniversitaria. Los trabajos realizados se han centrado en la

Autovia del Olivar que desarrolla la Junta de Andalucia y se ha trabajado con empresas privadas como Construcciones Vera, OHL, Garasa y Sacyr.

5-Seminario de la mujer. Es un seminario transversal en el que el CAAI realiza la parte correspondiente a la etapa ibera y también colabora en otras etapas. En la actualidad el trabajo se desarrolla en el marco del proyecto *Los Trabajos De Las Mujeres y el Lenguaje de los Objetos: Renovación de las Reconstrucciones Históricas y Recuperación de la Cultura Material Femenina como Herramienta de Transformación ce Valores (*Ministerio Asuntos Sociales Rs/Ms I+D+I 002/7, coordinado por la Universidad Autónoma de Barcelona).

6- Laboratorio de arqueología de la arquitectura. No integrado en el CAAI, aunque sus componentes forman parte de una subunidad del grupo, este laboratorio viene realizando análisis de estratigrafía de los edificios en diversos puntos de la provincia de Jaén, fundamentalmente en arquitectura militar y arquitectura palacial urbana. Los trabajos se realizan por contrato con ayuntamientos y en los últimos años con la Diputación Provincial de Jaén en el marco de la ruta turístico-cultural: La ruta de los Castilllos y las Batallas

7- Laboratorio de restauración. Realiza labores de restauración de material mueble.

Al margen de la estructura creada, el CAAI realiza labores de formación a partir de la organización de cursos y congresos y la participación en enseñanzas de postgrado. En lo que hace referencia a la proyección social, la formación se hace muy interesante en los cursos impartidos en la Universidad de Mayores, en cuyas sedes de Úbeda y Jaén, se imparte la materia *Nuestros antepasados*. Esta presencia en ámbitos formativos se desarrolla también en escalas de bachiller con las recepciones anuales de alumnos de institutos de bachillerato y recientemente desarrollando talleres para niños superdotados. Con la asociación "Amigos de los Iberos" cada año se organizan en un pueblo de la provincia de Jaén la "Jornadas Ibera" y, con un carácter especializado, en Segura de la Sierra se realizan los cursos de Arte y Arqueología Ibérica que han llegado a su duodécima edición. En el ámbito de postgrado el CAAI organiza con el área de Medieval del Departamento de Patrimonio Histórico, con los Departamentos de Dcho. Civil, Financiero y Tributario, de Organización de Empresas, Marqueting y Sociología, de Economía, de Administración de Empresas, Contabilidad y Sociología y con el Dpto de Ingeniería Grafica, Diseño y proyectos, un máster sobre *Turismo y Arqueología (MASTAN*). Asimismo desarrolla con el área de Hª Medieval un Doctorado, con mención de calidad, titulado *Lecturas del poder desde el Patrimonio Histórico*. Además, los miembros del grupo participan o han participado en la organización y la docencia en un máster en la Universidad Católica del Norte-Universidad de Tarapacá, Chile), y un doctorado en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Benito Juárez (Oaxaca, México). Actualmente se prepara un máster en Cuba con las universidades de La Habana y de Alicante. También se coordina un modulo en el máster del CEI en Patrimonio Cultural y Natural: *Master Patrimonio Cultural y Natural: Investigación, Desarrollo E Innovación*, y se cuenta con una coordinación compartida en el Curso de Alta Especialización *Modelos de intervención sobre el patrimonio cultural: investigación, protección, conservación y puesta en valor* que se imparte en el marco del CONSOLIDER TCP.

Museo Nacional del Prado
Laboratorio de Análisis, Área de Restauración

M. D. Gayo García, M. Jover de Celis, S. Gaspard
Museo Nacional del Prado, Laboratorio de Análisis, C/ Ruiz de Alarcón, 23, 28014 Madrid. E-mail: dolores.gayo@museodelprado.es

Un laboratorio reciente al servicio de la colección del Museo del Prado

Localizado en el nuevo edificio diseñado por el arquitecto Rafael Moneo, el laboratorio de análisis del Museo Nacional del Prado se inauguró en noviembre de 2007. El laboratorio forma parte del Área de Restauración del Museo, junto al taller de restauración (pintura, escultura y artes decorativas, documento gráfico y marcos) y el gabinete de documentación técnica.

Aunque el Museo del Prado cuenta con una importante sección de artes decorativas, una colección de dibujos representativa de varias escuelas del siglo XV al siglo XIX y una destacada colección de esculturas (de época clásica, renacimiento y barroco), la investigación del laboratorio está dedicada principalmente a la colección de pintura de las escuelas pictóricas española, flamenca e italiana. El museo posee la colección de pintura española más amplia del mundo, del periodo románico al siglo XIX.

La metodología general de estudio que se sigue en el laboratorio está diseñada con la intención de dar apoyo analítico a los restauradores sobre la composición de materiales originales, añadidos y productos de alteración, en las intervenciones que realizan en las obras. Asimismo, el estudio de los materiales constitutivos de las obras es un complemento valioso en los trabajos de documentación de las mismas.

Los estudios que se realizan se basan en las siguientes etapas: la definición de los objetivos y la selección de las áreas a estudiar a partir de la propuesta de los conservadores y restauradores; la toma de micro-muestras representativas; la elección de los métodos de análisis adecuados para cada micro-muestra acorde con el tipo de material; la interpretación de la información obtenida.

Técnicas de análisis

El laboratorio está dotado de un amplio abanico de técnicas de análisis para la identificación de compuestos orgánicos e inorgánicos:

- Microscopia óptica con luz polarizada (transmitida, reflejada) y UV (Leica DMRX)
- Microscopia electrónica de barrido-microanálisis mediante espectrometría por dispersión de energía de rayos X, SEM-EDX (Jeol 6390LV Microanalysis Oxford Instruments)
- Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier, FTIR (Nicolet 6700 - ATR Smart Orbit y microscopio Continuum)
- Cromatografía liquida de alta resolución, HPLC (Agilent Technologies HPLC 1200 Series) con tres detectores distintos: Diode Array, fluorescencia e índice de refracción.

- Cromatografía de gases con espectrometría de masas GCMS (Agilent Technologies. GC 6890N-5975B MSD)

Actividades

Análisis de materiales

Los materiales que se analizan en el laboratorio son muy diversos, tanto en su composición como en la procedencia. Por una parte, la heterogénea gama de materiales originales que constituyen las obras (soportes, pigmentos, colorantes, materiales de carga, aglutinantes…) y, por otra, todo un conjunto de productos añadidos en distintos momentos de su historia (barnices y recubrimientos, productos de fijación y consolidación, repintes y reintegraciones cromáticas). Asimismo es posible encontrar compuestos que provienen de las alteraciones de los materiales originales, de los añadidos o simplemente sustancias que se depositan sobre las obras. Los estudios sobre micro-muestras permiten conocer además la composición y distribución de los materiales en las obras con capas superpuestas (pintura y policromía).

Además de los trabajos relacionados con los procesos habituales de restauración, el laboratorio está involucrado en algunos proyectos generales encaminados al estudio en profundidad de determinados artistas como por ejemplo Tiziano, Anton van Dyck y Bartolomé Esteban Murillo. Del mismo modo, el laboratorio facilita información útil para procesos de atribución o valoración de obras para su compra por parte del Museo.

El laboratorio desarrolla además líneas de investigación propias. Por ejemplo, se investigan protocolos y métodos de muestreo para el análisis de materiales con técnicas cromatográficas (HPLC y GCMS), con el objetivo de optimizar la detección y la identificación de aglutinantes (aceites secantes, resinas terpénicas, ceras, materiales proteicos, polisacáridos) y colorantes orgánicos. Está además implementando el análisis por micro-FTIR (transmisión y ATR) para la identificación de materiales orgánicos e inorgánicos en micro-muestras y estratigrafías.

Desinsectación

Las alteraciones debidas a los agentes biológicos sobre los bienes culturales son muchas y pueden llegar a ser de extrema gravedad. Afortunadamente, las condiciones de conservación en el Museo del Prado son las adecuadas para evitar este tipo de problemas pero en algunas ocasiones se reciben obras en préstamo o se recuperan depósitos que han estado almacenados en malas condiciones. Si se observa el más mínimo indicio de presencia de algún agente biológico que pudiera causar problemas en las salas o almacenes, se somete la obra a tratamiento. Se introduce la obra en una atmósfera de nitrógeno que produce la muerte por anoxia del insecto en cualquiera de sus fases, sin afectar a los materiales de la obra, a las personas que lo manipulan ni al medio ambiente.

Dendrocronología

La dendrocronología es una disciplina que se basa en la medida de los anillos de crecimiento del árbol como testigo de la climatología anual, de modo que todos los individuos afectados por el mismo clima reflejarán una secuencia de

crecimiento similar. En las pinturas sobre tabla los anillos de crecimiento se pueden visualizar fácilmente en dos de sus bordes, zonas que generalmente se encuentran sin pintar ni barnizar y son fácilmente accesibles.

Las medidas tomadas sobre las tablas de madera permiten establecer una comparación entre ellas y con series de datos dendrocronológicos (cronologías de referencia) construidas a partir de maderas con datación y origen conocidos. De este modo se puede establecer un límite temporal de creación de la obra; la fecha aproximada de corte del árbol del que fue extraída la madera.

En el Laboratorio de Análisis del Museo del Prado se viene desarrollando de forma sistemática un estudio de los soportes de pintura flamenca, que abarca, además de análisis dendrocronológico, la recopilación de otros datos más generales como medidas, marcas, origen de la madera, tipo de corte…

Proyectos de investigación y colaboraciones nacionales e internacionales

El laboratorio participa en proyectos cuyo objetivo es el estudio y la conservación de obras, en colaboración con varios laboratorios de museos españoles, instituciones de conservación nacionales e internacionales y universidades, y que implican restauradores, conservadores y científicos:

- Acuerdo de colaboración entre el Museo Nacional del Prado, Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía y Museo Thyssen-Bornemisza. Desde noviembre 2006.
- Estudio comparativo de las preparaciones de obras de Pedro Pablo Rubens de España y Amberes en el Museo Nacional del Prado. Análisis microestructural por microscopía electrónica de transmisión de alta resolución. En colaboración con La Facultad de Bellas Artes y el Centro de Microscopía Electrónica de la Universidad Complutense de Madrid (Plan Nacional I+D), 2006-2009.
- El arte de la ceroplástica anatómica: caracterización de materiales y metodología de actuación en materia de conservación-restauración en las colecciones de modelos anatómicos en ceras (Museo Anatómicos de las Facultades de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid y de la Universidad de Valladolid), en colaboración con la facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid. Proyecto de Investigación Fundamental no orientada del Ministerio de Ciencia e Innovación, 2008-2011.
- Estudio de un grupo de esculturas del siglo XIX realizadas en mármol de la Colección del Museo del Prado, convenio de colaboración con el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza, 2009-2011.
- Acuerdo de colaboración con la National Gallery de Dublin para el estudio de la serie del *Hijo pródigo* de Bartolomé Esteban Murillo, 2009-2012.
- Convenio de colaboración con el Prof. Peter Klein de la Universidad de Hamburgo para la puesta en marcha de la técnica de datación por dendrocronología, a través del estudio de los soportes de tabla de mano de los distintos pintores de la familia Brueghel y sus colaboradores, 2010-2012.
- Acuerdo de colaboración con la universidad de Lisboa para el proyecto: “La capa de preparación invisible y su influencia en el efecto pictórico de la pintura portuguesa de los siglos XV y XVI”. Proyecto financiado por la

Fundación para la Ciencia y la Tecnología del Ministerio de Ciencia, Tecnología de Portugal, 2009-2012.

- Traducción al español de términos y materiales utilizados en conservación a través de los proyectos europeos EU-ARTECH y CHARISMA para el proyecto americano Conservation & Art Material Encyclopedia Online CAMEO (http://cameo.mfa.org/), desde 2008.

Proyecto europeo CHARISMA, 2009-2012

El objetivo del proyecto CHARISMA (Cultural Heritage Advanced Research Infrastructures: Synergy for a Multidisciplinary Approach to Conservation/ Restoration, www.charismaproject.eu) es la optimización del uso de las infraestructuras a través de un programa de acceso transnacional a las instrumentaciones científicas más avanzadas, investigación conjunta y actividades en red, permitiendo a los científicos, conservadores y restauradores mejorar sus investigaciones. El área de restauración del museo está involucrada en el programa ARCHLAB que ofrece acceso para consultar la información técnica contenida en los archivos del museo. El laboratorio participa en la implementación de un portal para el intercambio de metadatos de sus estudios sobre la colección y contribuye al desarrollo de nuevas metodologías para la preparación de muestras, identificación de materiales orgánicos como aglutinantes, colorantes y barnices.

María Dolores Gayo García es Licenciada en Ciencias Químicas, especialidad en Química Orgánica por la Universidad Complutense de Madrid. Desde 1985 está vinculada con el Ministerio de Cultura (Museo Nacional de Ciencia y Tecnología, Instituto de Patrimonio Cultural de España IPCE). Es especialista en el análisis de materiales de las obras de arte y es autora de diferentes publicaciones relacionadas con la conservación del Patrimonio Histórico. En 2004 se incorpora al proyecto de ampliación del Museo Nacional del Prado y desde 2007 es responsable del Laboratorio de Análisis, laboratorio que ha diseñado y puesto en marcha.

Maite Jover de Celis es licenciada en Ciencias Biológicas por la Universidad Complutense de Madrid y Diplomada en Especialidad Pintura por la Escuela Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Madrid. Desde el año 2000, ha trabajado en varias instituciones relacionadas con la conservación del patrimonio (Centro de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Castilla y León, IPCE). Su actividad se ha desarrollado siempre dentro del campo de los estudios técnicos de obras de arte y análisis de materiales artísticos. En la actualidad trabaja en el laboratorio del Museo Nacional del Prado con la responsabilidad específica del desarrollo de una línea de investigación sobre identificación y datación de objetos de madera mediante dendrocronología.

Solenne Gaspard obtuvo el título de Ingeniera Química en 2004 por la "Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes" en Francia. Realizo su Tesis Doctoral en el marco del Proyecto Europeo "Advanced Research Training on the Conservation of Cultural Heritage" (Marie Curie, MEST-CT-2004-513915), en el Instituto de Química Física Rocasolano del CSIC. En 2009 obtuvo el grado de doctor europeo en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid. Desde 2010, trabaja en el laboratorio de análisis del Museo Nacional del Prado, en un proyecto de estandarización de la técnica HPLC para la identificación de materiales proteicos, polisacáridos y colorantes presentes en bienes culturales.

Ciencia y Cultura Escrita: un proyecto de investigación, formación y difusión para la conservación del patrimonio Documental

Teresa Espejo Arias
Universidad de Granada. www.cienciayculturaescrita.es

Ciencia y Cultura Escrita es un equipo investigación interuniversitario y multidisciplinar que ha ido creciendo desde su creación para adaptarse a los estudios que, en el ámbito de la conservación del patrimonio gráfico y documental, han venido desarrollando. Actualmente está compuesto por investigadores de las ciencias de los materiales, profesionales de la custodia del patrimonio documental y bibliográfico, químicos, arabistas, fotógrafos, conservadores y restauradores pertenecientes a las Universidades de Granada, Málaga o Murcia, al Instituto de Ciencia de los Materiales de Sevilla (CSIC) y a diferentes archivos de la Junta de Andalucía (Archivo de la Real Chancillería de Granada y Archivo Histórico Provincial de Ganada) y de la Diputación de Granada (Archivo General). Contamos, además, con la colaboración de profesionales especializados en los ámbitos antes mencionados de reconocido prestigio nacional e internacional. Nuestra apuesta desde el primer momento ha sido la adaptación y el empleo de las nuevas tecnologías de análisis para el estudio e intervención del patrimonio documental, por considerar que sólo desde esta perspectiva se puede llegar al pleno conocimiento del documento tanto en lo que a su constitución material como a los procesos de ejecución que lo generaron se refiere y, a partir de aquí, al planteamiento de adecuados protocolos de preservación, prevención, conservación y restauración.

La investigación realizada por el grupo se centra en tres áreas principales que se complementan:

a) El estudio de las colecciones desde el punto de vista codicológico e histórico está permitiendo documentar la existencia de aspectos originales, conocer la estructura y composición de los mismos, definir su estado de conservación y valorar su interés. En la actualidad este punto se centra en la caracterización de los manuscritos árabes de al-Ándalus, ya sea en lo relativo a la ejecución de sus códices como de la documentación de archivo que se conserva, determinando los procesos que se emplearon en su elaboración y estudiando los elementos de interrelación o de influencias cruzadas con otras culturas que compartieron data y territorio.

b) El análisis de los materiales a partir del desarrollo y aplicación de distintos métodos de análisis está sirviendo para completar una base de datos histórica de los materiales y técnicas empleados en la confección de estos bienes patrimoniales a la vez que nos permite determinar elementos objetivables en los procesos de identificación y datación. En este sentido se han mejorado los protocolos de toma de muestra y análisis de técnicas empleadas tradicionalmente en otros ámbitos de estudio para adaptarlas a los requerimientos del patrimonio grafico y documental. Entre ellas destacan la Cromatografía Líquida de Alta Resolución y la Electroforesis Capilar para el estudio de colorantes, aglutinantes y adhesivos orgánicos; la Difracción de rayos

X y la Fluorescencia de rayos X combinadas en un único equipo portátil para el estudio in situ de cargas, tintas y pigmentos; la Espectroscopia de Infrarrojos para la caracterización de fibras papeleras o la identificación del origen animal de pieles y pergaminos mediante el análisis de ADN, entre otras.

c) Las intervenciones de conservación y restauración de documentos seleccionados se fundamentan en el conocimiento anteriormente adquirido y en la aplicación de materiales, técnicas y procedimientos que aseguren su permanencia. Hasta el momento se han intervenido colecciones completas como las de los archivos Histórico Provincial de Málaga o de Granada, en documentos del Archivo de la Abadía del Sacromonte de Granada, o de la Biblioteca de los P.P. Escolapios de esta misma ciudad y actualmente se está trabajando con la Colección de Manuscritos árabes de la Biblioteca del Hospital Real de la Universidad de Granada. En todos los casos se ha valorado el interés de cada documento en relación con el resto de la colección y el contexto en el que fue generado.

Conscientes de la importancia que supone para el mantenimiento y la conservación de este patrimonio su difusión, el Grupo Ciencia y Cultura Escrita pretende repercutir socialmente el resultado de su investigaciones mediante la puesta en valor del patrimonio documental como testimonio vivo de nuestra identidad cultural y social a partir de la interrelación entre continente y contenido estableciendo convenios y colaboraciones con las diferentes instituciones y dando a conocer los resultados de nuestras investigaciones mediante la difusión de los documentos objeto de estudio y su recuperación material a partir de la aplicación de adecuados protocolos de intervención para la conservación y restauración adaptados para cada caso. Por otro lado, la puesta en marcha de actividades y cursos de formación relacionados con las investigaciones que se llevan a cabo en cada momento está dirigida a la formación de profesionales en los distintos ámbitos, relacionados siempre con su custodia y salvaguarda. La presentación de comunicaciones en jornadas y congresos, la publicación de trabajos en revistas con un alto índice de impacto y la publicación de monografías específicas también se ha considerado fundamentales.

Con el objeto de facilitar aún más su difusión, tanto para el público especializado como para todo aquel con interés en el tema, posibilitar el contacto con el personal investigador y la transferencia de resultados de investigación con otros grupos, se ha creado una página web (www.cienciayculturaescrita) que se actualiza periódicamente y donde se incluyen, entre otros, la historia del grupo y los datos de contacto, los proyectos sobre los que trabaja, las actividades que organiza y los principales resultados de la investigación que, en formato pdf, pueden ser descargados a texto completo.

Análisis geoambiental en medios hipogeos
Laboratorio de Petrología aplicada

Sergio Sánchez-Moral, Angel Fernández-Cortés, Elena García-Antón
Museo Nacional de Ciencias Naturales, MNCN-CSIC, José Gutiérrez Abascal, 2. 28006-Madrid.
David Benavente, Soledad Cuezva, Juan C. Cañaveras
Laboratorio Petrología Aplicada UA-CSIC, Dpto. CC. de la Tierra y Medio Ambiente, Univ. Alicante.

Introducción

Los coordinadores de los dos grupos de trabajo localizados actualmente en dos instituciones independientes (CSIC, Universidad de Alicante) se iniciaron científica y profesionalmente en el equipo de investigación de Geología - Geoquímica - Microclima aplicados a la Conservación del Patrimonio que se formó bajo la dirección de Manuel Hoyos Gómez a principios de la década de los 90. En el campo de la Conservación del Patrimonio, las investigaciones de ese grupo se centraron especialmente en la protección del arte rupestre y actualmente se enfocan al estudio integrado de ambientes subterráneos (cuevas, catacumbas, túneles, etc.) y de los procesos de deterioro del patrimonio que albergan. Los proyectos en los que los dos grupos trabajan habitualmente en estrecha relación incluyen datos de los parámetros climáticos y microclimáticos que caracterizan los sitios de estudio, de las características mineralógicas, geoquímicas y petrofísicas de los soportes y de las aguas de infiltración, y de los aspectos geomicrobiológicos de la interacción entre microoorganismos y los diferentes sustratos existentes (rocas, materiales de construcción, espeleotemas, etc.). Actualmente los resultados de los estudios se integran en colaboración con la empresa Geomnia Natural Resources SLNE en sistemas de información geográfica que permiten su constante y futura revisión y actualización, así como conocer la respuesta del sistema estudiado a las modificaciones de sus condiciones previas.

La experiencia previa de los equipos de los dos grupos 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. Desde los años 90 y en muchas ocasiones en colaboración con el grupo CEMAPA-CSIC y el grupo de Microbiología y Patrimonio Cultural se han llevado a cabo estudios de larga duración en los principales abrigos con arte rupestre de Andalucía (Tajo de las Figuras, Atlanterra, Letreros, Graja, Encajero, Peñas Cabreras) (Hoyos et al., 1996a; Sánchez-Moral et al., 1996) y Castilla la Mancha, como Villar del Humo (Díez-Herrero et al., 2006) y en diferentes cuevas españolas como la Cueva de Tito Bustillo, Candamo, Ardales, Zuheros, Santimamiñe, El Reguerillo, 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. En el período 2000-2003 participamos en un proyecto europeo para el estudio de las condiciones de

conservación de las Catacumbas Romanas de Domitilla y San Calixto. Recientemente hemos colaborado en el estudio del deterioro de las Criptas y Catacumbas de St. Agatha, St. Paul's y Abbattija tad-Dejr en Malta (Zammit et al., 2011).

En la actualidad, además de continuar monitorizando la cueva de Altamira, coordinamos los trabajos geoarqueológicos en la Cueva de El Sidrón (Asturias) (de Torres et al., 2010; Santamaria et al., 2010), supervisamos las modificaciones que se están haciendo derivadas de nuestros estudios del período 2007-10 para la conservación de la Necrópolis de Carmona (Sevilla) (Benavente et al., 2011), mantenemos la monitorización microambiental de la Cueva de Doña Trinidad (Ardales, Málaga), Cueva de Castañar de Íbor (Cáceres) y Cueva del Canelobre (Alicante) (Fernández-Cortes et al., 2009a, 2009b, 2011). Asimismo y, en colaboración con el grupo de Microbiología y Patrimonio Cultural del IRNAS-CSIC, participamos en un proyecto bilateral con el CNR (*Technology and biotechnology for the conservation of hypogean cultural heritage*) para el estudio de las necrópolis etruscas de Tarquinia y Cerveteri y otro con *Institute of Soil Biology (Czech Republic)* para el estudio de la dispersión de comunidades fúngicas en cavidades kársticas. También 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) (Sánchez-Moral et al., 2011).

A continuación se muestran algunos de los resultados más destacados obtenidos en los proyectos de investigación relacionados con la conservación del patrimonio histórico-natural.

Conservación de arte rupestre

A finales de la década de los 90, desde el MNCN-CSIC, M. Hoyos coordinó científicamente un estudio integrado de carácter multidisciplinar de la cueva, en el marco de un proyecto financiado por la Comunidad Europea (Deterioration of prehistoric rock art in karstic caves by mass tourism. Integrated study (environment, geology, geochemistry and microbiology) for their conservation", PL950679, 1996-99). Los trabajos realizados se centraron en el estudio del soporte de la cavidad (geología), el estudio de las aguas que afectaban a la cavidad (hidrogeología), los microorganismos presentes en la cueva (microbiología) y, principalmente, el diseño, instalación y puesta en marcha de un sistema operativo de medidas y registro automático de parámetros microambientales en la cavidad con objeto de conocer en cada momento la situación de los diferentes parámetros y su evolución durante las visitas, enfocado a minimizar el impacto que puedan provocar en la cavidad y, por tanto, en las pinturas (Cañaveras et al., 2000, 2002a; Sánchez-Moral et al., 1999, 2000, 2002a). Los resultados obtenidos en ese proyecto y en los que anterior y posteriormente se han llevado a cabo en otras cavidades han permitido un gran avance en el conocimiento de la problemática de conservación del patrimonio en medios subterráneos naturales entre los que destacan:

- Definición del Área de Protección Total de la Cueva de Altamira (Hoyos et al., 1997a), Tito Bustillo (Cañaveras et al., 2006a), Venta Laperra (Hoyos et al.,

1994a), Arenaza (Hoyos et al., 1994b), Altxerri y Santimamiñe (Sánchez-Moral y Lario, 2006), Cueva del Tesoro (Hoyos et al., 1996b).

- Definición de las características microclimáticas, hidrogeoquímicas y cálculo de la capacidad de visita de la Cueva de Candamo (Hoyos et al., 1998a) y de la Cueva de Tito Bustillo (Hoyos et al., 1996d; Sánchez-Moral et al., 2004a).
- Elaboración de primer modelo cuantitativo de los procesos inorgánicos de corrosión de la roca soporte de las pinturas inducido por la entrada y permanencia diaria de los visitantes en la Cueva de Altamira (Sánchez-Moral et al., 1999). A partir de los datos microclimáticos obtenidos se estimaron tasas de microcorrosión de la roca encajante debido a la entrada de visitantes, 70 veces superiores a las que se producen como consecuencia de una dinámica natural de la cavidad.
- Evaluación del efecto de vibraciones en diferentes cavidades con arte rupestre (Arenaza, Santimamiñe, Santián, Cueva Urdiales, Cobrante; ver ejemplos en Hoyos et al., 1996c, Sánchez-Moral et al., 2005a y Abella y Sánchez-Moral, 2007).
- Caracterización del sistema poroso del suelo externo y la roca encajante y su relación con la ventilación enmarcados en la conservación del microambiente kárstico (Cuezva et al., 2004, 2011).
- Constatación de la existencia de poblaciones microbiológicas que se desarrollan sobre los muros y techos de las cavidades y del papel que juegan en los procesos de precipitación mineral (Sánchez-Moral et al., 2006) y su efecto en la roca soporte y pinturas y relación con la hidroquímica de las aguas de infiltración (Cañaveras et al., 1999, 2001, 2002b, 2004, 2006b; Cuezva et al., 2003, 2005; Sánchez-Moral et al., 2003a).
- Realización de mapeos detallados de la distribución de los diferentes tipos de colonias de microorganismos existentes en el medio para realizar un seguimiento de la proliferación y evolución de la distribución espacial de las diferentes comunidades existentes en función de las condiciones micro-ambientales (Cuezva et al., 2009; Jurado et al., 2009).

En conclusión, la aplicación de diversas metodologías de estudio y su integración en modelos de funcionamiento de las numerosas cavidades kársticas estudiadas nos permite en cada caso distinguir los principales mecanismos de deterioro y, de manera precisa, diferenciar los debidos a causas naturales y los derivados de la acción antrópica, incluyendo las modificaciones provocadas tanto en el interior del ambiente subterráneo como en su zona externa.

Conservación del patrimonio en otros ambientes hipogeos

Además de los trabajos realizados en medios kársticos naturales, en los últimos años hemos llevado a cabo diversos trabajos de características metodológicas similares, enfocados a la conservación del patrimonio ubicado en otros ambientes subterráneos, especialmente en monumentos funerarios hipogeos. A continuación y a modo de ejemplo, se expone un resumen de los

resultados y conclusiones obtenidas en los estudios de la Cueva Pintada de Gáldar (Gran Canaria) y en las catacumbas de Domitilla y San Calixto (Roma).

Cueva Pintada de Gáldar: Descubierta en 1873, y declarada Monumento Histórico Artístico y abierta al público en 1972 la Cueva Pintada constituye el ejemplo más genuino de las representaciones artísticas de la cultura aborigen de Gran Canaria (www.cuevapintada.com). En el marco de tres convenio específicos de colaboración entre el Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria y el CSIC, a lo largo del período 1997-2005, nuestro equipo procedió a un amplio estudio del entorno y de la propia Cueva Pintada, que abarca el estudio de los tres elementos que la definen y condicionan: la roca soporte (Hoyos et al., 1998b), los pigmentos, enlucidos y morteros (Sánchez-Moral et al., 2002b), así como las variables climático-ambientales que les afectan (Sánchez-Moral et al., 2005b). Tras el conjunto de los estudios de conservación realizados desde 1997, el estudio se completó tras un nuevo período de investigación en el que se llevó a cabo el análisis de las condiciones microambientales de la Cueva Pintada. El objetivo final era determinar los rangos microclimáticos adecuados para el mantenimiento de unas condiciones internas estables, que favorecieran tasas de intercambio moderadas con el exterior. Tras un período de 21 meses (15/07/2003 a 25/04/2005), se constató que los umbrales de humedad que no debían sobrepasarse para evitar la proliferación de comunidades microbianas y los ciclos de condensación-desecación: valores por encima del 70%, ni por debajo del 45% (Benavente et al., 2009).

Catacumbas de Roma: Como miembros participantes en el proyecto europeo ENK4-CT2000-00028: *Cyanobacteria attack rocks (CATS): control and preventive strategies to avoid damage caused by cyanobacteria and associated microorganisms in Roman hypogean monument*, durante el período 2000-2003 desarrollamos un estudio geológico, geomicrobiológico y microambiental para el estudio de las condiciones de conservación de las Catacumbas Romanas de Domitilla y San Calixto (Albertano et al., 2003). En colaboración con el IRNASE (CSIC), los estudios llevados a cabo pueden resumirse así:

1. Caracterización de la roca volcánica y de los materiales de construcción de las catacumbas (Sánchez-Moral et al., 2004b, 2005c).
2. Caracterización microambiental de una zona interna de la catacumba afectada por la entrada de visitantes (Sánchez-Moral et al., 2004c).
3. Estudio de los procesos de biomineralización asociados a los microorganismos presentes en las catacumbas (Sánchez-Moral et al., 2003b, 2004d).
4. Estudio y evaluación de los mecanismos y de los procesos de deterioro y elaboración de un modelo de bioreceptividad en función de las condiciones microambientales y las propiedades geoquímicas y petrofísicas de los materiales (Sánchez-Moral et al., 2005d) (Figura 1).

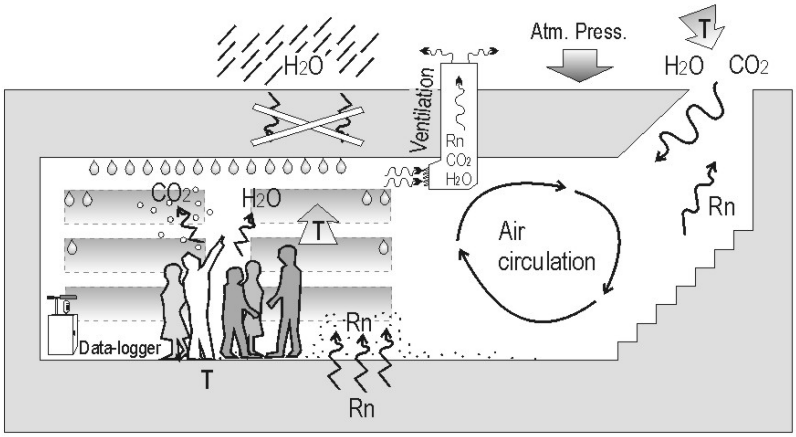


Figura 1. Diagrama esquemático de los efectos inducidos por la entrada de visitantes entre los que destacan los intensos fenómenos de condensación generados en paramentos elevados y la renovación de aire forzada para evitar la acumulación de gas radón en el ambiente. Esa ventilación artificial trae consigo la removilización de partículas entre las que se encuentran abundantes esporas microbianas.

Referencias

Abella, R.; Sánchez-Moral, S. (2007). Registro de vibraciones en la Cueva de Cobrante (Voto, Cantabria): Análisis de la influencia de obras específicas de perforación dentro de su Área de Protección Total. Informe inédito para la empresa REE y la Consejería de Cultura, Turismo y Deporte de Cantabria: 9pp.

Albertano P., Moscone D., Palleschi G., Hermosin B., Saiz-Jimenez C., Sanchez-Moral S., Hernandez-Marine M., Urzì C., Groth I., Schroeckh V., Saarela M., Mattila-Sandholm T., Gallon J. R., Graziottin F., Bisconti F., Giuliani R. (2003). Cyanobacteria attack rocks (CATS): Control and preventive strategies to avoid damage caused by cyanobacteria and associated microorganisms in Roman Hypogean Mounments. In: Saiz-Jimenez, C. (Ed.), Molecular Biology and Cultural Heritage, Swets & Zeitlinger, Lisse (NL) pp. 151-162.

Benavente, D., Cañaveras, J.C., Cuezva, S., Laiz, L., Sanchez-Moral, S. (2009). Experimental definition of microclimatic conditions based on water transfer and porous media properties for the conservation of Prehistoric constructions: Cueva Pintada at Galdar, Gran Canaria, Spain. Enviromental Geology 56:1495–1504.

Benavente, D., Sánchez-Moral, S., Fernández-Cortés, A., Cañaveras, J.C., Elez, J., Saiz-Jimenez, C. (2011), Salt damage and microclimate in the Postumius Tomb, Roman Necropolis of Carmona, Spain. Environmental Earth Sciences. doi:10.1007/s12665-010-0815-9.

Cañaveras JC, Hoyos M, Sanchez-Moral S, Sanz-Rubio E, Bedoya J, Soler V, Groth I, Schumann P, Laiz L, Gonzalez I, Saiz-Jiménez C. (1999). Microbial communities associated with hydromagnesite and needle-fiber aragonite deposits in a karstic cave (Altamira, Northern Spain). Geomicrobiol J 16:9-25.

Cañaveras, J.C.; Sánchez-Moral, S.;; Soler, V.; Lasheras, J.A. (2000). Procesos kársticos y el ciclo del Carbono (PICG 379). Aplicación de los estudios microclimáticos a la Conservación del Patrimonio en cavidades kársticas. En: Programa Internacional de Correlación Geológica. Desarrollo y perspectivas en España. 25º Aniversario del Comité Español. (M.A. Lamolda, ed. Temas Geológico-Mineros 30: 45-50.

Cañaveras JC, Sánchez-Moral S, Soler V, Saiz-Jiménez C. (2001). Microorganisms and microbially induced fabrics in cave walls. Geomicrobiol J 18: 223-240.

Cañaveras, J.C., Sánchez-Moral, S. Impacto ambiental del hombre en las cuevas. In: Carrasco, F., Durán, J.J. y Andreo, B. (Eds) Karst and Environment (2002): 499-504.

Cañaveras, J.C., Sánchez-Moral, S., Bedoya, J., Soler, V. y Lario, J. (2002b). Estudios geomicrobiológicos en la Cueva de Altamira (Cantabria, N.España). In: Carrasco, F., Durán, J.J. y Andreo, B. (Eds) Karst and Environment: 515-520.

Cañaveras, J.C.; Sánchez-Moral, S.; Soler, V.: Protección y conservación de cavidades kársticas con arte rupestre. In: Alfaro, P.; Andreu, J.M.; Cañaveras, J.C. y Yébenes, A. Documentos del XIII Simposio de la enseñanza de la Geología. Instituto de Ciencias de la Educación. Univ. Alicante (2004): 54-60.

Cañaveras, J.C.; Cuezva, S.; Sanz-Rubio, E. & Sánchez-Moral, S.. Definition of protection areas in a prehistoric art cave (Tito Bustillo cave, N Spain).In: Fort, Alvárez Buergo, Gómez-Heras y Vázquez Calvo (eds): Heritage, Weathering and Conservation. Taylor & Francis Group, London (2006a): 813-817.

Cañaveras, J.C.; Cuezva, S.; Sánchez-Moral, S.; Lario, J.; Laiz, L.; Gonzalez, J.M.; Saiz-Jimenez, C. (2006b): On the origin of fiber calcite crystals in moonmilk deposits. Naturwissenschaften, 93: 27-32.

Cuezva, S; J.C. Cañaveras; R. González; J. Lario; L. Luque; C. Sáiz-Jiménez; S. Sánchez-Moral y V. Soler (2003). Origen bacteriano de espelotemas tipo moonmilk en ambiente kárstico (Cueva de Altamira, Cantabria, España). Estudios Geológicos, 59: 145-157.

Cuezva, S.; Sánchez-Moral, S., Cañaveras, J.C.; Lario, J.; Soler, V. (2004). Intercambios de CO2 suelo/cavidad en un sistema kárstico somero (Cueva de Altamira, Cantabria). Geotemas, 6: 327-330.

Cuezva, S.; Cañaveras, J.C. y Sánchez-Moral, S. (2005). Biomineralizaciones de huntita en espeleotemas de la Cueva de Altamira (Cantabria). SEM Macla 3: 65-66.

Cuezva, S.; Sanchez-Moral, S.; Saiz-Jimenez, C; Cañaveras, J.C. (2009). Microbial Communities and Associated Mineral Fabrics in Altamira Cave, Spain. International Journal of Speleology 38 (1): 83-9.

Cuezva, S.; Fernández-Cortés, A., Benavente, D., Serrano-Ortiz, P., Kowalski, A.S.., Sanchez-Moral, S. (2011). Short-time CO2(g) exchange processes between a shallow karstic cavity and the external atmosphere during summer: role of the surface soil layer. Atmospheric Environment 45 (7) (2011): 1418-1427.

de Torres, T., Ortiz, J.E., Grun, R., Eggins S., Valladas, H., Mercier, N., Tisnerat-Laborde, N., Julia. R., Soler, V., Martinez, E. Sanchez-Moral, S., Cañaveras J.C., Lario, J., Badal, E., Lalueza-Fox, C., Rosas, A., Santamaria, D., de la Rasilla, M., Fortea, J. (2010). Dating of the Hominid (Homo Neanderthalensis) remains accumulation from El Sidron Cave (Pilona, Asturias, North Spain): An example of a Multi-Methodological approach to the dating of upper Pleistocene sites. Archeometry, 52, 680-705.

Díez-Herrero A., Lario J., Gutiérrez-Pérez I., Alonso-Azcárate J., Sánchez-Moral S., Cañaveras J.C., Análisis de la insolación directa potencial como factor de degradación de los conjuntos pictóricos rupestres de Villar del Humo (Cuenca). En: Augusto Pérez Alberti, Juan López Bedoya. Geomorfología y territorio: actas de la IX Reunión Nacional de Geomorfología (2006): 993-1008.

Fernandez-Cortes A, Sanchez-Moral S, Cañaveras JC, Cuevas-Gonzalez, J., Cuezva, S., Andreu, J.M. (2009a). Variations in seepage water geochemistry induced by natural and anthropogenic microclimatic changes: Implications for speleothem growth conditions. Geodinamica Acta, 22-23, 1-13.

Fernandez-Cortes A, Sanchez-Moral S, Cuezva S, Cañaveras, J.C., Abella, R. (2009b). Annual and transient signatures of gas exchange and transport in the Castanar de Ibor cave (Spain). International Journal of Speleology, 38, 153-162.

Fernandez-Cortes A, Sanchez-Moral S, Cuezva S, Benavente, D., Abella, R. (2011). Characterization of trace gases' fluctuations on a 'low energy' cave (Castanar de Ibor, Spain) using techniques of entropy of curves. International Journal of Climatology, 31, 127-143.

Hoyos, M., J.C. Cañaveras, S. Sánchez-Moral, J. Lario y E. Sanz-Rubio. (1994a) Área de protección total de la Cueva de Venta Laperra (Valle de Carranza, Vizcaya). Informe inédito para Departamento de Cultura del Gobierno Vasco. 11p.

Hoyos, M., S. Sánchez-Moral, J.C. Cañaveras y E. Sanz Rubio. (1994b). Área de protección total de la Cueva de Arenaza (Galdamez, Vizcaya). Informe inédito para Departamento de Cultura del Gobierno Vasco. 12p.

Hoyos M.; Cañaveras, J.C.; Sánchez Moral, S.; Sanz Rubio, E.; Blanco, M.T.; Puertas, F.; Palomo, A.; Sáiz C. y Ariño, X. (1996a). Estudio de los procesos de alteración de las rocas y pinturas de los abrigos de Atlanterra y Alemanes (Cádiz) y de los Letreros (Almería). Informe inédito. Junta de Andalucía. Informe 125 p.

Hoyos M., Soler, V., Cañaveras, J.C., Sánchez Moral, S. y Sanz Rubio, E. (1996b). Estudio de la delimitación de las áreas de Protección de las cuevas del Tesoro - Higuerón - Rincón de la Victoria (Rincón de la Victoria, Málaga). Informe inédito para Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía /EDIPSA.

Hoyos, M.; Sánchez-Moral, S.; Cañaveras, J.C.; Lario, J. & Sanz-Rubio, E. (1996c).Deterioration processes on prehistoric rock-art Arenaza cave (northern Spain). 28th International Geographical Congress. The Hague.

Hoyos, M.; Soler, V.; Cañaveras, J.C.; Sánchez-Moral, S. y Sanz Rubio, E. (1996d). Memoria final sobre las características geológico-kársticas y microambientales de la Cueva de Tito Bustillo, Ribadesella. Informe para la Consejería de Cultura del Principado de Asturias: 96p.

Hoyos, M., S. Sánchez-Moral, J.C. Cañaveras y E. Sanz Rubio. (1997a). Definición del Área de Protección Total de la Cueva de Altamira. Informe inédito para Ministerio de Cultura.: 4p.

Hoyos, M.; Soler, V.; Cañaveras, J.C.; Sánchez-Moral, S. y Sanz-Rubio, E. (1998a). Microclimatic characterization of a karst system. Human impact on microenvironmental parameters of a prehistoric rock art cave (Candamo Cave, northern Spain). Environmental Geology, 33, 4231-242.

Hoyos, M.; Sánchez-Moral, S.; Sanz Rubio, E y Cañaveras, J.C. (1998b). Informe sobre las alteraciones de los materiales volcánicos encajantes del Complejo Troglodita de Galdar (Gran Canaria). Informe inédito. Cabildo de Gran Canaria: 67pp.

Jurado, V., Fernandez-Cortes, A, Cuezva S, Laiz, L., Cañaveras, J.C., Sanchez-Moral, S., Saiz-Jimenez, C. (2009). The fungal colonisation of rock-art caves: experimental evidence. Naturwissenschaften, 96, 1027-1034.

Sánchez-Moral, S.; Cañaveras, J.C.; Hoyos, M. y Sanz-Rubio, E. (1996). Los procesos de alteración en las rocas soporte de las pinturas de los conjuntos rupestres del Tajo de las Figuras (Cádiz) y Peñas Cabreras (Málaga). Geogaceta 20 (5): 1222-1225.

Sánchez-Moral, S.; Soler, V.; Cañaveras, J.C.; Sanz-Rubio, E.; Van Grieken, R.; Gysells, K. (1999). Inorganic deterioration affecting Altamira Cave. Quantitative approach to wall-corrosion (solutional etching) processes induced by visitors. Science of the Total Environment, 243: 67-84

Sánchez-Moral, S.; Soler, V. y Cañaveras, J.C. (2000). Caracterización microambiental en sistemas kársticos someros (Cueva de Altamira, Cantabria). Geotemas, 1(3): 345-350.

Sánchez-Moral, S., Cañaveras, J.C., Soler, V., Saiz, C. Bedoya, J., y Lario, J. (2002a). La Conservación del Monumento: In: Lasheras, J.A. (Ed.) Redescubrir Altamira, Turner, Madrid: 245-257

Sánchez-Moral, S., García-Guinea, J. Sanz-Rubio, E. Cañaveras, J.C., Onrubia-Pintado, J. (2002b). Mortars, pigments and saline efflorescences from Canarian pre-Hispanic constructions (Galdar, Grand Canary Island). Construction and Building Materials,16: 241-250.

Sanchez-Moral S., Cañaveras J. C., Laiz L., Saiz-Jimenez C., Bedoya J., Luque, L., (2003a). Biomediated precipitation of calcium carbonate metastable phases in hypogean environments. Geomicrobiology Journal 20: 491-500.

Sanchez-Moral S., Bedoya J., Luque L., Cañaveras J.C., Jurado V., Laiz L., Saiz-Jimenez C., (2003b). Biomineralization of different crystalline phases by bacteria isolated from catacombs. In: Saiz-Jimenez, C. (ed.), Molecular Biology and Cultural Heritage, Swets & Zeitlinger, Lisse, (NL):. 179-185.

Sánchez-Moral, S., Cañaveras, J.C.; Lario, J.; Cuezva, S.; Soler, V. (2004a). Estudio hidrogeoquímico del sistema kárstico de la Cueva de Tito Bustillo (Ribadesella, Asturias). Geotemas, 6 (4): 189-191.

Sánchez-Moral, S.; Garcia-Guinea, J.; Luque, L.; Gonzalez, R.; López-Arce, P. (2004b). Carbonation kinetic in roman-like lime mortars. Materiales de Construcción, 275: 23-37.

Sánchez-Moral S, Luque L, Cuezva S, Soler V., (2004c). Environmental modifications induced by visitors in San Callixtus Roman catacomb (Rome, Italy). In: Saiz-Jimenez C. (ed.), Air Pollution and Cultural Heritage, Swets & Zetlinger BV, Lisse (NL).: 183-190

Sánchez-Moral S, Luque L, Cañaveras JC, Laiz L, Jurado V, Hermosín B, Saiz-Jimenez C. (2004d). Bioinduced barium precipitation in San Callixtus and Domitilla Catacombs. Ann. Microbiol. 54: 1-12.

Sánchez-Moral, S.; Sanz-Rubio, E. y Soler, V. (2005a). Análisis del estado de conservación de la roca soporte de las pinturas y registro y análisis de vibraciones de fondo en la Cueva de Urdiales. In: Montes, R; Muñoz, E. y Morlote J.M.: Cueva Urdiales (Castro Urdiales, Cantabria). Ayuntamiento de Castro Urdiales: 133-138.

Sánchez-Moral, S.; Cañaveras, J.C.; Benavente, D.; Cuezva, S. (2005b). Determinación de rangos microclimáticos óptimos (temperatura, humedad y anhídrido carbónico) para minimizar los procesos de deterioro de soporte y pinturas de la Cueva Pintada de Gáldar Informe para La Consejería de Cultura y Patrimonio Histórico del Cabildo de Gran Canaria: 69pp.

Sánchez-Moral S., Luque L., Soler V., Cañaveras J. C., Garcia-Guinea J., Aparicio A., (2005c). Lime-pozzolana mortars in Roman Catacombs: composition, structures and restoration. Cement and Concrete Research, 35: 1555-1565.

Sánchez-Moral, S.; Luque, L.; Cuezva, S.; Soler, V.; Benavente, D.; Laiz, L.; Gonzalez, J.M.; Saiz-Jimenez, C. (2005d). Deterioration of building materials in Roman catacombs: The influence of visitors. Science of the Total Environment, 349: 260– 276.

Sánchez-Moral, S.; Lario, J.(2006). Delimitación de las Áreas de Protección de las Cuevas de Santimamiñe (Bizkaia) y Altxerri (Gipuzkoa). Informe inédito para el Departamento de Cultura del Gobierno Vasco: 12pp.

Sánchez-Moral, S.; Juan M. González, Juan C. Cañaveras, Soledad Cuezva, Javier Lario, Carolina Cardell, J. Elez, L. Luque y Cesáreo Saiz-Jiménez. (2006). Procesos de precipitación mineral bioinducidos en sistemas kársticos subterráneos: breve revisión y nuevas tendencias. Estudios Geológicos 62 (1): 43-52.

Sánchez-Moral, S., Martínez-Martínez, J., Benavente, D., Cuezva, S., Fernández-Cortés, A. (2011). Mechanical characterization of ancient Egyptian mortars. Key Engineering Materials, 465, 487-490.

Santamaria, D., Fortea, J., De la Rasilla, M., Martinez, L., Martinez, E., Cañaveras J.C., Sanchez-Moral, S., Rosas, A., Estalrrich, A., Garcia-Tabernero, A., Lalueza-Fox, C. (2010) The technological and typological behavior of a Neanderthal group from el Sidron Cave (Asturias, Spain). Oxford Journal of Archaeology, 29, 119-148.

Zammit, G., Sanchez-Moral S., Albertano, P. Bacterially mediated mineralisation processes lead to biodeterioration of artworks in Maltese catacombs. Science of the Total Environment 409 (2011) 2773–2782.

Instituto del Patrimonio Cultural de España

A. Borraz, M. Domingo, M. del Egido, E. González, C. Hidalgo y C. Martín
Instituto del Patrimonio Cultural de España, C/ Pintor el Greco, 4, 28223 Madrid, marian.delegido@mcu.es

Presentación

La Subdirección General del Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE), adscrita a la Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales del Ministerio de Cultura, es la institución estatal dedicada a la conservación y restauración de los Bienes Culturales que conforman el Patrimonio Histórico Español.

Esta función se realiza en colaboración con el resto de Administraciones Públicas y contando con la participación de empresas, instituciones de investigación y formación y otros centros de conservación. Cuenta con un personal fijo de 170 profesionales de diversas disciplinas, como son arquitectos, arqueólogos, antropólogos, restauradores, físicos, geólogos, químicos, biólogos, documentalistas, informáticos, bibliotecarios, archiveros y conservadores, entre otros, que enfocan sus proyectos desde una perspectiva interdisciplinar, sin duda facilitada por la presencia conjunta de todo este abanico de expertos en un mismo edificio.

La base legal sobre la que se cimienta esta tarea es el Real Decreto de Fundación 565/1985 al Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, precedente del Instituto del Patrimonio Histórico Español, actualmente IPCE, y mantenido hasta la actualidad por el Real Decreto 1132/2008. Según este fundamento legal, las funciones del IPCE son:

I- La elaboración y ejecución de planes para la conservación y restauración de los bienes muebles e inmuebles constitutivos del Patrimonio Histórico Español.

II- El establecimiento de líneas prioritarias de investigación en criterios, métodos y técnicas de conservación y restauración de dicho Patrimonio.

III- El archivo y sistematización de los trabajos realizados.

IV- La formación de técnicos y especialistas que atiendan a los fines del Instituto.

V- La promoción y fomento de los proyectos de investigación arqueológica en el exterior.

Ciencia y Tecnología en el IPCE: investigación y conservación

La ejecución de proyectos de investigación de Ciencias aplicadas a la conservación del patrimonio en el Instituto se realiza por muy diversas vías. Una de las más asentadas históricamente se refiere a la investigación en yacimientos arqueológicos en el extranjero. Esta línea, sustentada en presupuestos propios, subvenciona excavaciones arqueológicas en el exterior mediante convocatoria pública de ayudas en concurrencia competitiva. La investigación, innovación, interdisciplinariedad y recursos tecnológicos son elementos importantes en la valoración de estos proyectos.

Otra línea de investigación prioritaria es la conservación preventiva. En este caso se encuentran, por ejemplo, un proyecto sobre iluminación en bienes culturales, canalizado a través de la coparticipación en un proyecto del Plan Nacional de I+D+i del Ministerio de Ciencia e Innovación, "High Efficiency Lighting System for Cultural Heritage. APOLO", (HAR 2009-12862). Dirigido por la Escuela de Óptica de la Universidad Complutense de Madrid, participan investigadores de la Universidad Politécnica de Madrid, del Área de Laboratorios del IPCE, del Departamento de Conservación-Restauración del Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía y del Departamento de Conservación del Museo del Traje. Pretende desarrollar un sistema de iluminación de alta eficiencia para ser empleado en la iluminación de bienes culturales y del patrimonio artístico.

La conservación preventiva ha sido un tema presente en todas las actuaciones del IPCE, no sólo en las intervenciones en las que sus técnicos han sido responsables, sino que también ha asesorado en estos temas en las grandes exposiciones temporales como en la EXPO de Sevilla y las organizadas por la SEACEX. Quizá el primer proyecto con carácter internacional para su aplicación en el ámbito del patrimonio documental y bibliográfico, en el que el IPCE participó, fue "ConBeLib. Map of competentes for the preventive book-conservation on tradicional and digital format", llevado a cabo dentro de un proyecto Leonardo de la Unión Europea entre los años 2002-2004. Esta sigue siendo una línea de interés para el centro.

La puesta a punto de nuevos protocolos analíticos que permitan un mejor conocimiento material de los bienes culturales es el eje de otros proyectos de investigación, como el de "Investigación sobre la metodología analítica para colorantes orgánicos y mordientes presentes en tejidos históricos". Mediante Convenio entre el Ministerio de Cultura y La Universidad Complutense de Madrid, codirigido por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Complutense de Madrid y la Sección de Análisis de Materiales del Área de Laboratorios del Instituto del Patrimonio Cultural de España, se trabaja en la puesta a punto de un equipo HPLC-DAD-QTOF, así como en la sistematización de los análisis de colorantes. Los primeros resultados se están aplicando al estudio de colorantes americanos precolombinos con resultados muy satisfactorios.

Los convenios con organismos públicos de investigación también ofrecen un amplio abanico de posibilidades que nutre líneas de investigación de interés común, ya sea con organismos públicos de investigación o con otros centros de conservación. Este es el caso del proyecto "Aplicación de la Visión Multiespectral en el Rango No Visible para el Estudio de Obras de Arte". Mediante Convenio con la Universidad Politécnica de Madrid, codirigido por el Grupo de Aplicación de Telecomunicaciones Visuales de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación y la Sección de Estudios Físicos del Área de Laboratorios del Instituto del Patrimonio Cultural de España (Ministerio de Cultura), cuenta con la colaboración de la Escuela de Óptica de la Universidad Complutense de Madrid. El proyecto persigue la mejora, implementación y aplicación de técnicas de imagen multiespectral en el rango no visible para el estudio de obras de arte, en la línea de las técnicas no invasivas (Figura 1).

Figura 1. Prototipo mecanizado desarrollado por el IPCE en colaboración con la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación en el proyecto de investigación VARIM para la realización de reflectografía y radiografía in situ en grandes formatos. Imagen de Tomás Antelo.

La gran cantidad y diversidad de bienes culturales en cuya conservación participa el IPCE da lugar a la recopilación de muchos estudios previos, análisis científicos y estudios técnicos, que permiten el desarrollo de diferentes líneas de investigación. De este tipo es el proyecto "La técnica radiográfica en metales históricos", desarrollado conjuntamente con el CENIM-CSIC. Este proyecto aborda la metodología y el estudio, desde el punto de vista radiográfico, de algunos de los metales arqueológicos analizados en el IPCE en colaboración con el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, y el establecimiento de un protocolo para los objetos culturales metálicos. Este proyecto se ha financiado con fondos propios del IPCE, y ha concluido con la edición de un monográfico con ese título.

Un proyecto de gran repercusión en centros de conservación, por sus magníficos resultados, sencillez conceptual y experimental y posibilidades de uso sistemático, es el de "Aplicación de los microorganismos como biosensores para evaluar la calidad del aire". Este proyecto, en el que participan museos nacionales y sitios históricos como Copán en Perú, se ha materializado con fondos propios del IPCE. En este proyecto cabe destacar el alto nivel de participación e implicación del Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía.

Entre las nuevas líneas emprendidas se encuentra la nanotecnología, dirigida, en nuestro caso, a sus posibilidades para el tratamiento del patrimonio documental y bibliográfico. Con este objetivo, se ha participado en la solicitud de un proyecto de investigación en el 7º Programa Marco de la Unión Europea,

liderado por el profesor Piero Baglioni de la Universidad de Florencia, bajo el título NANOFORART.

Otras líneas de investigación surgen a raíz de la llegada al IPCE de obras cuya intervención requiere una especial complejidad y dan lugar a un equipo interdisciplinar, en el que están especialmente implicados los restauradores. En ellas, antes de intervenir, es necesario un conocimiento profundo de sus materiales compositivos y su técnica de ejecución. Estos análisis nos abren nuevas vías de investigación extrapolables a la conservación de obras de constitución similar. Como ejemplo de estas actuaciones podemos citar el estudios de las fibras y técnicas de fabricación del papel hispano-árabe a través de los documentos que, en la actualidad, se están restaurando de la Abadía del Sacromonte o la composición del soporte de "amate" y los pigmentos precolombinos existentes del códice Tro-Cortesiano del Museo de América (Figura 2), ambos en proceso de restauración por profesionales del IPCE.

Figura. 2. Fragmento de la página 5, donde podemos apreciar manchas de distinta intensidad. Antes y después del tratamiento de limpieza.

Bibliografía

Egido, M. del., Calderón, T. (coords) (2008) *La ciencia y el Arte. Ciencias Experimentales y Conservación del Patrimonio Histórico*. Madrid, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Publicaciones, Información y Documentación, Ministerio de Cultura.

Egido, M. del., Juanes, D. (coords) (2010) *La ciencia y el Arte II. Ciencias Experimentales y Conservación del Patrimonio Histórico*. Madrid, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Publicaciones, Información y Documentación, Ministerio de Cultura.

Caracterización analítica, Documentación, Conservación y Restauración del Patrimonio

Margarita San Andrés, Isabel Blasco, Ana Calvo, Ruth Chércoles, Consuelo Dalmau, Isabel García, Silvía García, Ana María Macarrón, José Manuel de la Roja, Natalia Sancho, Sonia Santos.
Facultad de Bellas Artes, Departamento de Pintura (Pintura y Restauración), Universidad Complutense de Madrid. E-mail: msam@art.ucm.es

Introducción

La conservación, restauración y puesta en valor del Patrimonio Cultural exige un trabajo interdisciplinar entre distintas áreas de conocimiento. El adecuado intercambio de la información aportada por cada una de ellas y su puesta en común, favorecerán un conocimiento más profundo de todas las cuestiones referidas a la historia, composición material, estado de conservación de los objetos patrimoniales y los criterios y técnicas de intervención. Partiendo de estas consideraciones, nuestro grupo de investigación está integrado por Conservadores-Restauradores, algunos de ellos también titulados en Historia y en Arqueología, Químicos y Biólogos. Esta particularidad nos permite abordar distintas líneas de trabajo, todas ellas relacionadas con el Patrimonio Cultural: análisis material y documentación científico-técnica, documentación histórica, conservación preventiva, restauración, museografía y diseño de exposiciones.

Este grupo fue validado en el año 2005 por la UCM y la ANEP y, desde entonces, está consolidado. Su núcleo se forma en el año 1990, asociado a la concesión de un Proyecto del Plan Nacional. Desde entonces sus objetivos se han ido diversificando. En un inicio se enfocaron hacia el estudio de barnices y recubrimiento empleados en restauración, después se ampliaron al uso de distintas técnicas analíticas (MEB-DEX, FTIR, EDFRX, DRX, GC-MS, Py-GC-MS) a la identificación de materiales pictóricos (análisis y diagnosis), y al estudio de la tecnología artística y su relación con el empleo de pigmentos artísticos a lo largo de la historia. En la actualidad, además de estos temas, se abordan otros referidos al estudio de materiales poliméricos utilizados en procedimientos de conservación preventiva y en tratamientos de restauración. Otra línea priorizada está dirigida al desarrollo de proyectos expositivos relacionados con la puesta en valor de las colecciones de los Museos Universitarios (especialmente los de la UCM). Asimismo se da gran importancia a todas las cuestiones de tipo teórico y conceptual referidas a los criterios de intervención sobre el Patrimonio.

Desde su creación, colabora con otros grupos de investigación de la UCM (Departamento de Microbiología III y departamento de Química-Física I), con el Museo Veterinario Complutense y, más recientemente, con los Laboratorios de materiales y de exámenes físicos del Instituto de del Patrimonio Cultural de España (IPCE) a través de Convenios de Investigación entre la DGBA (Ministerio de Cultura) y el Vicerrectorado de Investigación de la UCM. Estas colaboraciones quedan reflejadas en la producción científica de nuestro grupo.

Además, nuestro grupo forma parte Cluster de Patrimonio del Campus de Excelencia Internacional (CEI) “Campus Moncloa” (UCM-UPM) y está integrado en la RedLabPat, red de laboratorios vinculada a este Cluster.

Líneas de Investigación

Tecnología artística. Historia de la producción y uso de materiales artísticos

Aportaciones de la Alquimia, la Química moderna y la Tecnología a la producción de materiales artísticos y bienes culturales (San Andrés et al., 2010a; San Andrés, 2011). Investigación de fuentes documentales (López, Dalmau, 2007), reproducción a escala de laboratorio de recetas y procesos, identificación de los productos obtenidos y estudio comparativo con los identificados en obra real (Gómez, et al., 2011a). Elaboración de un “catálogo de materiales pictóricos” en el que se incluyan sus propiedades físicas (morfología, color, etc) y caracterización analítica

Polímeros y materiales plásticos. Relación con la Conservación de Objetos Patrimoniales

Evaluación de materiales poliméricos de origen sintético utilizados en procesos de conservación y restauración (Gómez et al., 2011b). Caracterización analítica y estudio de su comportamiento a largo plazo (Chércoles et al., 2009; San Andrés et al., 2010b). Desarrollo de protocolos de envejecimiento acelerado para estudiar los efectos de la temperatura, temperatura y humedad, y radiación electromagnética (San Andrés et al., 2011). Estudio de poliméricos sintéticos y semi-sintéticos utilizados en la elaboración de objetos artísticos y en el diseño industrial (García, San Andrés, 2005). Composición (Figura 1), causas de alteración y métodos de conservación (García, et al. 2010).

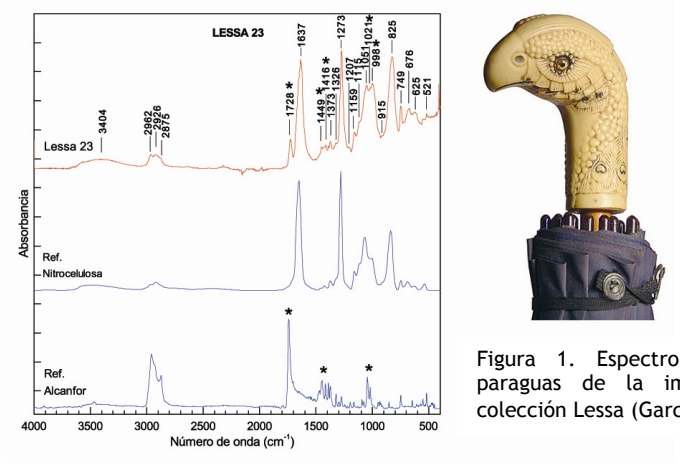


Figura 1. Espectro FTIR-ATR del mango de paraguas de la imagen, perteneciente a la colección Lessa (García et al. 2010).

Técnicas de caracterización analítica, análisis y diagnosis aplicados al Patrimonio

Aplicación de distintas técnicas para la identificación de materiales (Gómez, San Andrés, 2010) y evaluación de su comportamiento a largo plazo: técnicas microscópicas (MO, MEB-DEX), espectroscópicas (FTIR y Raman) (San Andrés et al., 2010c) y cromatográficas (GC), difracción de rayos X y técnicas

colorimétricas. Estas técnicas también se están utilizando en la evaluación de productos utilizados en procesos de conservación y restauración.

Historia y Teoría de la Conservación y de la Restauración

Evolución de los criterios, metodologías, materiales y técnicas utilizados en tratamientos y procesos de restauración. Políticas de preservación y conservación del Patrimonio Cultural, evolución histórica y fundamentación (Macarrón, 2002). Principales teorías y criterios actuales en conservación y restauración (Macarrón, González, 1997). Organismos nacionales e internacionales y medidas administrativas, culturales, técnicas y jurídicas para la defensa del Patrimonio (Macarrón, 2008).

Métodos y Tratamientos de Restauración

Sistemas y metodologías aplicados a tratamientos de conservación curativa y restauración de bienes muebles: pintura de caballete (lienzo y tabla) y retablos (Calvo, 1995; Calvo, 2002; Dalmau et al., 2002/2). Nuevos sistemas de limpieza de policromías (tratamientos enzimáticos) (Blasco et al., 2005). Desarrollo de nuevas tecnologías a los procedimientos de reintegración cromática (García, 2009; San Andrés, de la Roja, 2000; de la Roja, San Andrés, 1999).

Museología y Museografía. Conservación Preventiva

Proyectos Museológicos, Museográficos y Proyectos expositivos. Catalogación e inspección de colecciones. Causas de alteración y medidas de conservación preventiva en Museos (salas de exposición, almacenes). Puesta en valor de las colecciones de los Museos Universitarios (García, 2010; García et al., 2009).

Referencias

Blasco, I., de la Viña, S., San Andrés, M. (2005): Fundamentos y antecedentes de la utilización de enzimas en tratamientos de limpieza, *PH, Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico,* 53, 24-34.

Calvo, A.M. (1995): *La restauración de pintura sobre tabla: su aplicación a tres retablos góticos levantinos* (Cinctorres, Castellón), Servicio de Publicaciones, Diputación de Castellón.

Calvo. A.M. (2002): *Conservación y restauración de pintura sobre lienzo*, Ed. del Serbal, Barcelona.

Chércoles, R. San Andrés, M. De la Roja, J.M. Gómez, M.L. (2009): Analytical Characterization of Polymers used in Conservation and Restoration by ATR-FTIR, *Analytical and Bioanalytical Chemistry,* 395, 2082-2096.

Dalmau, C., Hoyo, F.J., Sánchez, A. (2002/2), El retablo mayor de la Catedral de Burgos. Sistemas de construcción y técnicas de embalaje, Boletín de la Institución Fernán González, 221, 317-334.

López, E., Dalmau, C. (2007): Materiales y técnicas de dorado a través de las antiguas fuentes documentales, *PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico,* 61, 110-129

De la Roja, J. M., San Andrés, M.(1999): Chromatic restoration method for works of art based on the use of colour tables or charts as colour reference system, Patent Number PCT/ES00/00201.

García, I. (2010): Reorganizing a 20th century cabinet of curiorities into a museum for the 21st century, *University Museums and Collection Journal*, 3, 141-148.

García, I., García S., San Andrés M., Sánchez de Lollano, J. (2009): *Función, Uso y Exposición: El caso de los modelos anatómicos del Dr. Auzoux, Proceedings* IV Congreso

del Grupo Español del IIC. La Restauración en el s. XXI. Función, Estética e Imagen (Cáceres), ed. GEIIC, Madrid, pp. 341-348.
García S., San Andrés M. (2005): Original patents as an aid to the study of the composition and the conservation of semi-synthetic plastics, *Journal of the American Institute for Conservation*, 44, 95-102.
García, S. (2009): *Escalpelo para la conservación-restauración de bienes culturales,* N. de solicitud: P20090219.
García, S., San Andrés, M., De la Roja, J. M. (2010): Conservar el diseño industrial contemporáneo: problemas prácticos en la identificación de piezas de plástico, en Actas *XI Jornada de Conservación de Arte Contemporáneo*, ed. Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, Madrid, pp. 283 – 308.
Gómez, M. L., San Andrés, M. (2010): *Metodología de análisis físico-químicos en obras policromadas de gran formato, en* La Ciencia y el Arte II. Ciencias Experimentales y Conservación del Patrimonio Histórico, ed. IPCE (Ministerio de Cultura), Madrid, 94-112.
Gómez, M. L., Chércoles, R., San Andrés, M. (2011a): Los Azules de Cobalto, en *Fatto d´Arquimia. Historia e identificación de pigmentos artificiales en las técnicas pictóricas*, ed. IPCE (Ministerio de Educación), Madrid, (en prensa).
Gómez M. L., San Andrés, M., Chércoles, R., de la Roja, J.M.; Santos, S.; García, P.; Sánchez, J.; García, E.; Ceballos, L.; Borrego, P.; Argerich, I. (2011b): Revisión crítica de los materiales poliméricos en contacto con los bienes del Patrimonio Cultural, Proceedings 16th International Conference CC-ICOM, Lisboa (19 al 23 de Septiembre), (en prensa).
Macarrón, A. M. (2002): *Historia de la conservación y la restauración. Desde la Antigüedad hasta el siglo XX*. Ed. Tecnos, Madrid.
Macarrón, A. M. (2008): *Conservación del Patrimonio Cultural. Criterios y Normativas*. Ed. Síntesis, Madrid.
Macarrón, A. M., González, A. (1997): *La conservación y la restauración en el siglo XX,* Ed. Tecnos, Madrid
San Andrés, M. (2011): Química Moderna y Producción de Nuevos Pigmentos, en *Fatto d´Arquimia. Historia e identificación de pigmentos artificiales en las técnicas pictóricas*, ed. IPCE (Ministerio de Educación), Madrid, (en prensa)
San Andrés, M., de la Roja, J. M. (2000): *Structure and preparation of transferable screen tints used in color restoration of pictorical works and polychromed sculpture*, Patent Number PCT/ES00/00020
San Andrés, M., Sancho, N., de la Roja, J. M. (2010a): Alquimia. Pigmentos y Colorantes Históricos, *Anales de Química*, 106, 58-65.
San Andrés, M. De la Roja J.M.; Chércoles, R.; Gómez, M. (2010b): Envejecimiento con radiación UV de una variedad de cartón pluma neutro. Estudio de su evolución cromática y composición, *Óptica Pura y Aplicada,* 43, 219-227.
San Andrés, M., De la Roja, J. M., Baonza, V.G., Sancho, N. (2010c): Verdigris pigment: a mixture of compounds. Input from Raman spectroscopy, *Journal of Raman Spectroscopy*, 41, 1178-1186.
San Andrés, M., Gómez, M.L., Chércoles, R., De la Roja, J.M., del Egido, M. (2011): Propuesta de evaluación de materiales poliméricos usados en la conservación de objetos patrimoniales, *en La Ciencia y el Arte III. Ciencias Experimentales y Conservación del Patrimonio Histórico,* ed. IPCE (Ministerio de Educación), Madrid, (en prensa)

Microbiología y Patrimonio Cultural

M.A. Rogerio Candelera, C. Sáiz Jiménez

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC), Avda. Reina Mercedes, 10, 41012 Sevilla

Los inicios

El estudio de las causas del deterioro que experimentaban las pinturas murales de Vázquez Díaz en el Monasterio de Santa María de la Rábida marcó, en el año 1979, (Saiz-Jimenez y Samson 1981) el punto de partida de una ya larga trayectoria investigadora dedicada a la resolución de problemas de conservación del Patrimonio Cultural. Desde aquel primer momento a nuestros días, los distintos integrantes del grupo han centrado su interés investigador en muchos otros elementos, muebles e inmuebles, del Patrimonio Cultural. Esta actividad investigadora se ha estructurado en cuatro líneas principales: i) biodeterioro de materiales; ii) conservación de conjuntos arqueológicos; iii) efectos de la contaminación atmosférica sobre los monumentos; y iv) conservación de pinturas rupestres en cuevas y abrigos. Estas cuatro líneas básicas han encontrado financiación en más de cincuenta proyectos de investigación obtenidos en convocatorias competitivas tanto de carácter internacional, como nacional y bilateral desde 1986 a la actualidad.

El grupo de investigación

El grupo tiene un marcado carácter transdisciplinar, que viene dado por la formación de sus componentes. Así, además de una mayoría de biólogos, en el grupo se integran en la actualidad dos químicos, un arqueólogo, una conservadora-restauradora y una ingeniera de materiales. La transdisciplinariedad del grupo se expresa en la aproximación a los problemas desde un lenguaje común que engloba diferentes perspectivas, para favorecer la comprensión global de los mismos y la aportación de soluciones integradoras que aprovechen las posibilidades de los distintos puntos de vista y las sinergias generadas.

Bienes del Patrimonio Cultural estudiados

Durante esta treintena larga de años, el grupo de investigación ha intervenido en una gran cantidad de bienes inmuebles del Patrimonio Cultural, encuadrables en la categoría de monumentos o de patrimonio arqueológico. Entre los monumentos más significativos podemos incluir las catedrales de Sevilla, Salamanca, Toledo, Florencia y Malinas, la basílica de Saint-Denis, en París (Francia), el Palácio Nacional da Pena (Sintra, Portugal) o los relieves sasánidas de Fars (Irán). Entre los yacimientos arqueológicos cabe destacar los conjuntos arqueológicos de Itálica, Baelo Claudia y la necrópolis romana de Carmona, en Andalucía, la villa imperial del Casale en Piazza Armerina (Sicilia), varias tumbas de las necrópolis etruscas de Tarquinia, Cerveteri y Chiusi (Italia), o las catacumbas de San Calixto y Domitila en Roma. Entre las cuevas con representaciones rupestres estudiadas podemos destacar Altamira (Santillana del

Mar, Cantabria), Tito Bustillo (Ribadesella, Asturias), La Garma (Omoño, Cantabria), Santimamiñe (Kortezubi, Vizcaya), el abrigo profundo de Fuente del Trucho (Colungo, Huesca), Doña Trinidad (Ardales, Málaga) o la cueva de los Murciélagos (Zuheros, Córdoba), en España, además de Lascaux (Montignac, Francia) y Grotta dei Cervi (Porto Badisco, Italia). Además de estas cuevas, se han estudiado los abrigos con arte rupestre del Tajo de las Figuras y Cueva del Arco (Benalup-Casas Viejas, Cádiz), Atlanterra (Tarifa, Cádiz), Peñas de Cabrera (Casabermeja, Málaga), cueva de Los Letreros (Vélez-Blanco, Almería), La Graja (Jimena, Jaén), y el Encajero (Quesada, Jaén) en Andalucía, el abrigo de Muriecho L (Colungo, Huesca), los del Tío Campano, Prado del Navazo y Cabras Blancas en el Parque Cultural de Albarracín (Teruel) y fuera de España, los núcleos de arte rupestre de Faia (Cidadelhe, Portugal) y de Cachão da Rapa (Anciães, Portugal).

Técnicas

El abanico de técnicas empleadas para el estudio de los diferentes bienes culturales abarca desde las propias de la microbiología clásica (aislamiento, cultivo e identificación) a las de biología molecular: extracción de ADN, PCR, DGGE, secuenciación y análisis bioinformático para la identificación de los miembros de las comunidades microbianas, tanto los presentes (mediante técnicas moleculares basadas en el ADN) como los metabólicamente activos (utilizando técnicas basadas en el ARN). Entre las diversas técnicas moleculares que desarrollamos se encuentra también la pirosecuenciación o secuenciación 454. Tales estudios se complementan con microscopía, que incluyen FESEM, SEM-FIB, CLSM, TEM, etc. El grupo está especializado en la descripción de nuevos géneros y especies de bacterias (Jurado et al. 2011) y hongos y en la caracterización quimiotaxonómica de microorganismos.

Recientemente, se emplea el análisis digital de imágenes desarrollando protocolos propios que adaptan métodos procedentes de la teledetección ambiental para la detección y estudio de pinturas rupestres y murales, así como para la cuantificación de crecimientos microbianos (Rogerio-Candelera et al. 2011). Las técnicas de análisis químico orgánico que posee nuestro grupo nos permiten la detección de compuestos de interés para el estudio de la degradación y biodeterioro del Patrimonio Histórico. La cromatografía de gases, la cromatografía de gases-espectrometría de masas y la técnica combinada pirólisis-cromatografía de gases espectrometría de masas, son muy útiles para el estudio de compuestos orgánicos, macromoléculas naturales y sintéticas, biomarcadores (Pereira de Oliveira et al. 2011), análisis de contaminantes ambientales y combustibles fósiles, etc.

Algunos estudios recientes

¿Deterioro antropogénico o biodeterioro? Los relieves sasánidas de Bishapur (Fars, Irán)

Durante la Guerra del Golfo de 1991 el ejército iraquí incendió en su retirada casi la mitad de los aproximadamente 1000 pozos petrolíferos de Kuwait, estimándose que se quemaron alrededor de 5-6 millones de barriles de crudo y entre 70 y 100 millones de metros cúbicos de gas natural por día. Durante el

tiempo que duraron los incendios e incluso después de que se extinguieran se señaló la aparición de fenómenos de lluvia negra/ácida que alcanzaron el interior de Irán, lo que motivó la protesta de este estado y la correspondiente petición de compensaciones por el deterioro que gran parte de su patrimonio cultural había sufrido, en particular mediante la formación de costras negras sobre monumentos pétreos (Figura 1). Para dilucidar si el deterioro se debía a esta causa o, por el contrario, a otras, se llevó a cabo un trabajo en colaboración con el CNR (Bonazza et al. 2007).

Figura 1. Relieve número 4 de Bishapur, en la provincia de Fars (Irán) que describe la recepción del rey sasánida Bahram II a una delegación de árabes. Se aprecian pátinas negras atribuidas por el gobierno iraní a los incendios producidos en los pozos petrolíferos kuwaitíes durante la Primera Guerra del Golfo.

Los análisis de estas costras efectuados mediante termoquemólisis y cromatografía de gases/espectrometría de masas detectaron la presencia de una cantidad considerable de lípidos, en los que se observó un alto grado de insaturación. Los datos apuntaban, así, a la presencia de microorganismos fototróficos. En particular, la presencia de pristenos, fitenos, fitadienos y fitol señalaba a la presencia de cianobacterias como causantes del ennegrecimiento de los relieves. El uso de técnicas de biología molecular permitió identificar secuencias de ADN relacionadas con los géneros *Nostoc*, *Anabaena* y *Cylindrospermum*, confirmando que las costras negras se debían al desarrollo de cianobacterias sobre los relieves.

Altamira y Lascaux, dos casos de deterioro de cuevas con arte rupestre

Los problemas de conservación de las manifestaciones rupestres de Altamira y Lascaux vienen marcados por el impacto de las visitas turísticas ya que los sistemas subterráneos son muy frágiles (Saiz-Jimenez 2010). Los cambios en las condiciones ambientales pueden producir alteraciones de gran importancia en el

ecosistema, favoreciendo la expansión de unas especies sobre otras, o la aparición de especies invasoras.

La expansión incontrolada de un brote fúngico en Lascaux en 2001 y su evolución posterior tras los tratamientos empleados para su eliminación motivó la intervención del grupo de investigación en la cavidad. Los diferentes trabajos desarrollados en la cueva permiten concluir que la intervención antrópica continuada desde su descubrimiento ha sometido a la misma a cambios drásticos en sus condiciones que han propiciado la sucesión de especies, en buena medida seleccionadas por su resistencia a los tratamientos biocidas (Bastian et al. 2010).

El caso de Altamira es ligeramente distinto, tras dos episodios de cierre al público (en 1977 y 2002 respectivamente). Los estudios llevados a cabo por el grupo en colaboración con el Museo Nacional de Ciencias Naturales (Cuezva et al. 2010) llevan a concluir que, si bien existen indicios de recuperación tras el cierre de 2002, la presencia de hongos en la cueva ha de ser tenida en cuenta (Jurado et al. 2009). El peligro de desequilibrio ecológico permanece (Porca et al. 2011), por lo que una nueva apertura de la cueva podría llevar a repetir situaciones como la que atraviesa Lascaux, de resultados impredecibles.

Referencias

Bastian, F., Jurado, V., Nováková, A., Alabouvette, C., Saiz-Jimenez, C. (2010) The microbiology of Lascaux Cave. *Microbiology* 156, 644-652.

Bonazza, A., Sabbioni, C., Ghedini, N., Hermosin, B., Jurado, V., Gonzalez, J.M., Saiz-Jimenez, C. (2007) Did smoke from the Kuwait oil well fires affect Iranian archaeological heritage? *Environmental Science and Technology* 41, 2378-2386.

Cuezva, S., Sanchez-Moral, S., Saiz-Jimenez, C., Cañaveras, J.C. (2009) Microbial communities and associated mineral fabrics in Altamira Cave, Spain. *International Journal of Speleology* 38, 83-92.

Jurado, V., Fernandez-Cortes, A., Cuezva, S., Laiz, L., Cañaveras, J.C., Sanchez-Moral, S., Saiz-Jimenez, C. (2009) The fungal colonization of rock art caves. *Naturwissenschaften* 96, 1027-1034.

Jurado, V., Laiz, L., Ortiz-Martinez, A., Groth, I., Saiz-Jimenez, C. (2011) *Pseudokineococcus lusitanus* gen. nov., sp. nov., and reclassification of *Kineococcus marinus* Lee 2006 as *Pseudokineococcus marinus* comb. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, DOI: 10.1099/ijs.0.026195-0.

Pereira de Oliveira, B., de la Rosa, J.M., Miller, A.Z., Saiz-Jimenez, C., Gómez-Bolea, A. Sequeira Braga, M.A., Dionísio, A. (2011) An integrated approach to assess the origins of black films on a granite monument. *Environmental Earth Science*, DOI: 10.1007/s12665-010-0773-2.

Porca, E., Jurado, V., Martin-Sanchez, P.M., Hermosin, B., Bastian, F., Alabouvette, C., Saiz-Jimenez, C. (2011) Aerobiology: an ecological indicator for early detection and control of fungal outbreaks in caves. *Ecological Indicators*, DOI: 10.1016/j.ecolind.2011.04.003.

Rogerio-Candelera, M.A., Jurado, V., Laiz, L., Saiz-Jimenez, C. (2011) Laboratory and in situ assays of digital image analysis based protocols for biodeteriorated rock and mural paintings recording. *Journal of Archaeological Science*, DOI: 10.1016/j.jas.2011.04.020.

Saiz-Jimenez, C. (2010) Painted Materials. En: *Cultural Heritage Microbiology*. R. Mitchell, C.J. McNamara, (eds), pp. 3-13, ASM Press, Washington, DC.

Saiz-Jimenez, C., Samson, R.A. (1981) Microorganisms and environmental pollution as deteriorating agents of the frescoes of "Santa María de la Rábida", Huelva, Spain. En: *6th Triennial Meeting ICOM, Committee for Conservation*. Ottawa, paper 81/15/5.

Petrología aplicada a la Conservación del Patrimonio

R. Fort[1], M. Álvarez de Buergo[1], MJ. Varas Muriel[2], M. Gómez Heras[2], C. Vázquez-Calvo[1], P. López-Arce[1], L.S. Gómez[1], E. Pérez-Monserrat[1], D.M. Freire[1], A. Zornoza-Indart[1], M.I. Martínez-Garrido[1]

[1] *Instituto de Geociencias (CSIC-UCM). c/ José Antonio Nováis 2, Facultad Ciencias Geológicas, 28040 Madrid, rafort@geo.ucm.es*

[2] *Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas UCM, 28040 Madrid*

El grupo de Petrología Aplicada a la Conservación del Patrimonio (PAP) está constituido por investigadores del CSIC y de la UCM, que pertenecen al Instituto de Geociencias. Este instituto, creado en 2011, es una transformación del antiguo Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM), del cual procede este grupo de investigación con más de 25 años de experiencia en la conservación del patrimonio cultural, principalmente del patrimonio arquitectónico y arqueológico realizado en piedra. El grupo participa en los estudios previos y en los realizados durante la fase de ejecución del proyecto de diferentes intervenciones encaminadas a la restauración y conservación del patrimonio (www.conservacionpatrimonio.es).

La petrología es una disciplina básica para abordar cualquier tipo de intervención en la conservación del patrimonio realizado con materiales pétreos (Fort et al. 2008), denominados más recientemente *geomateriales*. Se entiende por geomaterial todo aquel material de origen geológico que tras un proceso de elaboración es utilizado en diferentes sectores, como en la ingeniería civil, edificación, materiales avanzados, conservación del patrimonio, medio ambiente, etc. De esta forma, se consideran como geomateriales, tanto a la piedra natural que son rocas extraídas de sus afloramientos geológicos, como a los morteros, ladrillos, adobes y tapiales, etc., que son elaborados con materias primas de origen geológico.

La intervención en el patrimonio construido con este tipo de materiales tiene que contar con un conocimiento profundo de sus propiedades petrológicas (propiedades petrográficas y petrofísicas), que permitan establecer las causas el grado de deterioro presente, así como las pautas más adecuadas a seguir para su conservación en base a la determinación de las causas responsables de su estado. Las propiedades de los geomateriales y la definición de su estado de conservación comienza por un estudio integral *in situ* de los materiales en su ubicación real, seguido de un estudio más detallado en el laboratorio, destacando el análisis petrográfico, con el que se determina la composición, microestructura y textura de los materiales y sus tipos de deterioro, basándose en técnicas microscópicas tradicionales, tales como la microscopía óptica de polarización y de fluorescencia, o la microscopía electrónica de barrido y de transmisión, o la microscopía RAMAN. La petrología aporta también conocimientos sobre las propiedades físicas de los geomateriales (petrofísica), lo cual posibilita establecer en muchos casos, las causas del deterioro en base al comportamiento mecánico, hídrico, dinámico, térmico, etc. La determinación de las propiedades petrofísicas de la superficie de los materiales aporta igualmente información muy relevante para conocer el

comportamiento de estos materiales ante ambientes agresivos, ya que la superficie es la interfaz de contacto con el exterior. Asimismo, la petrología, desde el punto de vista geoquímico y geocronológico, proporciona un apoyo inestimable para acometer actuaciones de conservación del patrimonio con el mayor rigor científico.

El grupo lleva a cabo estudios integrales en el patrimonio construido desde la caracterización de los materiales (piedra natural, morteros, recubrimientos, pátinas, etc.) y sus tipos de deterioro, pasando por la determinación de las causas que han generado esos deterioros, así como definiendo las técnicas de limpieza, consolidación y protección más adecuadas, según las propiedades de los materiales y los tipos de ambientes en los que se encuentren, tanto a nivel de microentorno – estructura, edificio, conjunto-, como a una escala mayor – entorno geográfico, zona urbana o rural, entorno ambiental, etc.

El grupo desarrolla diferentes líneas de investigación, muchas de ellas en colaboración con otros grupos pertenecientes a la que fue la Red del CSIC de Patrimonio Histórico Cultural (RTPHC-CSIC), transformada, mejorada y ampliada a la actual Red TechnoHeritage, persiguiendo la complementación entre los diferentes grupos. Esto ha permitido hasta el momento poder desarrollar de forma conjunta proyectos de investigación como "Tecnologías para la conservación y revalorización del Patrimonio Cultural" (Consolider TCP) y "Durabilidad y conservación de Geomateriales del patrimonio construido" (PRICYT). También ha participado conjuntamente en contratos de investigación y de apoyo técnico a empresas dedicadas a la conservación del patrimonio.

Miembros de este grupo forman parte de la Unidad Asociada del CSIC "Laboratorio de Petrología Aplicada" de la Universidad de Alicante y que a su vez son miembros de la Red TechnoHeritage.

El grupo es responsable del Laboratorio de Petrofísica del Instituto de Geociencias, perteneciente a la Red de Laboratorios de la Comunidad de Madrid (RedLab 217), y el único de dicha red que proporciona un servicio integral y especializado en conservación del patrimonio. Asimismo, el laboratorio tiene certificado de calidad en su gestión según la Norma ISO 9001:2008. Este laboratorio pertenece también a la Red de Laboratorios en Ciencias de Conservación del Patrimonio del Campus de Excelencia Internacional de Moncloa.

El equipamiento del que dispone permite abordar la práctica totalidad de los problemas relacionados con el deterioro y la conservación de los materiales pétreos, tanto del Patrimonio Histórico y Cultural como del Patrimonio Geológico localizado en parques naturales. Además de las técnicas petrológicas y petrofísicas tradicionales, el grupo tiene como prioridad el afianzamiento de las técnicas no destructivas o no invasivas y portátiles, tales como la técnica de la propagación de ultrasonidos, espectrofotómetro, esclerómetro, magnetómetro, termografía de infrarrojos, rugosimetría óptica 3D, fluorescencia de rayos X portátil, etc. También, en los últimos años se están empleando técnicas, que provienen de otras disciplinas científicas, están siendo de gran utilidad en el campo de ciencia de la conservación, como son la Microtomografía Computerizada de Rayos X (μCT-XR), la Tomografía de Neutrones y la Resonancia Magnética Nuclear. En el primer caso (μCT-XR), el grupo ha colaborado con la Universidad de Gante y actualmente, lo está haciendo con la Universidad de Bolonia, y en el último caso (RMN), se colabora con el CAI de RMN de la UCM.

Estas técnicas pueden ser muy eficaces para la caracterización no invasiva de los materiales y el conocimiento del comportamiento de productos de conservación.

El grupo tiene especial interés en la difusión social de sus investigaciones, habiendo desarrollado itinerarios científico-didácticos-patrimoniales que han sido muy bien acogidos por todos los estamentos de la sociedad, y que recibe el nombre de Rutas Geomonumentales.
http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/patrimonio/rutas/geomonumentales.

Líneas de investigación

Las principales líneas de investigación del grupo están dirigidas al conocimiento de los mecanismos de degradación de los materiales de construcción, especialmente los orientados a la conservación del patrimonio histórico, y sobre todo en ambientes agresivos, como aquellos en los que se producen procesos de cristalización de sales (Lopez-Arce et al. 2010), choque térmico, heladicidad, etc., así como aquellos sometidos a una intensa contaminación atmosférica, identificando las medidas preventivas y correctivas más adecuadas para evitar, disminuir o ralentizar sus procesos de deterioro asociados. También se abordan acciones preventivas por riesgos naturales o provocados como es el caso de incendios y, en general el efecto de la temperatura (Gomez-Heras et al. 2008) (insolación, fuego, rayos, sistemas de calefacción) tanto sobre los geomateriales como sobre el propio patrimonio. De hecho, constituye una de las líneas más activas del grupo, con establecimiento de un nuevo escenario de este tipo de riesgos ante el cambio climático. Estas nuevas condiciones medio-ambientales, a las que se enfrentan los geomateriales, pueden favorecer los episodios de fatiga y por consiguiente, el acortamiento de su vida útil. Aspecto relevante, es el desarrollo por parte de este grupo de un proyecto de investigación innovador (MICINN CGL2010-19554), consistente en valorar los efectos de distintos sistemas de climatización en edificios eclesiásticos con culto, y donde, de forma periódica y repetitiva, se producen cambios en las condiciones medioambientales internas del recinto. En esta línea, el grupo está desarrollando, en colaboración con grupos de investigación del CEI-Moncloa, la mejora y desarrollo de una red inalámbrica de sensores, tanto de parámetros microclimáticos como de contaminación atmosférica, siendo el aspecto innovador la disminución del impacto frente a otros sistemas de medida. Del mismo modo, en colaboración con el Museo del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), el Instituto de Química-Física Rocasolano (CSIC), el Instituto de Estructura de la Materia (CSIC) y la Universidad Carlos III, se está trabajando en la caracterización multidisciplinar de fulguritas, materiales resultantes del impacto térmico de los rayos sobre la tierra.

El deterioro y la durabilidad de los geomateriales expuestos a de ambientes diferentes al subaéreo (subacuático y de enterramiento) es otra líneas en las que se ha comenzado a trabajar en los últimos tiempos, en colaboración con el Laboratorio de Ensayos, Corrosión y Protección de la Universidad de Cádiz, así como con el Centro de Arqueología Subacuática de Cataluña, tanto sobre piedra natural (calizas, mármoles) como artificiales (cerámicas).

Otras líneas a destacar del grupo lo constituyen la localización de canteras históricas de las que se abastecieron los monumentos, así como la evaluación de

las técnicas de limpieza y de los tratamientos de consolidación y protección de la superficie de la piedra de construcción. En este sentido, ha propuesto una metodología sencilla y rápida para valorar la efectividad e idoneidad de los tratamientos de protección en los monumentos (Álvarez de Buergo y Fort 2001), permitiendo la selección del tratamiento más adecuado a las características petrológicas-petrofísicas de los materiales a conservar.

Desde 2009 el grupo está investigando la idoneidad de nuevos tratamientos basados en nanopartículas, habiendo obtenido resultados muy interesantes y prometedores hasta la fecha, fundamentalmente en lo que se refiere a nanopartículas de hidróxido cálcico para la consolidación de materiales pétreos carbonatados (Lopez-Arce et al. 2011), y colaborando en el campo de nanopartículas y nanomateriales aplicados a la conservación de materiales pétreos del patrimonio con el Institute of Technical Sciences de Serbia, el grupo de Tecnología de Polvos de la Universidad Carlos III, el Instituto Eduardo Torroja (CSIC) y el grupo de Tamices Moleculares de la Universidad de Cádiz. El grupo lleva bastantes años trabajando en el estudio y análisis de las pátinas tradicionales e investigando como reproducirlas, siendo éstas recubrimientos antiguos aplicados intencionadamente en el pasado sobre materiales pétreos con fines estéticos y/o protectores (Vazquez Calvo et al. 2007).

Agradecimientos:

A los programas Geomateriales (S2009/MAT-1629) y CONSOLIDER-TCP (CSD2007-0058) y a la financiación de Grupo de Investigación de la UCM, "Alteración y Conservación de los Materiales Pétreos del Patrimonio" (ref. 921349).

Referencias

Álvarez de Buergo, M., Fort, R. (2001) Basic methodology for evaluating and selecting water-proofing treatments applied to carbonatic materials. *Progress in Organic Coatings* 43, 258-266.

Fort R., García del Cura M.A, Varas, M.J., Bernabéu A., Álvarez de Buergo M., Benavente D., Vázquez-Calvo C., Martínez-Martínez, J.,Pérez-Monserrat E. (2008) La petrología: una disciplina básica para el avance en la Investigación y conservación del patrimonio. En: *La investigación sobre Patrimonio Cultural*, C. Saiz y M.A. Rogerio (eds) Ed. Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural, 217-239,270.

Gómez-Heras, M., Mccabe S., Smith B.J., Fort R. (2009) Impacts of Fire on Stone-Built Heritage: An Overview. Journal of Architectural Conservation, 2 (15) 47-59

López-Arce, P., Varas Muriel, MJ,. Fernández-Revuelta, B. Álvarez de Buergo M., Fort R., Pérez-Soba, C. (2010) Durability of granites from the region around Madrid, Spain, exposed to the salt crystallization test: intra- and inter-granular surface roughness quantification. *Catena* 83, 170-185.

López-Arce, P,.Gómez, LS, Pinho, L., Fernández-Valle, ME. Álvarez de Buergo M., Fort R. (2010) Influence of porosity and relative humidity in the consolidation of dolostone with calcium hydroxide nanoparticles: Effectiveness assessment with non destructive techniques. Materials Characterization , 61 (2): 168-184

Vázquez-Calvo, C., Álvarez de Buergo, M., Fort, R. (2007) Overview of recent knowledge of patinas on stone monuments: the Spanish experience. *En: Prikryl, R. y Smith, B. (eds). Building Stone Decay: from Diagnosis to Conservation.The Geological Society of London. Special Publications. Londres.* Volumen 271, 295-307.

GPAC. Grupo de Investigación en Patrimonio Construido

A. Azkarate
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CIEA), C/Miguel de Unamuno, nº 3, VITORIA-GASTEIZ 01006.

Desde nuestro Grupo de Investigación (antes GIAA, ahora GPAC) -en el que están implicados 6 centros universitarios y otros tantos departamentos y áreas de conocimiento DELA universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (Figura 1)-, procuramos organizar nuestra agenda de investigación no solamente en función de los intereses curriculares al uso sino en función también de las necesidades de lo que se ha definido como el "contexto de aplicación" de la propia actividad investigadora y que ha acabado articulando muchas de nuestras experiencias en una "perspectiva CTS" que defiende la construcción social del conocimiento. El eslogan "abierto por obras" que preside el más conocido de los proyectos entre los que hemos tomado parte (Catedral Vieja de Vitoria-Gasteiz), no es un acierto publicitario sino una declaración de principios sobre la responsabilidad social de la investigación científica.

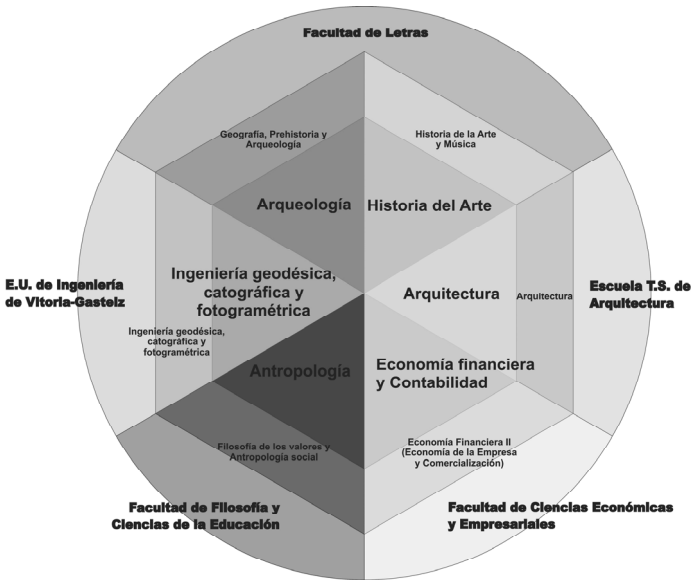


Figura 1. De dentro a afuera, Áreas de conocimiento, Departamentos y Centros universitarios implicados en el GPAC.

Por lo tanto, dejamos hace ya tiempo de discutir entre conceptos como Investigación Básica e Investigación Aplicada porque, sencillamente, creemos no constituyen sino el anverso y reverso de una misma moneda. No hay voluntarismo en ello, ni cesión a atajos de fácil tránsito porque, como dicen que dice un

proverbio chino, “es más fácil saber cómo se hace una cosa, que hacerla”. Por eso creemos que los nuevos tiempos están alumbrando un conocimiento que enfatiza y defiende el binomio *investigación-acción* en detrimento del tradicional *conocimiento-verdad*. Y el binomio investigacion-accion se mueve como pez en el agua en el proceloso océano del patrimonio cultural o, mejor, de los paisajes culturales.

Hemos optado por recurrir a la cadena de valor porque pensamos que compendia mejor que cualquier otra alternativa la idea de “proceso” y, en consecuencia, posibilita una diagnosis del estado de salud de cada una de las etapas que conforman ese itinerario. De la misma manera, nos permite también mirar críticamente una praxis cotidiana excesivamente reduccionista que tiende a instalarse en alguno de los eslabones de esa cadena, olvidándose de la integralidad del proceso.

Líneas de investigación y proyectos de conocimiento (2010-2015)

Identificación

Objetivos: Contribución, mediante el diseño y desarrollo de nuevas metodologías y técnicas, a la identificación de los elementos patrimoniales susceptibles de tutela. Una identificación canalizada a través de un censo o inventario general de los mismos que sirva, además, como herramienta de gestión en lo referente a las necesidades de intervención y/o conservación del patrimonio edificado.

Proyectos: a) Plan estratégico para la gestión del Patrimonio Construido; b) Identificación y elaboración del catálogo de arquitectura urbana contemporánea: la vivienda en Vitoria-Gasteiz y Donostia-San Sebastián.

Documentación y registro

Objetivos: Mantener, administrar e incrementar la información existente sobre el Patrimonio, bien por medio de la adquisición y gestión de registros o por el tratamiento de estos hasta la obtención de otros resultados que precisen la contribución de análisis e investigaciones multidisciplinares. El *registro* implica a todas las áreas que obtienen y almacenan alguna característica del elemento patrimonial, sean estas geométricas, arqueométricas, históricas, fisico-químicas, etnográficas...

Proyectos: a) Estudio de viabilidad, adaptación y procedimentación de nuevas técnicas en la documentación geométrica del patrimonio; b) Estándares y metainformación y transcendencia de la información en la documentación del patrimonio; c) Geometric documentation of heritage: european integration of Technologies; d) SWIP (sistema web de información patrimonial).

Valoración y significación

Objetivos: Para una correcta “valoración” del patrimonio es imprescindible contar con herramientas hermenéuticas eficaces y ello exige el desarrollo, por parte del GIAA, de estrategias de investigación en indicadores cronológicos: estudios mensiocronológicos, cronotipológicos y cerámicos. Se perseguirá desarrollar, asimismo, estrategias y sistemas para el análisis territorial y de

poblamiento siguiendo tanto un eje diacrónico (época romana, altomedieval y bajomedieval) como temático (ámbito rural, ámbito urbano).

Proyectos: a) Configuración del hábitat rural en época altomedieval; b) Configuración del hábitat urbano en época medieval; c) La arquitectura del poder: castillos y casas-torres; d) Desarrollo de estrategias de investigación en indicadores cronotipológicos.

Intervención y conservación

Objetivos: a) Entender la restauración como un proceso de conocimiento, de manera que cualquier proyecto de restauración debe constituir un proceso cognitivo que implique un profundo conocimiento del edificio o del sitio; b) Respetar más los valores integrales del Patrimonio Edificado

Proyectos: a) Estancias jesuíticas en Uruguay; b) Recuperación de las murallas prefundacionales de Vitoria-Gasteiz; c)Análisis de cargas in situ en estructuras de mampostería (sillería y ladrillo), en estructuras de madera y en estructuras metálicas, mediante la técnica hole drilling.

Transmisión. Difusión y socialización

Objetivos relacionados: a) Puesta en valor y difusión del patrimonio arquitectónico; b) Salvaguarda y exposición de los fondos documentales arquitectónicos y urbanísticos, introduciéndolos dentro de los circuitos museográficos adecuados para su mejor conocimiento

Proyectos relacionados: a) Museo Municipal San Telmo (Donostia-San Sebastián); Otras maneras de musealización del patrimonio.

Transferencia. El valor del Patrimonio

Objetivos impacto sociocultural: a) Realizar investigaciones donde el objeto de investigación sean, por un lado, los sujetos que activan o ponen en valor su patrimonio y, por otro, el conjunto de valoraciones que realizan acerca del mismo; b) Analizar la relación entre el patrimonio cultural, las políticas culturales y la identidad cultural; c) Analizar la relación entre la globalización, el patrimonio cultural y la diversidad cultural.

Proyectos: La producción de la localidad a través del patrimonio cultural: globalización, agentes y valores culturales en el medio rural.

Objetivos Patrimonio y Valor: a) Desarrollar un *método de gestión* del Bien Cultural Edificado que considera su puesta en valor como motor de la reactivación socioeconómica de todo el área sobre la que influye; b) Trata de *rentabilizar el beneficio* obtenido de la restauración y socialización del Bien, no sólo para los habitantes del entorno, sino también para el agente que afronta la inversión de capital inicial necesaria.

Proyectos: Método de optimización territorial de la inversión en valores arquitectónicos (M.O.T.I.V.A.)

Composición del GPAC

- Araujo de la Mata, Andrés (Economista). Departamento de Economía Financiera (Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Campus de Bizkaia).

- Arrieta Urtizberea, Iñaki (Antropólogo). Departamento de Filosofía de los valores y Antropología social (Facultad de Filosofía y Ciencias de la Educación. Campus de Gipuzkoa).
- Azkarate Garai-Olaun, Agustín (Arqueólogo). Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología (Facultad de Letras. Campus de Alava).
- Basurto Ferro, Nieves (Historiadora del Arte). Departamento de Historia del Arte y de la Música (Facultad de Bellas Artes. Campus de Bizkaia).
- Benedet, Verónica (Arquitecta). "Heritage" Patrimonio Cultural, S.L
- De la Fuente Arana, Ander (Arquitecto). "Heritage" Patrimonio Cultural, S.L
- Díaz Balerdi, Iñaki (Historiador del Arte). Departamento de Historia del Arte y de la Música (Facultad de Letras. Campus de Alava).
- Escribano Ruiz, Sergio (Arqueólogo). Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología (Facultad de Letras. Campus de Alava).
- Feijo Guerrero, Fernando (Ingeniero). Grupo de Investigación em Patrimônio Construído (GPAC).
- Pacho Fernández, Maria Jesús (Historiadora Del Arte). Departamento de Historia del Arte y de la Música (Facultad de Letras. Campus de Alava).
- Sánchez Beitia, Santiago (Físico). Departamento de Arquitectura (Escuela T.S. de Arquitectura. Campus de Gipuzkoa).
- Sánchez Zufiaurre, Leandro (Arqueólogo). Arqueologia QARK Arkitectura.
- Solaun Bustinza, José Luis (Arqueólogo). Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología (Facultad de Letras. Campus de Alava).
- Valle Melón, José Manuel (Ingeniero). Ingeniería Minera y Metalúrgica, Ciencia de los Materiales (Escuela Universitaria de Ingeniería. Campus de Alava).

Figura 1. Primera fase del proyecto de recuperación integral de las murallas prefundacionales de Vitoria-Gasteiz (Europa Nostra 2010).

FEMTOUSAL

P. Moreno, A. García, C. Romero, J. R. Vázquez de Aldana
Grupo de Investigación en Microprocesado de Materiales con Láser, Universidad de Salamanca, Plaza de la Merced s/n, 37008, Salamanca. E-mail: pmoreno@usal.es

Desde sus inicios, la tecnología láser se ha aplicado a modificar las propiedades de los materiales, ya sean propiedades geométricas, mecánicas, químicas u ópticas, por citar algunas. Uno de los campos de aplicación ha sido la conservación y restauración de objetos del patrimonio cultural. La investigación del comportamiento de los diferentes materiales frente a la irradiación por láser, con toda la variedad de parámetros que esta tecnología puede desplegar (entre otros, longitud de onda, intensidad, tiempo de interacción) es un requerimiento ineludible para el uso de esta tecnología en el campo de la restauración.

FEMTOUSAL es un grupo cuya actividad científica está enfocada genéricamente al procesado de materiales con láser de pulsos ultracortos. Se entiende por pulsos láser ultracortos aquéllos cuya duración es inferior al picosegundo (10^{-12} s). Con esas duraciones de los pulsos láser, la interacción con la materia tiene lugar a través de fenómenos no lineales, de forma que en función de la intensidad de los pulsos, el material pasa de apenas verse afectado por la acción de los pulsos a perder una capa superficial por el proceso conocido como ablación ultrarrápida. Lo interesante es que el proceso es aplicable a cualquier material con parámetros y efectos similares, y además, que el daño colateral generado en el material que circunda a la zona procesada es mínimo comparado con el producido por otras técnicas de eliminación de material, incluida la ablación con láseres de pulsos más largos.

Desde la instalación en la Universidad de Salamanca del primer láser de pulsos ultracortos en 2003, este grupo se ha dedicado a los estudios fundamentales del proceso de ablación ultrarrápida, al microprocesado de materiales de utilidad industrial, incluyendo la fabricación de dispositivos ópticos no lineales y al desarrollo y mejora de dispositivos para el microprocesado con pulsos ultracortos.

En lo referente a los objetivos de la Red, el grupo ha dedicado parte de su actividad al estudio de los efectos colaterales de la ablación ultrarrápida sobre materiales utilizados en patrimonio. El objetivo es, por un lado, evaluar los parámetros óptimos para su utilización en la limpieza y conservación de objetos de patrimonio y, por otro, caracterizar y cuantificar el daño ocasionado con vistas a validar esta tecnología para su utilización.

En colaboración con el grupo del Instituto de Física-Química Rocasolano del CSIC liderado por la Dra Marta Castillejo, se han llevado a cabo estudios comparativos de la irradiación con pulsos subpicosegundo y pulsos de nanosegundos, con diferentes longitudes de onda, de pigmentos y barnices pictóricos, así como de pergamino, para determinar el efecto diferencial de la utilización de una y otra técnica (Gaspard2008, Walczak2008, Oujja2011). Con objetivos similares, hemos colaborado con conservadoras del Centro de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Castilla y León

(Escudero2008), en la limpieza de textiles históricos confeccionados en lino y seda (Figura 1).

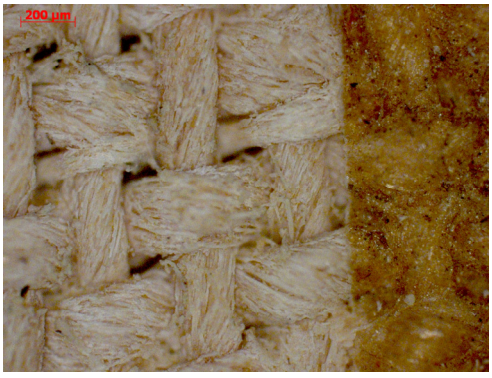


Figura 1. Micrografía de una pieza de textil histórico en lino tras la limpieza con pulsos láser de 120 fs y λ=795 nm.

Recientemente, hemos comenzado a utilizar la técnica de espectroscopia fs-LIBS para la caracterización elemental de los materiales eliminados por ablación, que se pretende aplicar en objetos de patrimonio.

El equipamiento relevante para este proyecto al que FEMTOUSAL tiene acceso pertenece a la Universidad de Salamanca y al Centro de Láseres Pulsados Ultracortos y Ultraintensos (CLPU) siendo los elementos fundamentales:

-Sistema CPA que produce pulsos de 120 fs a 795 nm con una tasa de repetición de 1 kHz y energías de pulso hasta 1 mJ. La instalación está preparada para procesar superficies de cualquier tipo de material contando con todos los dispositivos ópticos y mecánicos necesarios. Se puede trabajar también a 398 y 265 nm con energías de pulsos suficientes para producir ablación.

-Sistema LIBS dotado con un espectrómetro Andor Shamrock SR-303i y CCD intensificada Andor iStar DH-734. Microscopio óptico ZEISS AxioImager Z1m. Microscopio AFM Nanotec. Microscopio SEM en proceso de adquisición.

Referencias

Gaspard, S., Oujja, M., Moreno, P., Méndez, C., García, A., Domingo, C., Castillejo, M. (2008) Interaction of Femtosecond Laser Pulses with Tempera Paints. *Applied Surface Science* 255, 2675-2681.

Walczak, M., Oujja, M., Crespo-Arcá, L., García, A., Méndez, C., Moreno, P., Domingo, C., Castillejo, M. (2008) Evaluation of Femtosecond Laser Pulse Irradiation of Ancient Parchment. *Applied Surface Science* 255, 3179-3183.

Oujja, M., García, A., Romero, C., Vázquez de Aldana, J. R., Moreno, P., Castillejo, M. (2011) UV Laser Removal of Varnish on Tempera Paints with Nanosecond and Femtosecond Pulses. *Physical Chemistry Chemical Physics* 13, 4625-4631.

Escudero, C., Martínez, M. A., Moreno, P., García, A., Méndez, C., Prieto C., Sanz, A. (2008) Study of Laser Cleaning of Ancient Fabric with Femtosecond Pulses. En: *Lasers in the Conservation of Artworks*, M. Castillejo, P. Moreno, M. Oujja, R. Radvan y J. Ruiz (eds.), CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, London, pp. 337-343.

Ecología microbiana y geomicrobiología: ECOGEO

Ascaso. C., Cámara, B., Speranza, M., Wierzchos, J. Pérez-Ortega, S., de los Ríos, A.
MNCN-CSIC, Serrano 115, 28006 Madrid. E-mail: ascaso@mncn.csic.es

El grupo ECOGEO que pertenece en la actualidad a El Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), comenzó sus trabajos de investigación en las interfases talo liquénico-sustrato lítico, hace casi cuatro décadas.

En este momento el grupo esta formado por 11 miembros entre personal investigador y de apoyo en plantilla, personal en formación y contratados posdoctorales. Las investigaciones sobre la alteración de monumentos comenzaron a finales de los años ochenta con el estudio de los capiteles del monasterio de Silos en una colaboración con el Ministerio de Cultura.

A principios de 1990 una nueva técnica de investigación se puso a punto por parte de miembros del grupo actual, para el estudio de la interfase talo liquénico-sustrato en microscopia electrónica de barrido. Básicamente dicha técnica consiste en aumentar el número atómico de los componentes biológicos de los talos liquénicos y/o de la microbiota epi- o endolítica y de esa forma aprovechar las ventajas del detector de electrones retrodispersados para visualizar perfectamente el estado ultraestructural tanto de los componentes de los talos liquénicos (algas o cianobacterias y hongos) y de la microbiota: bacterias no fotosintéticas, cianobacterias, algas y hongos de vida libre. Mas adelante diversos monumentos fueron estudiados ya con la técnica citada, como la catedral de Jaca, la Torre de Belem en Lisboa y el monasterio de los Jerónimos en esa misma ciudad. El Monasterio de los Jerónimos iba a ser restaurado y el Instituto de Ingeniería Civil de Lisboa, estaba haciendo ensayos con distintos biocidas sobre la cubierta del monasterio para conocer el mas adecuado, para su aplicación en la restauración. Hay que destacar que en ese momento, se llevó a cabo por primera vez por parte de nuestro grupo, la evaluación in situ del efecto de biocidas sobre los líquenes y microbiota que alteraban la piedra (Ascaso et al. 2002). Con posterioridad, fue estudiado el biodeterioro de cuatro iglesias románicas de Segovia, tales como La Vera Cruz, San Martin, San Millán y San Lorenzo (de los Ríos et al. 2009), se identificaron los líquenes mas comunes y se hicieron cultivos de los hongos que se caracterizaron posteriormente.

Más recientemente el claustro de la Catedral también ha sido objeto del trabajo del grupo. En el caso de la Catedral hemos evaluado in situ la acción de biocidas, aplicados por la empresa restauradora. Se aplicaron dos tratamientos seguidos por limpieza mecánica. Aunque ambos tratamientos fueron eficaces en la eliminación de los talos liquénicos epilíticos, su acción sobre la microbiota endolítica presentó diferencias entre un tratamiento y otro (de los Rios et al. En revisión).

Se podría resumir diciendo que durante estos años pasados hemos trabajado en el diagnóstico de las características de la alteración de la piedra por agentes biológicos (De los Ríos y Ascaso, 2005), que en ciertos casos hemos determinado la capacidad biocida de diversas sustancias químicas utilizadas habitualmente por

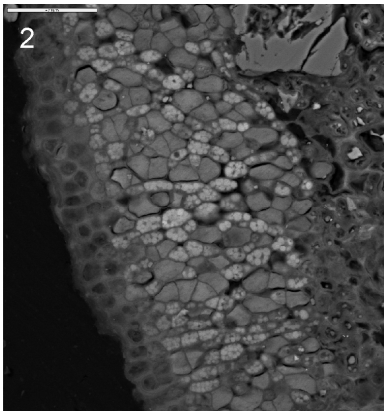
las empresas restauradoras y que hemos realizado también algún trabajo de biorreceptividad de diferentes materiales pétreos.

El grupo ha tenido para estas tareas de investigación diferentes vías de financiación, siendo necesario destacar como más importantes, la recibida de la Junta de Castilla-León y los dos proyectos de la CAM. Desarrollamos un subproyecto del proyecto Maternas, sobre durabilidad y conservación de materiales tradicionales naturales del Patrimonio arquitectónico y en la actualidad tenemos un subproyecto en el proyecto Geomateriales.

Durante el desarrollo del proyecto Maternas, la empresa THOR SA actuó como EPO de un contrato I3P y se llevo a cabo una experimentación en las canteras de Redueña cerca de Madrid (Figura 1), siguiendo el protocolo que la empresa recomienda a sus clientes. Los resultados de esa investigación han sido publicados en Microbial Ecology, por Cámara et al. (2011).

En la actualidad trabajamos en el proyecto Geomateriales y también tenemos un proyecto financiado por la fundación Carolina para estudios sobre biodeterioro en la Ciudadela de Machu Picchu. En el caso de los estudios en Machu Picchu, se van analizar los resultados del efecto de la aplicación de diferentes biocidas y de limpieza con láser, sobre la microbiota lítica que coloniza las piedras de las canteras de Machu Picchu. Después del análisis conjunto de todos los resultados será posible dar las conclusiones al diagnóstico realizado y proponer estrategias de actuación. En coordinación con la dirección del Parque, se planificaran y llevarán a cabo ensayos *in situ*, de tratamientos para eliminar procesos de biodeterioro, en las Canteras de Machu Picchu. Estos experimentos comenzaran antes de la finalización del Proyecto financiado por la Fundación Carolina (Estudios sobre Machu Picchu: cooperación cultural y científica Perú-España para su conservación y preservación como recurso al desarrollo-CaALCI 03/10). Sin embargo, la evaluación de la efectividad se prolongará al término del citado proyecto y continuará dentro del Programa GEOMATERIALES, ya que esta efectividad tiene que ser evaluada, tanto a corto, como a largo plazo.

En el proyecto Geomateriales - Durabilidad y conservación de geomateriales del patrimonio construido, se ha emprendido por parte del grupo un nuevo desafío y es la evaluación, sobre materiales pétreos, que presentan colonización por líquenes (Figura 2) y microbiota epilítica y endolítica del efecto de los tratamientos que emplean las empresas restauradoras y también del biocida Koretrel y la comparación de estos resultados con la efectividad de los tratamientos con láser. Para ello colaboramos muy estrechamente con investigadores expertos en tecnología láser pertenecientes también al CSIC, que forman otro subproyecto dentro del proyecto Geomateriales.



Figuras. 1. En las canteras de Redueña (Madrid). 2. Colonización liquénica sobre materiales pétreos.

Al estudiar el efecto del biocida Koretrel en un frente de cantera de dolomías cretácicas colonizadas por *Verrucaria nigrescens* , se evaluó la acción del biocida en el sistema fotosintético del fotobionte durante 30 días utilizando un fluorímetro portable, detectándose una inactividad total del mismo a las 4 horas de la aplicación. Estos resultados concuerdan con las severas modificaciones estructurales y ultraestructurales de los fotobiontes observadas por SEM-BSE y TEM al final del ensayo.

La limpieza con láser de la piedra es una técnica bien establecida en el ámbito del patrimonio cultural, aunque orientada principalmente a la remoción de costras inorgánicas. Dolomías cretácicas con colonización epilítica y endolítica fueron irradiadas utilizando un Q-switched Nd: YAG láser con dos longitudes de onda (355 y 1064), variando la cantidad de energía por pulso y la frecuencia. En condiciones seleccionadas de irradiación se obtuvo la fotoablación del talo liquénico, no detectándose mediante Raman daños en la piedra. Mediante SEM-BSE se observó que tanto el fotobionte como el micobionte de *V. nigrescens* sufrieron cambios ultraestructurales.

En estos años hemos aprendido algunas cosas. Entre ellas cabria destacar que la colonización epilítica y el biodeterioro que ocasiona dicha colonización resulta fácil de detectar mediante técnicas convencionales, pero no la colonización endolítica de líquenes y microorganismos. Las prácticas comunes en el control del biodeterioro están orientadas a la eliminación mecánica y/o química de la colonización epilítica y presentan limitaciones como, los daños irreversibles en el material pétreo o los peligros ambientales asociados a las sustancias tóxicas utilizadas. Además se ha demostrado, mediante el diagnóstico in situ del biodeterioro con SEM-BSE, que estos métodos no resultan del todo eficaces en el control de la colonización endolítica.

Referencias

Ascaso, C., Wierzchos, J., Souza-Egipsy, V. De los Rios, A. and Delgado Rodrigues, J. *In situ* evaluation of the biodeteriorating action of microorganisms and the effects of

biocides on carbonate rock of the Jeronimos Monastery (Lisbon). International Biodeterioration and Biodegradation, 49,1-12 (2002).
Cámara, B., De los Ríos, A., Urizal, M., Álvarez de Buergo, M., Varas, M.J., Fort, R., Ascaso, C. (2011) Characterizing the microbial colonization of a dolostone quarry: implications for stone biodeterioration and response to biocide treatments. *Microbial Ecology*, DOI: 10.1007/s00248-011-9815-x
De los Ríos, A. and Ascaso, C. Contributions of in situ microscopy to current understanding of stone biodeterioration. Research review. International Microbiology. 8 (3): 181-188 (2005).
De los Rios, A., Cámara, B., Garcia del Cura, M.A., Jimenez Rico, V., Galvan, V., Ascaso C. (2009) Deteriorating effects of lichen and microbial colonization of carbonate building rocks in the Romanesque churches of Segovia (Spain) *Science of the Total Environment* 407, 1123-1134.
De los Ríos, A., Pérez-Ortega, S., Wierzchos, J. and Ascaso, C. Differential effects of biocide treatments on saxicolous communities: case study of the Segovia cathedral cloister (Spain). En revisión

Aplicaciones de técnicas nucleares de análisis no destructivo al Patrimonio Cultural

Miguel A. Respaldiza, Francisco J. Ager, Blanca Gómez-Tubío, Anabelle Kriznar, Kilian Laclavetine, Ana Isabel Moreno-Suárez, Inés Ortega-Feliu y Simona Scrivano
Centro Nacional de Aceleradores, Universidad de Sevilla. E-mail: respaldiza@us.es

Introducción

En las últimas décadas las técnicas nucleares de análisis, por su alta sensibilidad, el carácter no destructivo de buena parte de ellas y su relativo bajo coste están teniendo un fuerte impacto en los estudios relacionados con el Patrimonio Cultural. Nuestro Grupo de investigación inició hace ya cerca de tres décadas una línea de investigación específica en dicha temática, habiendo realizado en este tiempo un importante número de colaboraciones con Grupos de Humanidades tanto a nivel local, regional, nacional como internacional, lo que junto con aplicaciones en otros campos nos llevó a ser pioneros en España en el uso de las técnicas basadas en haces de iones con la instalación del primer acelerador de partículas dedicado a la investigación interdisciplinar de nuestro país.

Aplicaciones en Patrimonio Cultural

Dada la versatilidad de las técnicas nucleares, se han abordado estudios sobre una gran diversidad de materiales de interés para el Patrimonio Cultural, lo que ha dado lugar a un importante número de publicaciones y participaciones en conferencias internacionales de la especialidad.

Dentro de esa gran variedad cabe destacar en primer lugar por su número y por los resultados obtenidos, la caracterización de materiales metálicos. En efecto, a lo largo de todos esos años, y gracias fundamentalmente a una intensa colaboración con el Dpto. de Prehistoria y Arqueología de nuestra Universidad y con el Museo Arqueológico de Sevilla, se han abordado el estudio de un número significativo de objetos metálicos: joyas, monedas, armas, etc., de muy diversa composición (principalmente oro, plata, bronce, cobre y latón).

Especial relevancia ha tenido entre dichos estudios el referido a la orfebrería tartésica, donde gracias al carácter no destructivo y la alta sensibilidad de las técnicas PIXE y XRF empleadas se ha podido no sólo obtener información de la composición elemental de las joyas (de gran interés para los estudios de procedencia), sino que también se han podido realizar microanálisis en las zonas de soldadura que han permitido avanzar en el conocimiento de las técnicas paleometalúrgicas empleadas en su fabricación.

También han sido muy importantes los estudios de distintas colecciones de monedas de plata, oro, bronce y cobre de diferentes épocas y periodos, aunque centradas siempre en la cuenca mediterránea, y que pueden arrojar información sobre los intercambios comerciales en dicha zona y periodos.

Más recientemente, desde hace ya más de un lustro, se ha iniciado una fructífera colaboración con el Museo de Bellas Artes de nuestra ciudad, donde gracias a sendos Proyectos de Excelencia de la Junta de Andalucía se han utilizado equipos portátiles de XRF para el estudio en el propio museo de varias decenas de obras de arte (cuadros, esculturas, azulejería,…) de la colección permanente de dicho museo y de algunas otras obras que han pasado por él en exposiciones temporales. En este caso el uso de nuestras técnicas no destructivas ha permitido la identificación de los pigmentos inorgánicos presentes en dichas obras, ayudando en el mayor conocimiento de la paleta de los autores estudiados, así como en las labores ordinarias de conservación y restauración del Museo. Esta colaboración se ha ampliado recientemente con investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México para el estudio de autores con obras de arte ejecutadas a ambos lados del Atlántico.

También han sido numerosas las colaboraciones con el Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, en las que haciendo uso de las ventajas ya mencionadas de las técnicas nucleares, se han llevado a cabo el análisis de distintos objetos de muy variada naturaleza: manuscritos, mármoles, huesos, etc..

Por último cabe mencionar que gracias también a otras colaboraciones con Grupos Nacionales e Internacionales, se han realizado la caracterización de otros materiales de interés para el Patrimonio Cultural, como han sido cerámica, material pétreo, vidrios (medievales, romanos,..), y/o para el Patrimonio Natural (aerosoles, sedimentos,…).

A continuación detallamos, a modo de ejemplos, algunas publicaciones de nuestro Grupo en este campo:

(1) M. A. Respaldiza, J. Gómez-Camacho (eds.), *Application of Ion Beam Analysis Techniques to Arts and Archaeometry*, Edit. Secretariado de Publicaciones, Universidad de Sevilla, 1997.

(2) M. Luisa de la Bandera, B. Gómez Tubío, M. A. Ontalba, I. Ortega Feliu y M. A. Respaldiza, "Caracterización de orfebrería prerromana mediante técnicas nucleares de análisis no destructivos". "Metalistería de la Hispana Romana", Volumen XIII (edición especial) de la Revista "Sautuola". I.S.S.N. 1133-2166, pags. 113-128. Edita Consejería de Cultura y Deporte del Gobierno de Cantabria, 2007.

(3) I. Ortega_Feliu et al, "Non-destructive Characterisation of a Gilded Roman Ceiling Combining PIXE or XRF with γ-Ray Transmission", *Nuclear Instr. and Meth. in Physics Research B* 268(2010)1920-1923.

(4) A. Križnar, V. Muñoz, F. de la Paz, M. A. Respaldiza and M. Vega, "Portable XRF study of pigments applied in Juan Hispalense's 15th century panel painting", *X-Ray Spectrometry* 40(2011)96-100.

(5) I. Ortega-Feliu, B. Gómez-Tubío, M. A. Respaldiza, F. Capel, "Red layered medieval stained glass window characterization by means of micro-PIXE technique", *Nuclear Instr. and Meth. in Physics Research B*, en prensa.

(6) A. I. Moreno-Suárez et al, "Combining non-destructive nuclear techniques to study Roman leaded copper coins from Ilipa (II-I B.C.)", *Nuclear Instr. and Meth. in Physics Research B*, en prensa.

El Centro de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Junta de Castilla y León

Milagros Burón Alvarez
Directora. CCRBC de la Junta de Castilla y León

El Centro de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Castilla inicia su trayectoria en 1988 ocupando su sede actual en la localidad de Simancas (Valladolid). Depende orgánicamente de la Consejería de Cultura y Turismo de la Junta de Castilla y León y, en concreto, de la Dirección General de Patrimonio Cultural. Su creación se recoge en la Ley 10/1994, de 8 de julio, *de Museos de Castilla y León* y su estructura, funciones y régimen de prestación de servicios se regulan en el Decreto 98/1998, de 21 de mayo.

El Centro tiene asignada la función de conservar y restaurar el patrimonio cultural de Castilla y León, fundamentalmente los bienes muebles. Entre ellos se ocupa de aquellos que se custodian en centros gestionados por el Gobierno de la Comunidad Autónoma, como Archivos, Bibliotecas y Museos de Castilla y León, así como todos aquellos que cuenten con un régimen especial de protección como Bienes de Interés Cultural o incluidos en el Inventario de Bienes del Patrimonio Cultural de Castilla y León.

Desde el punto de vista de su estructura el CCRBC de Castilla y León está organizado en varios Departamentos especializados en las áreas de documento gráfico, pintura y escultura, materiales inorgánicos y textiles. Además se desarrollan intervenciones sobre piezas de orfebrería, cuero, patrimonio etnográfico y mobiliario. Estos Departamentos cuentan con el apoyo de un Laboratorio de imagen y fotografía y un área de carpintería y ebanistería.

Los criterios de intervención han venido marcados por la legislación vigente en materia de Patrimonio y a partir del año 2002, por la *Ley de Patrimonio Cultural de Castilla y León.* La planificación más específica se ha plasmado en el Acuerdo 37/2005, por el que se aprueba el *Plan de Intervención o Plan PAHIS* en el territorio de la Comunidad Autónoma en el periodo 2004-2012.

Dentro de este marco general, una de las directrices que orienta las acciones del Centro de Conservación y Restauración de Bienes Culturales es la investigación fundamentalmente a través del Laboratorio de Física y Química.

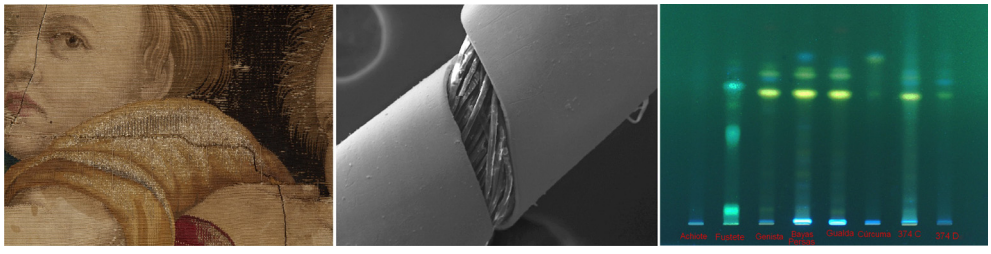


Figura 1. Tapiz de la Virgen de la Silla. Colegiata de Lerma (Burgos). Detalle de hilo entorchado al SEM. Cromatograma de colorante amarillo © A. Plaza, R. Martín e I. Sánchez

Además, en colaboración con otros centros de investigación y universidades se han desarrollado programas específicos para avanzar en el conocimiento de los bienes del patrimonio cultural mediante la aplicación de nuevas tecnologías. Algunos se han encuadrado en el ámbito de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología o dentro del Plan Nacional I+D, además de convenios y colaboraciones con las Universidades de Salamanca, Valladolid, Oviedo, Granada, la Politécnica de Cataluña, la Escuela Superior de Arquitectura del Vallés, el Instituto de Patrimonio Cultural de España o el Centro de Microanálisis de la Universidad Autónoma de Madrid. En la participación en Proyectos de Investigación del Plan Nacional I+D (CICYT) debemos reseñar "*El estudio y cuantificación de los efectos de la limpieza con láser sobre la piedra monumental*" dirigido por las Universidades de Oviedo y Granada.

En la actualidad, el Centro se encuentra integrado, como entidad colaboradora, en el proyecto "*Aplicación de tecnologías láser a la conservación y restauración de los metales arqueológicos*" *HAR2008-5175/HIST*, liderado por la Universidad Autónoma de Madrid.

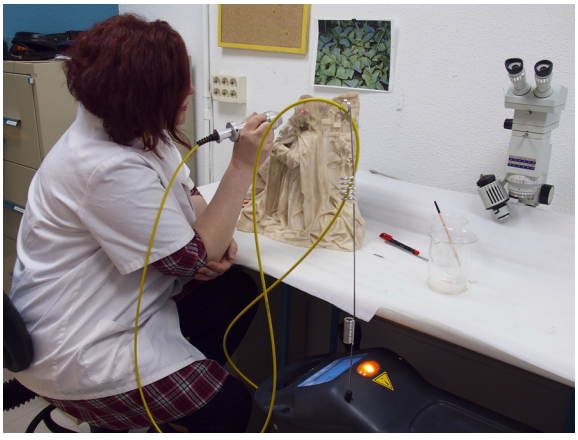


Figura 2. Aplicación de láser a la limpieza de un relieve de alabastro © A. Plaza.

Esta implicación responde al desarrollo de una de las vertientes prioritarias de investigación sobre la aplicación del láser al proceso de limpieza y restauración de bienes culturales. Aparte de su tradicional utilidad para desincrustación fotónica aplicada a limpieza de piedra, se ha testado su aplicación sobre otro tipo de soportes menos habituales, algunos de naturaleza inorgánica, como los metales, pero fundamentalmente para determinados materiales de origen orgánico, como los celulósicos, así como en el caso de los brocados o los textiles.

También es preciso enfatizar la labor realizada en cuanto a la realización de estudios o análisis previos relacionados con la protección y conservación de bienes inmuebles. Desde el Departamento de Materiales Inorgánicos, y en colaboración con el Laboratorio de Física y Química se han llevado a cabo los estudios que han precedido al diseño de una estrategia de intervención o de proyectos de restauración específicos en el Pórtico Occidental de la Catedral de

León, la fachada de la Iglesia de San Pablo en Valladolid, el Trascoro de la Catedral de Burgos, el sepulcro de los Santos Vicente, Sabina y Cristeta en la Iglesia de San Vicente en Avila y, más recientemente la Casa de las Conchas de Salamanca en colaboración con el IPCE. En la actualidad el Centro participa también en varios proyectos de investigación relacionados con bienes inmuebles de carácter arqueológico. Entre ellos podemos aludir al que se desarrolla en colaboración con la Universidad de Salamanca sobre "Interacción entre la roca soporte y pinturas rupestres prehistóricas frente a procesos de alteración y degradación" sobre varios yacimientos de arte rupestre de especial significación dentro de la Meseta. Más recientemente, a partir del año 2010 se ha reforzado y diversificado el trabajo sobre conjuntos de arte rupestre al comenzar a redactar un Plan de Conservación para la Zona Arqueológica de Siega Verde en Salamanca, incorporada en el pasado mes de julio a la Lista de Patrimonio Mundial, como ampliación de la declaración del yacimiento portugués de Foz Côa.

Además, desde algunos Departamentos del Centro se coordinan Programas específicos de estudio e intervención, como el *"Programa de Intervención sobre manifestaciones artísticas de la Semana Santa de Castilla y León"*. Este es uno de los Planes sobre bienes muebles que la Consejería de Cultura y Turismo ha puesto en marcha mediante la cooperación y concertación con las Juntas Locales y Hermandades de Semana Santa en diversas poblaciones de Castilla y León que cuentan con la distinción de haber sido declaradas de interés turístico nacional o regional.

Los estudios e intervenciones que se realizan desde el Centro se basan en criterios de integridad, singularidad y excelencia. Las obras que se tratan requieren generalmente de la acción integrada de profesionales de distintos ámbitos del conocimiento no sólo para detener el deterioro por el que se han visto afectadas, sino también porque debido a su singularidad, uso o significado, o por tratarse de elementos de culto o identitarios, requieren de un proceso más reflexivo y elaborado.

Figura 3: Plan de Intervención sobre manifestaciones artísticas de Semana Santa © A. Plaza y J.C. Martín.

Finalmente no podemos dejar de aludir a las funciones de difusión y divulgación que se realizan desde el Centro. Cada cinco años se dan a conocer los estudios realizados y obras intervenidas en la serie "*Catálogo de obras restauradas*" editada por la Consejería de Cultura y Turismo. Igualmente es habitual la participación del Centro en numerosos, congresos, reuniones y *simposia*, etc de carácter nacional e internacional, así como en cursos, jornadas especializadas y másters. Para favorecer la cooperación y el trabajo en red en los últimos años se han firmado varios Protocolos de Colaboración con instituciones que desarrollan su trabajo en ámbitos similares al del CCRBC de Castilla y León, como el Centro de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Región de Murcia, la Real Fábrica de Tapices o el Instituto Real de Patrimonio Artístico de Bélgica.

Agradecimientos

Queremos agradecer especialmente la colaboración de todo el equipo del CCRBC: Jesús Angulo Maldonado, Mercedes Barrera del Barrio, Paloma Castresana Antuñano, Cristina Escudero Remirez, José Javier Fernández Moreno, Cristina Gómez González, Juan Carlos Martín García, Rufo Martín Mateo, Mª Luisa Matres Manso, Pilar Pastrana García, Marisol Paúl Pérez, Alberto Plaza Ebrero, Isabel Sánchez Ramos, Nuria Simón Gijón, Consuelo Valverde Larrosa y Pilar Vidal Meler.

Bibliografía

Barrera, M., Escudero, C., Ynsa, M.D., Climent-Font, A. (2008) Application of Ion Beam Analytical (IBA) techniques for the assessment of laser cleaning on gilded copper (XIV Century cross). En *Lasers in the Conservation of Artworks. Proceedings of the International Conference LACONA VII*, Madrid, Spain, 2007. London, Taylor & Francis Group.

Burón, M., Martín, J.C., Gómez, C., Castresana, P., Matres, M.L., Escudero, C., Barrera, M. (2009) El Centro de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Castilla y León: Intervenciones recientes. En *Patrimonio Cultural de España*. Instituto de Patrimonio Cultural de España. Madrid, pp. 294-307.

Escudero, C., Barrera, M. (2009) Materia, técnica e imagen artística: La restauración de las Orantes de Andino (conjunto escultórico en bronce dorado y policromado). En MetalEspaña08 *-Congreso de Conservación y Restauración del patrimonio metálico*. Madrid.

Escudero, C., Gómez, C., Hernando, J.L. (2007) El Sepulcro de los Santos Vicente, Sabina y Cristeta en la Basílica de San Vicente de Ávila: Estudios previos y definición del criterio de intervención I. En *III Congreso grupo español IIC: La restauración infalible, de la teoría la realidad*. Oviedo.

Martínez, A., Escudero, C. (2007) Laser Cleaning In Historical Textiles: Analytical Review Of The Results Eight Years After Its Application. En *Lasers in the Conservation of Artworks. Proceedings of the International Conference LACONA VII, Madrid, Spain*. London, Taylor & Francis Group.

Prieto, C., Sanz A., Escudero, C., Martínez, A. (2008) FT-Raman study of photoablation effect on ancient linen fabrics. En *GeoRaman'08 - 8th International Conference on Raman Spectroscopy Applied to the Earth Sciences*. Sensu Latu, Ghent, Belgium.

Geomnia Natural Resources SLNE - ARTCHEMIST

E. Sanz-Rubio, S. Cuezva, G. de Montaud
La Cantera de Empresas. Polígono Industrial P5. Anastasio Nieto 11, oficina 25. 28400 Collado Villalba, Madrid, España. E-mail: esanz@geomnia.es

Geomnia Natural Resources SLNE (Geomnia) es una joven empresa creada en 2008 dedicada a actividades de I+D+i sobre Ciencias de la Tierra, consultoría geológica en exploración, prospección y gestión de los recursos naturales (energéticos, minerales, patrimoniales e hídricos) y que desarrolla su actividad como nexo de unión dentro del Sistema Ciencia-Tecnología-Empresa. Geomnia es un proyecto empresarial dirigido por promotores con experiencia en I+D, tanto en investigación científica como investigación aplicada desarrollada en entidades privadas y que han participado en proyectos de investigación nacional e internacional, convenios con empresas y administraciones y atesoran numerosas publicaciones internacionales y nacionales. Una gran parte de esta experiencia se focaliza en el campo de la Conservación y Gestión del Patrimonio Histórico-Natural.

Desde su creación a principios de 2008, Geomnia ha establecido colaboraciones con OPIs, universidades y fundaciones en el marco de una serie de proyectos que tienen relación directa, en abundantes casos, con la conservación del Patrimonio Histórico-Natural. Entre las colaboraciones activas se puede destacar el Grupo de Investigación Multidisciplinar del Dpto. de Geología del Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid (CSIC), el Grupo de Investigación de Petrología Aplicada de la Universidad de Alicante, el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, la Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis o el Museo Arqueológico Nacional, entre otros.

Los servicios que Geomnia presta a estos organismos se basan en la aplicación de Sistemas de Información Geográfica, la caracterización petrológica y geoquímica, modelización geológica, asesoría geológica, etc. En otras ocasiones, Geomnia busca recursos en estos organismos para participar en los proyectos de exploración, gestión y puesta en valor de los recursos naturales que desarrollan las empresas privadas.

En 2009-2011, Geomnia ha desarrollado un proyecto de investigación industrial (Subprograma Torres Quevedo) con la finalidad de la creación de un departamento/laboratorio de carácter informático-digital enfocado a la reconstrucción y modelización tridimensional de entidades y procesos geológicos. Una de las áreas temáticas de actuación ha sido la gestión y conservación del Patrimonio Histórico-Natural. En 2011 se ha iniciado un nuevo proyecto de investigación industrial (Subprograma Torres Quevedo) consistente en la determinación de aplicaciones científico-industriales de la monitorización de gases de origen endógeno (^{222}Rn y CO_2). Una de las aplicaciones que se pretende desarrollar es su uso en la caracterización microambiental de cavidades kársticas u otros ambientes hipogeos que albergan elementos del Patrimonio Histórico-Natural a conservar.

En el campo de la geoarqueología, Geomnia presta asesoramiento geológico en las excavaciones de Heracleópolis Magna en Ehnasya El Medina (Egipto) que

realiza el Museo Arqueológico Nacional y la Fundación Heracleópolis Magna. Otro de los campos de reciente y creciente interés es el del Patrimonio Minero. En este sentido Geomnia participa en colaboración con la empresa Artchemist en un proyecto subvencionado por el Ministerio de Cultura cuyo objeto principal es promover la difusión cultural del trazado histórico del denominado "Camino Real del Azogue". Se trata de una vía que se convirtió a partir del Siglo XVI en una de las más importantes de la Península Ibérica por el interés de la Corona en el control de la producción de azogue (mercurio) en las Minas de Almadén (Figura 1) y su transporte hasta Sevilla para su posterior envío a América. Después del descubrimiento del proceso de amalgamación de la plata con mercurio, el abastecimiento de azogue a las minas de plata americanas fue de vital importancia para la financiación de la monarquía española y la colonización americana.

Figura 1. Parque Minero de las Minas de Mercurio de Almadén (Ciudad Real).

AIPA. Análisis e Intervención en el Patrimonio Arquitectónico

J. Monjo, S. Mora, D. Sanz
ETSA-UPM, Avda. Juan de Herrera, 4 - 28040 MADRID. E-mail: juan.monjo@upm.es

Este grupo de investigación de la UPM se puede describir de la siguiente manera:

Investigador principal. Juan Monjo Carrió, Dr. Arquitecto, Catedrático de Universidad.

Equipo investigador. Está conformado por los siguientes profesores:
Celia Barahona Rodríguez. Dr. Arquitecto
Rosa Bustamante Montoro. Dr. Arquitecto
Alicia Castillo Mena. Dra. Arqueóloga
Miguel Fernández Cabo. Dr. Arquitecto
Gregorio García López de la Osa. Dr. Arquitecto
Soledad García Morales. Dra. Arquitecta
Félix Lasheras Merino. Dr. Arquitecto
Juan Monjo Carrió. Dr. Arquitecto
Susana Mora Alonso-Muñoyerro. Dra. Arquitecta
Pilar Rodríguez Monteverde. Dra. Arquitecta
Antonio Rodríguez Ridríguez. Arquitecto
David Sanz Arauz. Dr. Cc. Geológicas

Áreas de investigación. Se distinguen 4 áreas principales en las que se desarrollan los trabajos del grupo, a saber:

Estudios sobre conservación e intervención
Principios de conservación. Planteamiento multidisciplinar.
Estudios sobre la historia de la construcción.
Conservación y sostenibilidad en la intervención en edificios históricos.
Accesibilidad universal en el patrimonio arquitectónico.
Pautas de mantenimiento de los edificios intervenidos.
Terminología de la conservación e intervención.

Patología y diagnóstico
Patología de la edificación.
Comportamiento y durabilidad del edificio, sus sistemas, elementos y materiales.
Evaluación de daños en edificios históricos. Estudios patológicos.
Toma de datos y ensayos, en el sitio y en laboratorio.
Informes diagnósticos sobre el patrimonio arquitectónico.
Seguimiento de los edificios intervenidos.

Tecnología y materiales para la intervención
Materiales y elementos constructivos tradicionales.

Normativa técnica y patrimonio arquitectónico.
Técnicas de refuerzo y estabilización.
Nuevas técnicas constructivas en conservación, restauración y rehabilitación.
Nuevos materiales en conservación, restauración y rehabilitación.
Sistemas y técnicas de instrumentación y monitorización.

Actividades de intervención y gestión
Planes directores sobre el patrimonio arquitectónico.
Legislación y patrimonio arquitectónico.
Proyectos de rehabilitación y restauración.
Planes de conservación de edificios históricos.
Seguimiento de los edificios intervenidos.
Gestión para la sostenibilidad de la intervención en el patrimonio arquitectónico.

Líneas de investigación preferente. Asimismo, se distinguen 4 líneas de investigación, que se definen como preferentes, y en las que el grupo se considera especialmente preparado, a saber:

Métodos y técnicas de estudios patológicos y diagnóstico en el patrimonio construido

Metodología general del diagnóstico; programación adecuada y método para asegurar que se abarcan todos los aspectos necesarios.
Carácter científico, con el uso de las herramientas de precisión adecuadas, que permitan sustentar los resultados y facilitar su seguimiento y repetibilidad.
Definición de problemas patológicos tipo, con identificación de prestaciones básicas afectadas y técnicas para la determinación objetiva de los fallos o pérdidas prestacionales sufridas, y materiales, elementos y sistemas constructivos implicados, etc.

Herramientas adecuadas para un correcto análisis patológico; programas digitales para el levantamiento de los mapas de lesiones (fotogrametría, escáner 3D, realidad virtual, etc.); ensayos no destructivos para estudios no agresivos (radiografía, ultrasonido, endoscopia, comparadores, etc.); modelos matemáticos para definir y analizar los procesos patológicos.
Estudio de las interrelaciones de los diferentes materiales, elementos y (sub)sistemas constructivos en los posibles problemas patológicos del edificio.

Humedades en edificación

Una *mejor comprensión de los fenómenos patológicos* relacionados con la humedad: es decir, avanzar en la definición y clasificación de los diferentes estados patológicos y sus causas.

La mejora de la *metodología y técnicas diagnósticas*: tanto las de laboratorio como las técnicas "in situ", que suelen ser las más útiles.

La *optimización de las soluciones constructivas de reparación o prevención* existentes, relacionando el diagnóstico con dichas soluciones: es decir, definiendo qué solución es adecuada para cada problema

El desarrollo de *nuevas técnicas de intervención o soluciones constructivas*: colaborando con empresas del sector.

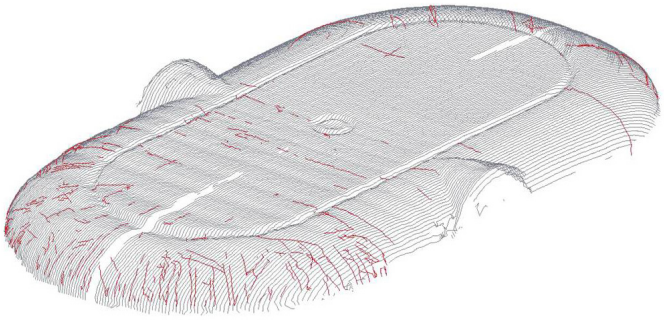


Figura 1. Imagen obtenida por escáner de deformaciones y fisuras de la bóveda encamonada del Salón de Plenos del Palacio del Senado de España.

Figura 2. Toma de datos de humedades con humidímetro de sonda.

Morteros históricos en el patrimonio arquitectónico

Esta línea persigue el progreso del conocimiento básico y aplicado sobre la naturaleza y el comportamiento de los morteros presentes en los edificios del Patrimonio Arquitectónico, de cara a su catalogación, conservación y restauración. Para ello se procede mediante la caracterización instrumental de los morteros históricos y el estudio experimental de sus componentes.
Así mismo, se investiga en la formulación y desarrollo de nuevos materiales de reparación-reposición compatibles con los restos a conservar y con los soportes existentes.

Seguimiento de intervenciones en el patrimonio arquitectónico

El proceso de restauración/intervención, es el momento en que muchas incógnitas se despejan, pudiendo surgir otras. Lo proyectado, deberá poder ser modificado en función de lo encontrado, pues deberá prevalecer el monumento/documento. Habrá que prever mecanismos para poder gestionar adecuadamente las modificaciones.

Se trata, pues, de un proceso en varios tiempos, que no termina con la intervención, sino que habrá que seguir y evaluar los resultados mediante un seguimiento del edificio, y esto debería hacerse de forma global y en todos sus aspectos (histórico, cultural, funcional y constructivo) para ver si han conseguido

los fines que se perseguían. Si no fuera así, deberán ponerse los medios para realizar las oportunas correcciones.

Figura 3. Grupo San Bartolomé de Atienza, Guadalajara.

MATERIAYARTE. Investigación interdisciplinar para la conservación del patrimonio a través del conocimiento material y técnico

María Arjonilla Alvarez, Joaquín González González, Juan Manuel Calle González, Rosa Moreno Rodríguez, Juan José Lupión Alvarez, Mª Mar González González, Pablo Rodríguez Ruíz, Teresa Rodríguez García, Alfonso Buendía Martos, David Triguero Berjano, Lola Murga Peinado.
Universidad de Sevilla, Facultad de Bellas Artes, Laraña 3, 41003 Sevilla. E-mail: maar@us.es

Introducción

Este grupo de trabajo se configura con un carácter multidisciplinar dentro de las Bellas Artes, con distintos profesionales ligados al entorno de la investigación experimental desde perspectivas complementarias.

Se aúnan así especialistas y docentes en Procedimientos y Técnicas Pictóricas, Pintura Mural, Cerámica, Fotografía, Informática, Diseño digital y Conservación Restauración. Y mantenemos asiduas colaboraciones con otros equipos de investigación, como el dirigido por el Dr. Pedro J. Sánchez Soto, desde el Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (CSIC), y otros centros de interpretación especializados en exámenes mediante distintas emisiones electromagnéticas. Aunque el objetivo prioritario en nuestro caso no es tanto la caracterización de las muestras, sino su interpretación en el contexto de la obra, el estudio, la experimentación y la reflexión crítica relacionada con la materialización del hecho artístico persigue dos aspectos fundamentales:

- el conocimiento de los materiales y las técnicas de aplicación relacionados con la génesis creativa,
- la comprensión de los fenómenos asociados al envejecimiento y deterioro de los materiales que constituyen los bienes.

Los miembros de este equipo mantienen estrecha vinculación con la Universidad de Sevilla, el Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, Consorcio de Artesanos Della Robbia, el Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Bellas Artes de Andalucía, la Fundación Real Maestranza de Caballería de Sevilla, entre otros.

Una de las líneas de trabajo que iniciamos en nuestra andadura pretende proporcionar el marco ideal para cotejar y establecer relaciones entre las metodologías científicas de más actualidad, aplicadas al estudio del patrimonio, y los sistemas de examen más convencionales de las humanidades (el examen organoléptico, la consulta de fuentes documentales antiguas y contemporáneas…).

En esencia, las líneas de investigación y actuaciones emprendidas se han dirigido fundamentalmente, hacia la divulgación de *nuevas formas de ver el patrimonio*, manifestando un especial interés por la apreciación de cuestiones materiales y técnicas.

Considerando La conservación material comienza por la puesta en valor de las características materiales y técnicas que definen cada obra. Cada uno de los materiales empleados para su materialización es tomado como documento indispensable para la comprensión del mensaje y el contexto espacio-temporal en el que se definen. Mediante *distintas técnicas de análisis multidisciplinar,* se estudian y caracterizan las producciones artísticas de distintas épocas, con especial protagonismo de la pintura y policromías barrocas. Así se establecen con corrección *estrategias adecuadas para su conservación y restauración* aplicando los criterios más acordes.

Proyectos vinculados al Patrimonio Cultural

Las líneas de investigación e intervención llevadas a cabo hasta la fecha se han desarrollado en distintas instituciones relacionadas con la custodia de conjuntos patrimoniales (museos, fundaciones, colecciones privadas, hermandades, conventos y parroquias).

Entre las últimas actuaciones del grupo, queremos destacar el proyecto *Estrategias interdisciplinares para la conservación preventiva y curativa de conjuntos patrimoniales no museísticos,* financiado por la Fundación Focus Anbegoa y el Plan Propio de la Universidad de Sevilla a través de una ayuda I+D+I (2011), cuya experiencia pionera se está desarrollando en el Hospital de la Santa Caridad de Sevilla, en colaboración con el Servicio de Prácticas de la Universidad de Sevilla.

En el marco del posgrado en Bellas Artes, se está llevando a cabo el proyecto *La investigación de la Pintura a través de la documentación técnica: recursos fotográficos y otros medios interdisciplinares para el conocimiento de los materiales y técnicas pictóricas,* financiado por el departamento de Innovación y Mejora Docente de la Universidad de Sevilla (2011).

Figura 1. *San Telmo,* pintura anónima catalogada h. 1550 (Museo de Bellas Artes de Sevilla). Animación en 3D de su génesis constructiva.

Producciones destacadas en materia de divulgación (cursos, congresos, artículos y actas de congresos)

Entre las actividades a destacar queremos hacer mención de la creación de productos visuales mediante aplicación de las nuevas tecnologías 3D (Figura 1), gráficos, videos y fotografías técnicas, recreaciones virtuales (Figura 2), y publicaciones de artículos en revistas científicas, presentación de resultados relevantes en seminarios y congresos, conferencias, dirección de proyectos de intervención, tutorización de prácticas formativas en distintos centros del Patrimonio Histórico y Cultural, dirección de proyectos financiados y becas,

dirección de tesis y trabajos de investigación tutelados en posgrados y doctorados.

Figura 2.La tabla del *Descendimiento* de Pedro de Campaña (s. XVI) en su ubicación actual: cabecera de la Sacristía Mayor de la Catedral de Sevilla. A la derecha reconstrucción virtual de la extinta capilla de Sta. Cruz, según descripción de fuentes literarias.

Capacidad formativa del grupo: dirección de tesis y DEA más recientes

Lupión Álvarez, J.J., (2011) Tesis Doctoral: *Conservación-restauración de los materiales cerámicos aplicados en arquitectura. Factores, mecanismos e indicadores de alteración. Degradación por sistemas salinos.*

Peña Reina, C. (2010) Trabajo de investigación tutelado y DEA: *El Arte entre la ciencia y la inconsciencia.*

Blasco Aguirre, C. (2008) Trabajo de investigación tutelado y DEA: *Del yacimiento arqueológico al museo: el material paleontológico. El papel del conservador-restaurador.*

Durán Domínguez, G. (2008) Trabajo de investigación tutelado y DEA: *Procesos fotográficos digitales para la documentación gráfica en la Conservación-Restauración del Patrimonio: hacia una propuesta de normalización.*

Sánchez Fernández, A.J. (2007) Trabajo de investigación tutelado y DEA: *Los metales arqueológicos. Una aproximación a la conservación y restauración de los bronces.*

Gutiérrez Fernández, I. (2011) Trabajo de investigación tutelado y DEA: *Daños no convencionales sobre obras de arte. 10 estilos de vandalismo al microscopio.*

Aguilar Jiménez, J.A. (2010) Trabajo de investigación tutelado: *Factores de alteración en imágenes devocionales en las hermandades y cofradías sevillanas.*

Rodríguez García, T. (2011) Trabajo de investigación tutelado: *El albayalde. Estudio y reproducción de su manufactura artesanal.*

Murga Peinado, L. Tesis Doctoral (en proceso): *Evolución y evaluación de la fotografía. La reflectografía de infrarrojos y la radiografía aplicadas a la conservación de los bienes muebles. Una revisión crítica.*

Entre las últimas publicaciones:

Calle, J.M., Arjonilla, M., González, J. y Martínez, G. (2009) Proceso metodológico para la recreación virtual del contexto original del Descendimiento de Pedro de Campaña (S. XVI. *Actas del IV Congreso del GeIIC. La restauración en el siglo XXI. Función, estética e imagen*. Cáceres, pp. 303-310.

Lupión J.J., Arjonilla Mª, González J., Ruiz, A. and Sánchez P.J. (2009), Ceramic terminology: an approach to a basic glossary about deterioration factors and pathology, En *International Seminar Conservation of Glazed Ceramic Tiles, Research and Practice*, Lisboa, Project Eu-Artech, INEC.

Arjonilla, M. (2008) El conocimiento y la conservación de los Bienes Culturales a través de estrategias interdisciplinares. En *Innovaciones en las tecnologías de la Información Aplicadas a la Conservación del Patrimonio.* Asociación de Gestores de Culturales de Extremadura-Universidad de Extremadura. Cáceres, pp. 87-96.

Lupión J.J., Arjonilla Mª, Alarcón J.J., Ruiz A. y Sánchez P.J. (2008) Degradación de materiales cerámicos aplicados en Arquitectura: factores de influencia, mecanismos e indicadores de alteración, *Libro de Resúmenes Congreso Anual de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio (SECV), XLVIII Congreso de la SECV*, Oviedo.

Durán G., Arjonilla Mª, Ruiz A. y Sánchez P.J. (2008) Investigación interdisciplinar sobre estado de conservación de negativos fotográficos en la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Sevilla. En *Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural, Novena Reunión: Avances recientes en la investigación sobre Patrimonio,* Sevilla.

Arjonilla Mª, Durán G., Ruiz A. y Sánchez P.J. (2007) La interdisciplinariedad en la Conservación de los Bienes Culturales: análisis de muestras de pigmentos afectados de cambios degenerativos. En *La Conservación infalible, de la teoría a la realidad*, Tercer Congreso del Grupo Español del IIC, Oviedo, pps. 387-396.

Lupión Alvarez J.J., Arjonilla Alvarez Mª, Sánchez-Soto P.J. y Ruiz-Conde A. (2006) Los paños cerámicos del retablo de San Juan Evangelista de la Iglesia del Convento de Madre de Dios de Sevilla: autoría, patología y propuesta de intervención. En *Mus-A:* Revista de las Instituciones del Patrimonio Histórico de Andalucía, núm. 7, pp. 124-127.

Arjonilla Mª, Durán G., Ruiz A. y Sánchez P.J. (2006) De lo visible a lo invisible: la génesis de la pintura a través de la aplicación de las radiaciones electromagnéticas. En *Actas del I Congreso Internacional de Educación Artística y Visual. Ante el reto social. Cultura y territorialidad en Educación artística*, Sevilla, ed. Colbaa.

Lupión J.J., Arjonilla Mª, Ruiz A. y Sánchez P.J. (2006) Frontal de altar y paneles cerámicos del siglo XVI en la iglesia del Convento Madre de Dios (Sevilla): estado de conservación y reconstrucción virtual. En *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio,* 45, pp. 305-313.

SIT Grupo Empresarial

G. Andrade, A. Ortega
SIT Grupo Empresarial

SIT es una empresa que mantiene una constante evolución y desarrollo desde su fundación hace 50 años.

En los años 70 el concepto de exposición temporal se establece como algo conocido y popular en el mundo internacional del arte. SIT, líder en este campo, ha colaborado estrechamente en la incorporación de España a estos eventos participando en las principales actividades culturales que han marcado estos años en la historia de nuestro país.

El retorno del Guernica de Pablo Picasso, el traslado del templo Egipcio de Debod y la mayoría de las grandes exposiciones de arte celebradas en estos años son trabajos en los cuales SIT ha demostrado su eficiencia y ha definido los estándares de calidad que nos distinguen y otorgan confianza. Esto es posible gracias a la continua perseverancia de un equipo multidisciplinario comprometido con su actividad, que entiende y conoce las peticiones de sus clientes.

El Departamento de Obras de Arte y Exposiciones de SIT, integra y ofrece servicios como investigación y desarrollo de proyectos expositivos y de almacenaje, transportes especiales, servicio de aduanas y documentaciones varias, servicio de escoltas, agencia de viajes, seguros, consultoría en conservación preventiva.

Nuestros sistemas de embalaje cumplen con las regulaciones más exigentes. Como resultado de nuestra investigación hemos desarrollado el sistema SPS (Suspension Packing System) que se adapta a diferentes dimensiones de obra, ETTRAMED que proporciona control climático independiente y continuo, y SCS que combina los sistemas de suspensión con un sistema de caja doble ofreciendo la mejor protección frente a vibraciones, impactos y cambios ambientales.

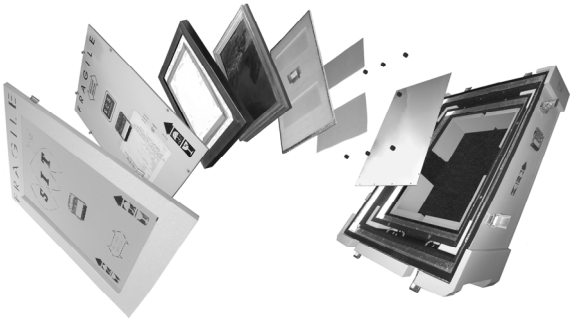


Figura 1. Ejemplo de caja doble tipo SCS y marco microclimático en su interior.

Desde el año 1992 SIT trabaja bajo normativas internacionales y homologaciones de laboratorios oficiales de embalaje creando protocolos y metodologías en cualquier aspecto que requiera cambios o mejoras según los objetos a transportar y los nuevos materiales que surjan para esta finalidad. Una

vez embaladas la obras, contamos con las instalaciones específicamente adaptadas para el almacenaje de colecciones artísticas con climatización rigurosamente regulada y áreas de alta seguridad con vigilancia presencial las 24 horas.

En nuestro Departamento Técnico, encargado de las actividades de investigación y desarrollo, diseñamos, producimos y distribuimos una amplia gama de sistemas de soporte y sujeción para resolver cualquier necesidad de manipulación, montaje o exposición. Apoyando la diversidad de actividades que desarrollan los equipos técnicos en los museos, ofrecemos una completa selección de instrumentos y herramientas para el monitoreo y control de parámetros ambientales. Contamos también con la más completa gama de materiales para la conservación de obras de arte, entre los que se distinguen los non-woven microperforados, materiales de protección y amortiguantes neutros y calidad museo, mitigadores de acidez, contaminantes y agentes biológico del deterioro.

Ofrecemos los más avanzados y precisos sistemas de climatización adecuados para la conservación de obras frágiles y delicadas, los cuales se adaptan e instalan a casi cualquier equipamiento expositivo o de almacenaje (aún en el caso de haber sido fabricado por nosotros). Realizamos tratamientos para erradicar ataques biológicos en cámaras especialmente diseñadas para desinfecciones con nitrógeno, digitalización 3D de superficie de obras, previamente y posterior a sus traslados para garantizar su buena conservación, fotografía digital infrarroja, imágenes por ultrasonido o radiología en todos los casos adaptados y especializados para obras de arte.

Como parte de nuestro más reciente campo de desarrollo, los proyectos de sistemas de almacenaje han ocupado la mayor atención de nuestro Departamento Técnico. En esta especialidad destacan los almacenes del Museo de la Ciudad de Barcelona 2005, almacenes del Museo de arte Contemporáneo de Madrid (Conde Duque) 2006, almacenes de la ampliación del Museo del Prado (Edificio Moneo) ejecutados entre 2006-2007, almacenes de la ampliación del Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofia 2010-2011.

Figura 2. Imagen del sistema de mamparas extraíbles del Museo del Prado.

Desarrollo y fabricación de unidades expositivas tales como vitrinas u otros expositores y sistemas de almacenaje con la más alta calidad en sus materiales y mecanismos. La exclusiva gama de marcos microclimáticos desarrollado por SIT desde principios de los años 90, se ha establecido como una solución práctica y eficiente para estabilizar y mantener un adecuado ambiente para la conservación de los objetos microclimatizados (pinturas sobre tabla o lienzo, textiles, documentos y otras topologías de obras delicadas como enconchados, plumería, marqueterías, etc…) en el interior del microambiente se controla la humedad relativa, temperatura, luz y calidad de aire, además de ser una barrera física de protección frente a posibles contactos, agresiones o contaminantes. Figura 1

Estos sistemas han sido testados en los Proyectos Europeos de Investigación PROPAINT y MEMORI.

Proyectos Europeos de Investigación para la Conservación del Patrimonio en los que SIT participa como socio.

PROPAINT (Mejoras en la protección de pinturas durante la exposición, almacenaje y transito. EU FP6 Supported Research Project: SSPI-044254, 2007-2010) Enfocó su trabajo en los siguientes objetivos:

- Evolución del efecto protector de los marcos microclimáticos para pinturas.
- Evaluación del estado físico-químico y efecto protector del barniz sobre las pinturas
- Contribución de las estrategias de conservación preventiva en los estandares para el control microclimático
- Optimización de los controles para la microclimatización y su implicación en el diseño de nuevos y más eficientes marcos microclimáticos.

El informe final de este proyecto esta disponible en propaint.nilu.no. Como parte del proyecto PROPAINT se realizaron diversos acercamientos a museos europeos con experiencia y practica en el uso de contenedores microclimáticos para conocer su opinión enfoque y comentarios sobre este tipo de equipamientos para la conservación, se realizaron completos trabajos de laboratorio y diversas pruebas de campo para evaluar el impacto combinado de las condiciones ambientales y los contaminantes sobre sistemas microclimatizados. También dentro de este proyecto, se incorporaron tres nuevas tecnologías de dosimetría desarrolladas en Proyectos Europeos similares previos (Early Warning Dosimeters de MASTER, AMECP y MIMIC) para establecer y cuantificar la presencia de contaminantes ambientales en el entorno de bienes culturales.

Los resultados de estas pruebas y estudios de los marcos microclimáticos y barnices de protección han sido utilizados para perfeccionar el diseño y fabricación de este tipo de equipamientos y establecer líneas guía para contribuir en los estándares y recomendaciones del uso de sistemas microclimatizados en la conservación.

MEMORI (Mediciones, efectos y mitigación del impacto de contaminantes sobre bienes culturales muebles. Transferencia al mercado de la dosimetría aplicada. EU FP7 Supported Collaborative Project: 265132).

El principal objetivo del Proyecto Europeo de Investigación MEMORI es el de proveer a los profesionales de la conservación con nueva tecnología para la detección temprana, con técnicas simplificadas y no destructivas, de la presencia de vapores contaminantes en el ambiente y el potencial riesgo de los bienes culturales que estén en contacto con ellos, incluyendo una estrategia preventiva que asegure la conservación de obras protegidas en equipamientos expositivos.

El nuevo instrumento de dosimetría desarrollado por MEMORI evaluara los impactos de oxidación y acidez en el ambiente, incluirá un lector calibrado hacia los materiales orgánicos con la prestación de poder realizar y conocer resultados de calidad de aire con pruebas sencillas e in situ con la ayuda de una conexión en línea que permita determinar el riesgo de deterioro por causa de contaminantes ambientales orgánicos e inorgánicos.

El proyecto realiza una avanzada analítica con técnicas no destructivas para comprender el impacto y degradación de ácidos orgánicos sobre objetos vulnerables y determinar los parámetros tolerables en el ambiente para la conservación del patrimonio cultural. MEMORI contribuye también a establecer y mejorar los métodos de mitigación que minimizan la presencia de contaminantes en el entorno de los objetos, recomendando los productos y materiales más efectivos para este fin dentro de las estrategias de conservación preventiva vigentes.

Para una empresa como SIT, la participación en Proyectos Europeos de Investigación compartiendo y enriqueciendo su experiencia con Instituciones de primer nivel como NILU (Instituto Noruego de Investigación del Aire), Fraunhofer (Alemania), Birkbeck College (Inglaterra), Universidad de Pisa (Italia), Universidad de Gante (Bélgica), Universidad de la Ciudad de Dublín (Irlanda), Universidad de Recursos naturales de Austria, Universidad de las Artes de Rumania, Galleria Tate de Londres, Academia Danesa de Conservación, English Heritage y Museo Nacional de Cracovia (Polonia), ha permitido que encontremos las mejores soluciones y mejoras en nuestros sistemas, materiales, equipamientos y estrategias de conservación y a su vez poderlas ofrecer a nuestra extensa relación de clientes en España y en el extranjero.

www.sitspain.com

Arqueometría y Patrimonio de la Cerámica y el Vidrio

C. Pascual, E. Criado, F. Capel y P. Recio
Instituto de Cerámica y Vidrio. CSIC. Kelsen 5. 28049 Madrid. E-mail: cpascual@icv.csic.es

Arqueometría y Patrimonio en el Instituto de Cerámica y Vidrio

El importante desarrollo de la Ciencia y Tecnología de los Materiales en las últimas décadas ha incidido de manera decisiva en el nuevo concepto de las Humanidades como Ciencias Sociales y en el reconocimiento del papel que tiene el estudio de los materiales históricos en la reconstrucción del contexto histórico y cultural de las civilizaciones.

Entre los materiales, la cerámica y el vidrio, al permanecer prácticamente inalterados con el paso del tiempo, están presentes en los restos arqueológicos de todas las civilizaciones desde el Neolítico hasta nuestros días. La Venus de Vestonice, una figurita de arcilla cocida, data de hace 25.000 años y desde entonces cada civilización quedó reflejada en estos materiales que formaron parte de sus construcciones y sus objetos ornamentales, instrumentales y de uso doméstico. La evolución de la cerámica y el vidrio fue fruto de los trasvases tecnológicos y artísticos y su conocimiento es uno de los instrumentos claves para evaluar las corrientes culturales desde tiempos muy remotos.

La demanda social del análisis científico de los materiales históricos procede no sólo del campo de la Arqueología, sino que también es un requerimiento en la conservación del Patrimonio Cultural. El establecimiento de las principales características de los distintos tipos de cerámica y de vidrios históricos y la consecuente identificación de sus materias primas y su proceso de fabricación constituye la base en la que necesariamente han de fundamentarse los trabajos de autenticación, protección y restauración de los elementos materiales del Patrimonio Cultural.

En la conservación del Patrimonio Cultural de la cerámica y el vidrio, esta línea de trabajo del Instituto de Cerámica y Vidrio se amplía hacia la recuperación de los elementos no materiales del Patrimonio, esto es la investigación de los modos de fabricación, su evolución en el tiempo y, en la épocas más modernas, el estudio del contexto histórico, y también del emergente contexto científico y tecnológico en el que se desarrollaron estas producciones.

Objetivos y planteamiento de los proyectos de investigación

La línea de trabajo de Arqueometría y Patrimonio del Instituto de Cerámica y Vidrio, tiene como objetivo primordial la aplicación de las técnicas analíticas más avanzadas y los conocimientos científicos y tecnológicos actuales de este campo en el estudio de los materiales históricos. Dentro de este objetivo se considera la evaluación del alcance y la validez de los métodos de análisis no destructivos y la caracterización de los materiales in-situ.

Esta acción, siguiendo las tendencias más innovadoras en el campo de la Arqueometría, ofrece la sistematización de los datos sobre las propiedades físico-

químicas y la constitución elemental, mineralógica y microestructural de las muestras procedentes elementos arquitectónicos, prospecciones arqueológicas y colecciones de museos y anticuarios.

La línea de actuación, que comenzó como una línea transversal del Instituto, es desarrollada actualmente por un grupo de investigación estable aunque siempre abierto y en comunicación con el resto de líneas de actuación del Centro. La aproximación al estudio de los materiales arqueológicos considerando conjuntamente distintas técnicas se actualiza progresivamente con las innovaciones del resto de los grupos y líneas de actuación del ICV.

Teniendo en cuenta que la Arqueometría ha de actuar como interfaz entre las ciencias sociales y las ciencias experimentales, la investigación se plantea en proyectos multidisciplinares con la colaboración y ayuda de historiadores y conservadores de museos y Patrimonio Nacional y expertos en nuevos métodos y técnicas de caracterización

Desarrollos actuales

El proyecto de investigación "Conservación del Patrimonio Cerámico Nacional. Estudio de La Evolución Científica Y Tecnológica mediante Técnicas Analíticas Avanzadas de La Porcelana en la España del Siglo XVIII" (MAT 2007/62601) ha dado origen a las siguientes colaboraciones y proyectos:

Patrimonio Nacional y MAN

"La porcelana de Buen Retiro como elemento arquitectónico en los Reales Sitios"

El gabinete de porcelana del Palacio Real de Aranjuez es el mayor exponente a nivel europeo de la porcelana como elemento arquitectónico. La Figura 1 muestra la cubierta de oro, el vidriado de plomo y la base de porcelana en un corte transversal. El análisis mediante EDS acoplado a FE-SEM indica la composición de la porcelana tierna que se fabricó en la primera etapa de Buen Retiro.

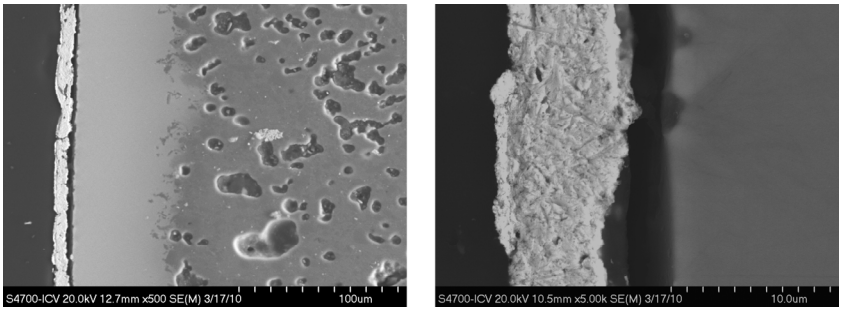


Figura 1. Microestructura de la porcelana del Gabinete de Aranjuez.

Esta metodología permite un análisis mínimamente invasivo sobre los pequeños fragmentos procedentes de restauraciones. El estudio del Gabinete del Palacio Real de Madrid que muestra variaciones muy interesantes en la micro-estructura de la porcelana ha sido un elemento clave en la datación del final de la primera etapa de la Fábrica de Buen Retiro. El estudio de los gabinetes se ha

completado con la observación de las placas de la Casita del Príncipe de El Escorial.

Museo Arqueológico Nacional
"Paralelismo e influencia de la porcelana europea (Meissen, Capodimonte, Sèvres, Wedgwood…) en el desarrollo de la porcelana de Buen Retiro"

En este trabajo se ha iniciado con el estudio de los *Jaspers* de Wedgwood, una pasta formulada con barita a partir de 1770. Las placas de El Escorial, de la misma época, también contienen bario en su composición pero una microestructura diferente. En el trabajo se ha establecido una secuencia de producción distinta de la conocida formula de Wedgwood, que puede explicar estas diferencias y el desarrollo mineralógico de la pasta española.

Musée National Adrien Dubouché. Limoges
"La producción de porcelana en Francia y su conexión con la factoría de Buen Retiro"

Museo de Cerámica de l'Alcora
"Estudio de restos de porcelana de la Fábrica de Alcora."

El estudio está encaminado a la recuperación arqueológica del solar de la Fábrica, actualmente en el centro de la ciudad. Además de las pastas estudiadas en el proyecto del Plan Nacional se han encontrado otras composiciones, seguramente intentos de fabricar la pasta dura.

El estudio de otros materiales cerámicos incluye

Museo Arqueológico Nacional
"La loza esmaltada y la tierra de pipa de Alcora"

La loza de Alcora es considerada como la de más alta calidad de las fabricadas a lo largo del siglo XVIII en Europa. Las series más apreciadas por museos y coleccionistas son las que se fabricaron entre 1727 y 1760. Nuestro grupo ha podido establecer los elementos diferenciadores de esta cerámica frente a la de otras producciones como la faience de Moustiers.

Departamento de Geología y Geoquímica. UAM
"Cerámica mudéjar de Arévalo"

Procedente de una prospección arqueológica que incluye, junto a piezas más comunes con una o las dos superficies recubiertas por un vidriado monocromo, lozas de indudable calidad decoradas en "verde y manganeso", características la artesanía mudéjar de los siglos XIV y XV y lozas con decoración "azul cobalto" y/o "reflejo dorado", con temáticas similares a las producciones del Levante Peninsular en la Baja Edad Media.

La Figura 2 muestra a la izquierda la cristalización del feldespato de plomo en la interfase del vidriado y la base cerámica. La estequiometría de la fase se pudo determinar mediante microanálisis EDS.

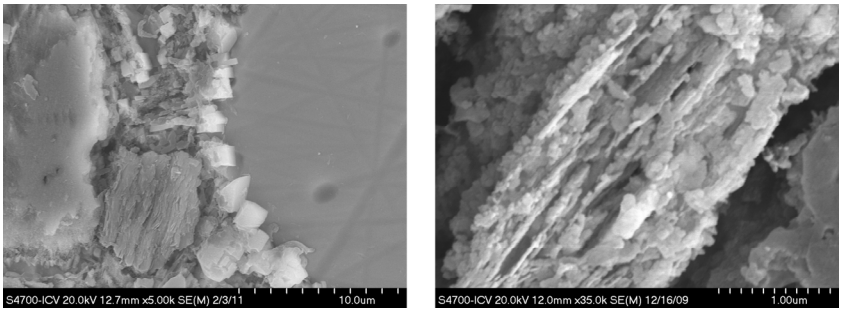


Figura 2. Desarrollo de fases cristalinas, a la izquierda un feldespato de plomo y a la derecha una melilita, en la cerámica mudéjar.

El ataque ácido de las superficies pulidas permite observar la degradación de la estructura laminar de la arcilla y la formación de las nuevas fases, en este caso la cristalización de aluminosilicatos cálcicos tipo melilita.

Museo de Talavera de la Reina
"Las producciones cerámicas de Talavera de la Reina y Puente del Arzobispo"

La investigación en vidrios ha considerado

Facultad de Humanidades y Educación. Universidad de Burgos
"Las vidrieras del rosetón del sarmental de la Catedral de Burgos y del Real Monasterio de las Huelgas de Burgos"

Centro Nacional de Aceleradores. Universidad de Sevilla
"Caracterización de vidrieras medievales mediante micro-PIXE"

Los métodos de análisis no destructivos se centran en:
La aplicación de espectroscopía macro y micro Raman en la caracterización de las porcelanas, vidriados y colores de la porcelana de Buen Retiro, desarrollado en el
Instituto de Cerámica y Vidrio

Utilización de haces de iones de alta energía y alta resolución en la discriminación de estructuras cerámicas laminadas, en colaboración con el
Centro de Microanálisis de Materiales. UAM

Agradecimientos
Los autores agradecen la financiación del Plan Nacional en el proyecto MAT 2007/62601 y la inapreciable ayuda de Dª Carmen Mañueco Santurtún, conservadora del MAN y de todos centros y grupos de investigación que colaboran en la línea de Arqueometría y Patrimonio de la Cerámica y el Vidrio.

Caracterización material de obras del patrimonio cultural

J.F. García, A. Padró[1], N. Ferrer[1], E. Marín, C. Sessa, A. Vila, A. Miquel, C. Sistach[2]
Departament de Química Analítica. Universitat de Barcelona. Diagonal 647, 08028 Barcelona. E-mail: jfgarcia@ub.edu
[1]Centres Científics i Tecnològics, Universitat de Barcelona (CCiT-UB)
[2]Archivo de la Corona de Aragón

Introducción

La investigación del grupo tiene como **objetivo** el desarrollo y aplicación de metodología analítica específica para la caracterización material (composición y estructura) de obras del patrimonio cultural.

El desarrollo específico tiene como **ideas directoras**:

- El mantenimiento de la integridad material de las obras. Por esta razón las técnicas analíticas diseñadas y evaluadas son no destructivas o imperceptiblemente destructivas.
- La obtención de resultados representativos. La heterogeneidad intrínseca de las obras (tanto en términos macroscópicos como microscópicos) y la minimización de la cantidad de material a analizar (número de muestras y material en cada una de ellas) pueden generar resultados de calidad para el punto analizado pero no para el conjunto de la obra. Las técnicas desarrolladas han de permitir la evaluación de la reproducibilidad de la información obtenida.
- Alcanzar límites de detección lo más bajos posibles. Los componentes minoritarios presentes en las obras pueden proporcionar información relevante respecto a los procesos de creación o de degradación de las mismas. Las condiciones de análisis de las técnicas instrumentales habitualmente utilizadas (SEM-EDS, IRTF, XRF, XRD,…) proporcionan fundamentalmente información sobre los componentes mayoritarios. Un propósito, no siempre alcanzado, es proponer técnicas que permitan la determinación de los componentes minoritarios.

Desarrollo de la investigación y resultados

La investigación de nuestro grupo se ha centrado en el desarrollo de las técnicas analíticas para el análisis de diferentes tipos de obras, la evaluación de sus parámetros de calidad y, finalmente, su aplicación a algunos casos de interés. Las diferentes etapas, y especialmente la última, se realiza en colaboración con diferentes instituciones directamente relacionadas con las obras como el Archivo de la Corona de Aragón, el Instituto del Patrimonio Cultural Español, el Museu d'Art de Girona o el Museu d'Art Contemporani de Barcelona- Fundació Fahlström.

Esta investigación puede dividirse en cuatro bloques temáticos:

1. *Desarrollo de un sistema de Ablación Láser de gran formato acoplado a un plasma de Acoplamiento inducido- Espectrómetro de masas (LA-gf-ICP/MS) y aplicación a pintura y manuscritos*

El sistema desarrollado LA-gf-ICP/MS permite la determinación de la composición isotópica de la estratigrafía de la obra mediante la aplicación de pulsos sucesivos de radiación láser en un mismo punto. El deterioro producido por este proceso es imperceptible ya que el diámetro del cráter realizado es del orden de 100 micras. Este sistema permite superar las limitaciones de los equipos comerciales de LA-ICP/MS en los que la celda en la que debe introducirse la muestra es de tamaño limitado (5x5x5cm), por lo que resulta necesaria la separación de un fragmento de la obra para poder proceder al análisis.

El equipo desarrollado incluye un sistema óptico, que focaliza el láser en la superficie de la obra con un área irradiada y energía adecuadas; y una celda que puede localizarse sobre la superficie de la obra sin ninguna restricción de formato del objeto que se conecta al detector ICP/MS (Figura 1).

El sistema permite la determinación de los componentes mayoritarios y minoritarios.

Figura 1. Sistema LA-gf-ICP/MS (equipo ICP/MS CCiT-UB).

El sistema se ha aplicado al estudio de pinturas, reproduciendo la información obtenida por otras técnicas, como el SEM-EDS, con un mejor límite de detección y permitiendo un mayor número de análisis en las diferentes zonas de interés para asegurar la representatividad de la información obtenida.

También se ha aplicado al estudio de los efectos que los tratamientos acuosos producen sobre los manuscritos, especialmente sobre el trazo de tinta.

En este caso es interesante destacar que el tamaño del área analizada permite obtener un mapa de distribución detallado de la concentración de diferentes elementos, fundamentalmente Cu y Fe, relacionados con la disolución del trazo de tinta. Después del análisis sólo con lentes de aumento es posible la localización de los puntos analizados (Figura 2).

Figura 2. Manuscrito analizado por LA-gf-ICP/MS. En la imagen pueden observarse algunos de los puntos analizados.

2. *Evaluación de la espectroscopia remota de infrarrojo medio (MidIR-FORS) y de la Hyperspectral Spectroscopy para el estudio de pinturas*

La espectroscopia remota pertenece al grupo de técnicas instrumentales no destructivas por excelencia. La de infrarrojo medio presenta la ventaja de centrarse en un intervalo del espectro que aporta información de especial interés para la identificación de materiales constituyentes de las obras pero con el inconveniente de la distorsión de los espectros obtenidos por reflexión. Esta limitación es importante y para superarla es necesaria la utilización de métodos quimiométricos de tratamiento de datos.

El trabajo del grupo se centra en la evaluación de la espectroscopia remota de infrarrojo medio para el análisis de pinturas. Hemos estudiado su reproducibilidad, límite de detección y capacidad de identificación en mezclas. Los resultados son interesantes si bien no alcanzan los obtenidos en espectroscopia no remota; en cualquier caso MidIRFORS presenta una utilidad clara para algunas aplicaciones y contribuye a desarrollar los métodos quimiométricos adecuados para el tratamiento de grandes volúmenes de espectros. En este sentido estamos ampliando la evaluación de la capacidad de la espectroscopia remota hacia el Imaging spectroscopy mediante la aplicación de MidIRFORS y Hyperspectral Imaging también a pinturas.

3. *Evaluación del sistema de Ablación Laser como sistema de toma de muestra. Aplicación a la determinación de aglutinantes*

El trabajo con el sistema LA-gf-ICP/MS evidencia la capacidad del sistema de ablación láser (LA) como herramienta para la toma de micromuestras, tanto

superficiales como que interesen la totalidad de la estratigrafía. Con esta herramienta se vuelven a contraponer dos aspectos fundamentales en el estudio material de las obras: el mantenimiento de la integridad física y la representatividad del material analizado. El uso de un sistema de Ablación Láser produce un deterioro imperceptible y, en muchos casos, del mismo orden de magnitud de discontinuidades materiales que puede presentar la misma obra. Su aplicación podría ser, en algunos casos, una buena alternativa para el muestreo con bisturí.

La posibilidad de determinar la composición de materiales inorgánicos usando LA se evalúa en la aplicación del sistema LA-gf-ICP/MS, en estos momentos estamos evaluando también la capacidad para la determinación de materiales orgánicos (aglutinantes y barnices) mediante el sistema LA y análisis por espectroscopia de infrarrojo o cromatografía.

4. Estudio de casos de interés

Las diferentes técnicas instrumentales de análisis específicas desarrolladas son aplicadas al estudio de diferentes obras. En esta área, el grupo realiza habitualmente el estudio de obras seleccionado los casos que pueden resultar de interés para aplicar la investigación y sin propósito de entrar en el ámbito comercial de estas actividades.

Fuera de programa

ES^2: Estudio de los cambios ambientales y la acividad humana en el Holoceno mediante registros *multiproxy*

Martínez Cortizas, A., Blanco Chao, R., Valcárcel Díaz, M., Costa-Casais, M., Ferro Vazquez, C., Kaal, J.
Earth Systems Science (ES^2) Universidade de Santiago de Compostela. E-mail: antonio.martinez.cortizas@usc.es

En las últimas décadas y desde un enfoque *multiproxy,* nuestros estudios sobre los cambios ambientales Holocenos se han llevado a cabo utilizando distintos tipos de archivos paleoambientales (turberas, suelo policíclicos, suelos coluviales, sedimentos lacustres, secuencias sedimentarias, secuencias de yacimientos arqueológicos, etc...) y diversos métodos y técnicas analíticas. La investigación se ha orientado hacia la integración de diferentes disciplinas: las vinculadas a las Ciencias de la Tierra, las relacionadas con el estudio del registro fósil y las dedicadas al estudio de los restos materiales de las culturas pasadas (Martínez Cortizas et al. 2009).

El análisis de registros geoquímicos obtenidos en turberas y sedimentos lacustres se ha revelado como una herramienta útil para la reconstrucción de la componente natural de cambio climático. Los flujos de algunos elementos desde su área fuente hacia la atmósfera y su posterior deposición están controlados en gran medida por las condiciones climáticas (temperatura y precipitación), como es el caso de la acumulación de Hg (Martínez Cortizas et al. 1999), mientras otros *proxies* como la relación entre algunos elementos litogénicos (Ti, Zr) pueden ser indicadores de la intensidad del viento (Martínez Cortizas et al. 2002b, Fabregas Valcárcel et al. 2003)

Mediante el estudio de las propiedades físicas y químicas (granulometría, pH, fraccionamiento de los elementos, etc.) de suelos policíclicos y coluviales, y del registro de relaciones elementales de la materia orgánica (C/N) y mineral (Ti/Zr, Rb/Sr) se han podido detectar paleosuperficies enterradas y discontinuidades sedimentarias. Mediante esta combinación de *proxies*, en turberas ombrotróficas, se han reconstruido cambios en la intensidad de los procesos de erosión del suelo (Martínez Cortizas et al. 2000, Martínez Cortizas et al. 2005, Costa Casais et al. 2007). A su vez, la detección de variaciones en la concentración, acumulación y factores de enriquecimiento de metales pesados y de isótopos de Pb nos ha permitido reconstruir la comlpeja historia de la contaminación atmosférica en el pasado, causada por actividades mineras y metalúrgicas (Martínez Cortizas et al. 1997, 1999, 2002a,b, 2005). Más recientemente, mediante la aplicación de técnicas de pirolisis GC/MS a restos de carbones y materia orgánica del suelo hemos podido evaluar con mayor precisión el papel de los incendios y de la actividad humana en ciertos cambios del paisaje (Kaal et al. 2007, 2008a,b). Para el NO penisular, los resultados de nuestras investigaciones nos has llevado a establecer una serie de fases de cambio intenso, inducidas tanto por variaciones climáticas abruptas como por actividades humanas, en las cuales habrían tenido lugar transformaciones importantes en el paisaje.

El mismo enfoque *multiproxy* se está aplicando a la evolución morfodinámica en la franja litoral, permitiendo con ello establecer un modelo de cambios

recientes en sistemas costeros complejos, caracterizados por una dinámica de tipo para-periglaciar (Blanco Chao et al. 2007, Feal-Pérez et al. 2009).

El conjunto de técnicas aplicadas al estudio de los sedimentos también se está aplicando a algunos restos materiales de la cultura, como la cerámica, par a analiar aspectos como la procedencia, el procesado de las pastas, temperaturas de cocción, etc...

Blanco-Chao, R., Pérez Alberti, A., Trenhaile, A.S., Costa-Casais, M., Valcárcel Díaz, M., 2007. Shore platform abrasion in a para-periglacial environment, Galicia, northwestern Spain. *Geomorphology*, 83,136–151.

Costa-Casais, M., Martínez Cortizas, A., Pontevedra-Pombal, X., Criado Boado, F., 2007. Analysis of landforms in geoarchaeology: Campo Lameiro, NW Iberian Peninsula. In: Coratza, P., Palli, L., Panizza, M., Nesci, O., Reynard, E.(Eds.), Carta Gelogica deD'Italia, 87, 39-51.

Feal-Pérez, A. Blanco-Chao, R.; Valcárcel-Díaz, M. 2009. Influencia de formas y procesos heredados en la evolución reciente y en los procesos morfodinámicos actuales en un sector de costa rocosa: Punta Gallín, costa Cantábrica gallega. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 22: 67-78.

Fábregas-Valcarce, R.; Martínez-Cortizas, A.; Blanco-Chao, R.; Chesworth, W. 2003. Environmental change and social dynamics in the second-third millenium BC in NW Iberia. *Journal of Archaeological Science*, 30, 859-871.

Kaal, J., Martínez Cortizas, A., Criado Boado, F. 2007 On the fire history of Galicia. *Coalition* 14: 21-23.

Kaal, J., Martínez Cortizas, A., Eckmeier, E., Costa Casais, M., Santos Estévez, M, Criado Boado, F. 2008a. Holocene fire history of black colluvial soils revealed by pyrolysis-GC/MS: a case study from Campo Lameiro (NW Spain). *Journal of Archaeologica Science* 35: 2133-2145

Kaal, J.; Martínez-Cortizas, A.; Buurman, P.; Criado Boado, F. 2008b. 8000 yr of black carbon accumulation in a colluvial soil from NW Spain. *Quaternary Research* 69: 56–61

Martínez Cortizas, A., Pontevedra Pombal, X., Nóvoa Muñoz, J.C., García-Rodeja, E.,1997. Four thousand years of atmospheric Pb, Cd, and Zn deposition recorded by the ombrotrophic peat bog of Penido Vello (Northwestern Spain). Water, Air and Soil Pollution 100, 387–403.

Martínez Cortizas, A., Fábregas Valcarce,R., Franco Maside, S., 2000. Evolución del paisaje y actividad humana en el área de Monte Penide (Redondela, Pontevedra): una aproximación metodológica. *Trabajos de Prehistoria* 57,173–184.

Martínez Cortizas, A., Pontevedra Pombal, X., Nóvoa Muñoz, J.C., García-Rodeja, E., Shotyk, W., 1999. Mercury in a Spanish peat bog: archive of climate change and atmospheric metal deposition. *Science* 284, 939–942.

Martínez Cortizas, A.,García-Rodeja, E.,Weiss, D., 2002a. Peatbog archives of atmospheric metal deposition. *Science of the Total Environment* 292,1–5.

Martínez Cortizas, A.,García-Rodeja, E., Pontevedra Pombal, X., Nóvoa Muñoz, J.C., Weiss, D., Cheburkin, A., 2002b. Atmospheric Pb deposition in Spain during the last 4600 years record by two ombrotrophic peat bogs and implications for the use of peat as a geochimical archive. *Science of the Tota lEnvironment* 292, 33–44.

Martínez Cortizas, A., Pontevedra Pombal, X., Nóvoa Muñoz, J.C., Peiteado Varela, E., Piñeiro Rebolo, R., 2005. Linking changes in atmospheric dust deposition, vegetation change and human activities in northewestern Spain during the last 5300 years. *The Holocene* 15, 698–706.

Martínez-Cortizas, A.; Costa-Casais, M.; López Sáez, J.L. 2009. Environmental change in NW Iberia between 7000 and 500 cal BC. *Quaternary International* 200: 77–89

Índice de autores

Ager, F.J. **105**
Agua, F. **43**
Álvarez de Buergo, M. **91**
Andrade, G. **121**
Arana, G. **39**
Arjonilla Alvarez, M. **117**
Ascaso, C. **101**
Auqué, L.F. **49**
Azkarate, A. **95**
Azorín, V. **57**
Barluenga, G. **33**
Bastidas, D.M. **53**
Bastidas, J.M. **53**
Benavente, D. **71**
Blanco Chao, R. **135**
Blanco Varela, M.T. **57**
Blasco, I. **83**
Borraz, A. **79**
Buendía Martos, A. **117**
Burón Alvarez, M. **107**
Calle González, J.M. **117**
Calvo, A. **83**
Cámara, B. **101**
Cano, E. **53**
Cañaveras, J.C. **71**
Capel, F. **125**
Carmona Quiroga, P. **57**
Castillejo, M. **27**
Castro, K. **39**
Chércoles, R. **83**
Conde, J.F. **43**
Costa-Casais, M. **135**
Criado Martín, A.J. **19**
Criado Portal, A.J. **19**
Criado, E. **125**
Criado, M. **53**
Cuchí, J.A. **49**
Cuezva, S. **71, 111**
d´Antoni, H. **35**
d´Antoni, P. **35**
da Casa, F. **33**
Dalmau, C. **83**
de la Roja, J.M. **83**
de los Ríos, A. **101**
de Montaud, G. **111**
de Soto García, I. **47**
del Egido, M. **79**
Dietz, C. **19**
Domingo, C. **27**
Domingo, M. **79**
Durán, A. **9**
Espejo Arias, T. **69**
Estirado, F. **33**
Fajardo, S. **53**
Fernández-Cortés, A. **71**
Fernández-Ortiz de Vallejuelo, S. **39**
Ferrer, N. **129**
Ferro Vazquez, C. **135**
Fort, R. **91**
Freire, D.M. **91**
Frías, M. **57**
García Giménez, R. **47**
García Heras, M. **43**
García Sánchez, A. **31**
García Sánchez, L. **19**
García Talegón, J. **31**
García, A. **33**
García, A. **99**
García, A.M. **15**
García, I. **83**
García, J.F. **129**
García, S. **83**
García-Antón, E. **71**
García-Diego, F.J. **35**
Garófano, I. **9**
Gaspard, S. **65**
Gayo García, M.D. **65**
Gómez Heras, M. **91**
Gómez, L.S. **91**
Gómez, Y. **33**
Gómez-Tubío, B. **105**
González González, J. **117**
González González, M.M. **117**
González, E. **79**
Guerrero, A.M. **57**
Guinot, A. **43**
Hidalgo, C. **79**
Igea, J. **49**
Iñigo, A.C. **31**
Jiménez de Haro, M.C. **9**
Jover de Celis, M. **65**
Justo, A. **9**
Kaal, J. **135**
Kriznar, A. **105**
Laclavetine, K. **105**
Lafuente, D. **53**
Lapuente, M.P. **49**
Layuno, M.A. **33**
Lazzari, M. **13**
Ledo Suárez, A. **13**
Llorente, A. **43**
López-Arce, P. **91**
Lupión Alvarez, J.J. **117**
Macarrón, A.M. **83**
Madariaga, J.M. **39**
Maguregui, M. **39**
Marín, E. **129**
Martín, C. **79**
Martínez Cortizas, A. **135**
Martínez García, J.A. **19**
Martínez, S. **27, 57**
Martinez-Arkarazo, I. **39**

Martínez-Garrido, M.I. **91**
Mercé, P. **35**
Miquel, A. **129**
Molina, E. **31**
Monjo, J. **113**
Mora, S. **113**
Moreno Rodríguez, R. **117**
Moreno, D.A. **15**
Moreno, P. **99**
Moreno-Suárez, A.I. **105**
Murcia-Mascarós, S. **23**
Murga Peinado, L. **117**
Olazabal, M. **39**
Orejas, A. **5**
Ortega, A. **121**
Ortega-Feliu, I. **105**
Oujja, M. **27**
Padró, A. **129**
Palomar, T. **43**
Pascual, C. **125**
Peña Poza, J. **43**
Pérez García, C. **35**
Pérez Lobato, J. **43**
Pérez-Miralles, J. **35**
Pérez-Monserrat, E. **91**
Pérez-Ortega, S. **101**
Pérez-Rodríguez, J.L. **9**
Puentes, J. **33**
Puertas, F. **57**
Ramírez Fernández, M. **47**
Ramón Laca, L. **33**
Recio, P. **125**
Respaldiza, M.A. **105**
Rincón, J.M. **43**
Rivera, J. **33**
Rives, V. **31**
Rodríguez García, T. **117**
Rodríguez Ruíz, P. **117**
Rogerio Candelera, M.A. **87**
Roldán, C. **23**
Romero, C. **99**
Royo, H. **49**
Rubio Fernández, V. **47**
Ruiz del Árbol, M. **5**
Ruiz, A. **61**
Sáiz Jiménez, C. **87**
San Andrés, M. **83**
Sánchez de Rojas, M.I. **57**
Sánchez, A. **61**
Sánchez-Moral, S. **71**
Sánchez-Palencia, F.J. **5**
Sancho, N. **83**
Santos, S. **83**
Sanz, D. **113**
Sanz-Rubio, E. **111**
Sastre, I. **5**
Scrivano, S. **105**
Sessa, C. **129**
Sigüenza, M.B. **9**
Sistach, C. **129**
Speranza, M. **101**
Triguero Berjano, D. **117**
Undurraga, R. **33**
Valcárcel Díaz, M. **135**
Varas Muriel, M.J. **91**
Vázquez de Aldana, J.R. **99**
Vázquez-Calvo, C. **91**
Vicente Tavera, S. **31**
Vigil de la Villa Mencía, R. **47**
Vila, A. **129**
Villegas, M.A. **43**
Wierzchos, J. **101**
Zornoza-Indart, A. **91**