

## NanoCult: nanosoluciones avanzadas para la consolidación y protección multifuncional del patrimonio cultural

Cuatro entidades nacionales, la Universidad del País Vasco (UPV/EHU), el Centro Tecnológico Lurederra de Navarra, la empresa de restauración Garanza (Madrid) y el Centro Tecnológico CTC de Cantabria, colaboran en este proyecto de carácter multidisciplinar que aborda la conservación del patrimonio cultural a través del desarrollo de innovadoras metodologías de diagnóstico, soluciones de limpieza, consolidación y protección no invasivas basadas en la nanotecnología. El proyecto, que se ensaya en pinturas murales de la localidad de Navalcarnero (Madrid) y en los muros exteriores de la catedral de Santa María y de la muralla de Vitoria Gasteiz (Álava), comenzó en noviembre de 2021 y tiene un periodo de ejecución de 36 meses.

Ilaria Costantini, Idoia Etxebarri, Iñaki Vázquez de la Fuente, Julene Aramendia, Gorka Arana, Nagore Prieto, Kepa Castro, Irantzu Martínez-Arkarazo, Iban Sanchez, Agustín Azkarate | Universidad del País Vasco  
Macarena Sanz | Garanza rehabilitación y restauración  
Lucía Pérez, Ángel Yedra | Centro Tecnológico CTC  
Claudio Fernández Acevedo, Beatriz Yécora, Tamara Oroz | Lurederra Centro Tecnológico  
Juan Manuel Madariaga | Universidad del País Vasco

URL de la contribución <[www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/5454](http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/5454)>

Los materiales pétreos de interés histórico conservados en espacios abiertos son los más afectados tanto por factores naturales (variaciones de humedad y temperatura, radiación UV, colonización de microorganismos) como antrópicos (aerosoles ácidos procedentes de industrias o tráfico). Aunque las políticas actuales estén tomando medidas para reducir la contaminación en ciudades, el control de estos factores ambientales es muy complejo. Uno de los objetivos actuales de la conservación y restauración de materiales pétreos es limitar el uso de los métodos tradicionales de limpieza y consolidación ya que han mostrado ser agresivos para las superficies y poco estables con los años, provocando a veces daños estéticos irreversibles. Igualmente, se quiere limitar el uso de productos potencialmente peligrosos tanto para usuarios como para el medioambiente. Por ello, numerosas investigaciones se enfocan en la formulación de nuevos productos multifuncionales, a base de nanopartículas específicas, con diversas propiedades para desarrollar recubrimientos protectores (hidrofóbicos, antifouling, autolimpiantes, fotocatalíticos, biocidas, protección al UV, etc.) para la prevención de la degradación de estos materiales.

En este campo de investigación se enmarca el proyecto NanoCult<sup>1</sup> (Nanosoluciones avanzadas para la consolidación y protección multifuncional del patrimonio cultural). El proyecto se lleva a cabo mediante una estrecha colaboración de grupos universitarios, centros tecnológicos y una empresa privada, convirtiéndolo en un proyecto de carácter multidisciplinar. Las entidades involucradas son la Universidad del País Vasco (UPV/EHU), el Centro Tecnológico Lurederra de Navarra, la empresa de restauración Garanza (Madrid) y el Centro Tecnológico CTC de Cantabria. El objetivo es garantizar la conservación del patrimonio construido utilizando técnicas innovadoras en el ámbito de la consolidación y protección multifuncionales basado en nanotecnología, que se ensayarán en diversas pinturas murales realizadas en fachadas de edificios de la localidad de Navalcarnero (Madrid) y los muros exteriores de la catedral de Santa María y de la muralla de Vitoria Gasteiz (Álava).

### **Pinturas murales situadas en Navalcarnero (Madrid)**

Con el objetivo de evaluar el estado de conservación de tres murales (mural Piensos Alonso, mural Centenario,

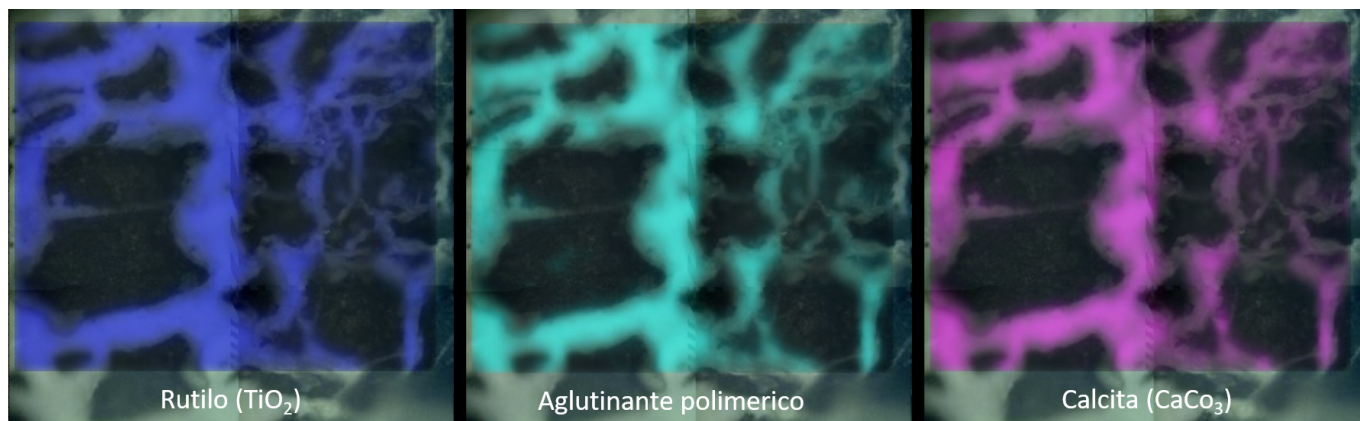


Imagen de espectroscopía Raman mostrando la distribución de rutilo, poliestireno y calcita empleados en mezcla para la realización de la capa de preparación de las pinturas murales | fuente NanoCult

mural en la Fuente), realizados por el artista Alberto Pirrongelli, se desarrolló una campaña *in situ* usando seis instrumentos portátiles. Los murales analizados pertenecen a la Ruta de los trampantojos, ya que la técnica empleada tiene el fin de engañar al espectador mediante un particular uso de la perspectiva que hace que las representaciones parezcan en tres dimensiones.

Los murales de Navalcarnero representan escenas de la vida cotidiana de su población, mientras una minoría muestran algunos hechos históricos.

Los equipos analíticos portátiles empleados durante la campaña de estudio *in situ* fueron la fluorescencia de rayos X (XRF), la Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) y la Espectroscopía Raman (RS), junto con medidas de color, humedad y pH de superficies. Para ubicar los murales se hizo un escaneo 3D sobre el que se montaron las observaciones analíticas. En algunos casos, además, se realizó un micromuestreo de ciertas zonas para su análisis más profundo en laboratorio.

Los resultados más relevantes fueron verificar la abundancia de elementos químicos (Al, As, Ba, Br, Ca, Cl, Co, Cu, Fe, K, Mn, Ni, S, Si, Sr, Ti y Zn) e identificar los pigmentos que en su día se usaron (ftalocianinas verde y azul, hematita, sulfato de bario, carbón, amarillo de ari-lamida, azul de ultramar, rojo naphthol, calcita y rutilo).

Los pigmentos se aplicaron sobre una capa de preparación realizada mediante la mezcla de carbonato de calcio, rutilo, un aglutinante orgánico, poliestireno y, en menor cantidad, dolomita. Esta mezcla fue identificada como base preparatoria en los tres murales estudiados (imagen de arriba).

Durante estos análisis también se estudiaron las degradaciones y procesos de deterioro presentes en las pinturas murales.

El mural Pienso Alonso presentaba un fenómeno de craquelado en algunas áreas oscuras que se asoció al agrietamiento de la capa de pintura causado por exceso de pintura y por la contracción durante el proceso de secado del aglutinante.

Se analizaron muestras de eflorescencia de sales del mural de la Fuente, detectándose sulfatos y nitratos. La composición de estas sales ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , y  $\text{SO}_4^{2-}$ ) sugiere un impacto antropogénico, probablemente debido a los productos usados como fertilizantes en los cultivos alrededor de Navalcarnero, ya que son productos ricos de potasio, sulfato y fosfato de amonio. Además, la correlación positiva entre  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  sugiere como fuente de impacto el empleo de la sal común, para mitigar los efectos de la nieve y del hielo en invierno, que al ser eliminada en la limpieza de las calles es arrastrada hacia zonas por las que los iones ascienden al mural.

### Catedral de Santa María y Muralla de Vitoria-Gasteiz

El estudio de la litología y de los compuestos secundarios de la catedral de Santa María y de la muralla de Vitoria-Gasteiz se realizó usando instrumentos de laboratorio ya que fue posible recoger micro-muestras de ambos sitios. De la misma forma, se llevaron a cabo análisis *in situ* preliminares mediante RS. Los resultados indicaron que la tipología de los materiales pétreos utilizados en ambas construcciones era la misma.

Los compuestos originales identificados fueron cuarzo, calcita, dolomita, anatasa y moscovita. Los compuestos de degradación fueron sulfatos, principalmente yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y en menor porcentaje epsomita ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ) y bloedita ( $\text{Na}^2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), cuya presencia podría estar provocada por la sulfatación de los compuestos carbonatados originales de las piedras a consecuencia de un ataque ácido previo por parte de los contaminantes atmosféricos.

Los materiales estudiados en la muralla mostraron un mayor grado de degradación de origen microbiológico en comparación con los de la catedral, debido probablemente al entorno de la fortificación, ya que la muralla está rodeada por un amplio jardín y, en algunas zonas, el

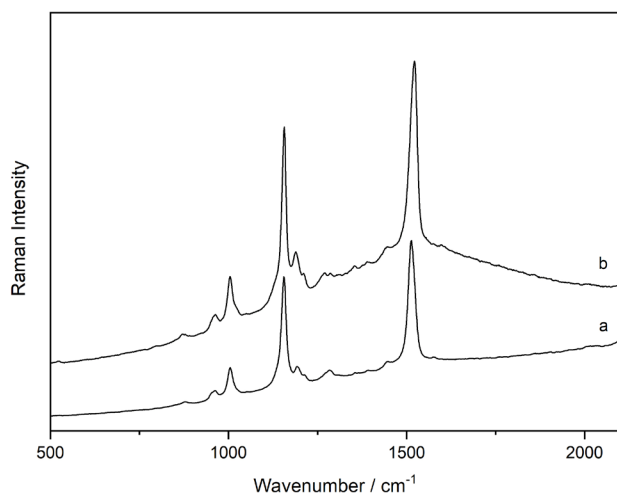
césped cubre la parte baja de la estructura. Además de ser un nicho para la presencia de microorganismos, la descomposición del corte de hierba produce nitrato amónico. Además, en algunas zonas la presencia de vegetación y, en mayor medida, la infiltración por capilaridad de agua cargada en sales, han provocado la disgregación de la piedra caliza debido al ataque ácido del amonio y de los microorganismos (ver gráfico parte inferior).

Hasta ahora, se han desarrollado recubrimientos multifuncionales basados en nanotecnología para la protección de la piedra y murales frente a la degradación ambiental, con las siguientes características simultáneas: fácil aplicación; transparencia; repelente al agua (hidrofóbico); resistencia a la luz solar; y capacidad antimicrobiana.

Su aplicación en casos de estudio reales también es un objetivo del proyecto.

### NOTAS

1. NanoCult es un proyecto en colaboración entre cuatro entidades nacionales; el Centro Tecnológico Lurederra que actúa como coordinador, la Fundación Centro Tecnológico de Componentes (CTC), la Universidad del País Vasco (UPV-EHU) y la empresa Garanza Rehabilitación S.L. Ha sido aprobado en el marco de la Convocatoria de Proyectos de I+D+i en líneas estratégicas en colaboración público-privada del Ministerio de Ciencia e Innovación, con el número de expediente PLEC2021-007704. Esta Convocatoria está cofinanciada con Fondos de la Unión Europea (Next Generation EU), siendo una de las actuaciones englobadas dentro del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia presentado por el Gobierno de España. PLEC2021-007704 / AEI / 10.13039 / 501100011033 / Unión Europea NextGenerationEU / PRTR



Espectros Raman de los pigmentos carotenoides zeaxantina(a) y astaxantina(b) | fuente NanoCult