
El proyecto BIOXEN: Biolimpieza de materiales Xenobióticos en patrimonio granítico

Investigador Principal: **Patricia Sanmartín**

Equipo de investigadores: **Pilar Bosch Roig, Mercedes Sánchez Pons, Pablo Barreiro, Francesca Cappitelli, Anxo Méndez, Domenico Pangallo, Miguel Serrano, Teresa Taboada, Ezequiel Vázquez y Fabiana Martín Caramés**

Colaboradores (en caso de ser necesario): **Sabina Soler Sanz, Clara Fernández Garrido, Dafne K. Quintero e Icíá Pérez López**

Fecha: **1 septiembre 2022-31 agosto 2026**

Lugar: **Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio y Universidad de Santiago de Compostela**

Promotor: **Agencia Estatal de Investigación (AEI)**

La limpieza se considera la operación más crítica y que más tiempo requiere en un proyecto de restauración, y también implica un importante desembolso económico por parte de los gobiernos y las agencias locales.

Durante más de treinta años, la aplicación de células vivas y enzimas microbianas naturales se ha llevado a cabo con éxito para la eliminación biológica de sustancias no deseadas, como sales (sulfatos y nitratos) y materia orgánica. Demostrando cómo los microorganismos pueden ser una herramienta de gran utilidad para la restauración del patrimonio, capaz de facilitar procesos de limpieza de forma eficiente y específica, en línea con el pacto verde y la sostenibilidad.

Las sustancias xenobióticas (sintéticas y difícilmente alterables) se encuentran presentes en nuestro patrimonio en gran medida como consecuencia de intervenciones humanas (materiales de restauración obsoletos, acciones vandálicas, ...). Estos materiales químicos sintéticos, en muchas ocasiones son de difícil eliminación al ser difícilmente degradables y estar fuertemente adheridos al material. Además, en sustratos porosos (como los líticos) penetran varios mm y cm en el sustrato lo que los hace más difíciles de eliminar ya que muchas técnicas de limpieza físicas y químicas sólo actúan en la superficie.

Las técnicas físico-mecánicas (incluido en láser) y/o químicas que se emplean en la actualidad además de no ser completamente eficientes,

al no eliminar completamente el material a remover, pueden generar daños físico-químicos en los materiales originales.

Recientemente se ha empezado a estudiar la posibilidad de biolimpiar este tipo de materiales, principalmente se han desarrollado estudios sobre la biorremoción de grafitis (pinturas en aerosol).

Desde junio de 2022, la Agencia Estatal de Investigación (AEI) financia este proyecto titulado: BIOXEN: BIOcleaning of XENobiotic materials in granite s43tone heritage (PID2021-123329NA-I00) (Fig 1) con el que se pretende lograr una solución para la eliminación de xenobióticos del patrimonio.

Este proyecto tiene como objetivo diseñar una eliminación completa de compuestos xenobióticos evitando también el biodeterioro estético secundario mediante el control de la no persistencia de restos microbianos o productos biogénicos, así como la recolonización de los materiales tratados.



Figura 1. Logo del proyecto BIOXEN (2022-2026)

El proyecto también pretende ampliar la frontera del conocimiento en el tema, no solo mediante la identificación precisa de la combinación de cepas microbianas y las variables del cultivo más adecuadas para desarrollar un rendimiento de biolimpieza óptimo, sino también utilizando un enfoque genómico comparativo entre cepas con y sin capacidad de biolimpieza, con el fin de detectar firmas genómicas de adaptación potencialmente relacionadas con funcionalidades metabólicas que mejoren las capacidades de bioremediación. La finalidad de la propuesta es desarrollar una solución novedosa, ecológica y sostenible de base biológica para la limpieza de xenobióticos, difíciles de eliminar, especialmente aquellos poco accesibles, como los que se encuentran en el interior de los poros del material dañado. El estudio se está desarrollando sobre rocas graníticas.

La primera fase del proyecto ha consistido en la selección y estudio de una batería de materiales xenobióticos incluyendo grafitis y resinas. Grafitis como: MTN NITRO 2G, MTN WATER BASED, DUPLI COLOR ACRYL 9005 y MONTANA TARBLACK y resinas como Acrisil 201.N, el Acril 33, el Fluoline A, los Paraloid B-72 y B-82, el Peoval 33 y el Vinavil 59. Estos materiales xenobióticos han sido caracterizados mediante espectroscopía FTIR, colorimetría y microscopía, entre otras técnicas analíticas.

Posteriormente se ha realizado el aislamiento y estudio de microorganismos con potencial para la biorremoción de este tipo de sustancias. Para ello se han seleccionado microorganismos que se han identificado en la bibliografía como potenciales, como son: *Comamonas testosteroni*, *Rhodococcus erythropolis*, *Pseudomonas stutzeri* y *Enterobacter aerogenes*. Mientras que por otro lado se han aislado microorganismos tomados de muestras de monumentos histórico-artísticos con compuestos como el albayalde (Fig 2).



Figura 2. Restos de albayalde del tímpano central de la fachada de Pazo de Raxoi en Santiago de Compostela

Para valorar el potencial para la biolimpieza se han desarrollado diferentes ensayos de biodegradabilidad *in vitro* tanto en medio líquido como en medio sólido. En estos ensayos se realiza un crecimiento de los microorganismos junto con las sustancias xenobióticas seleccionadas y diferentes medios nutritivos, medios mínimos (en líquido) y medios completos (en sólido). Mediante el estudio comparativo de los xenobióticos antes y después de estar en contacto con los microorganismos seleccionados, podemos conocer su

capacidad y potencialidad para la biolimpieza. Se realizan ensayos de variaciones físicas (como variación de peso, de aspecto y de absorción de agua), variaciones químicas (mediante estudio FTIR) y variaciones estéticas (mediante colorimetría). Estas técnicas de estudio nos permiten conocer la capacidad de biodegradabilidad de estas sustancias xenobióticas por parte de los microorganismos, así como la inhibición de su crecimiento (Fig. 3)

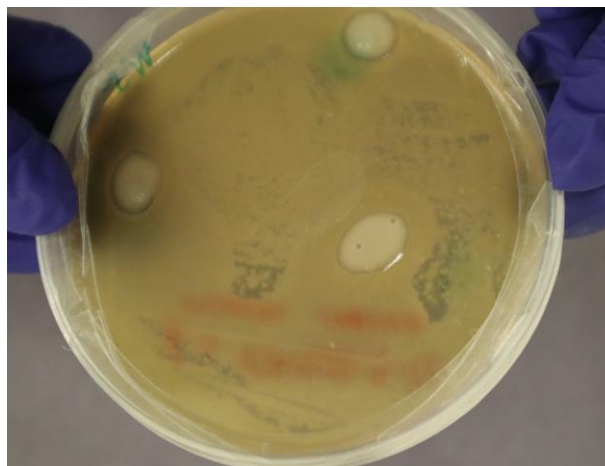


Figura 3. Ensayo in vitro de biodegradabilidad de resinas xenobióticas en placa Petri con bacterias con potencial para la biolimpieza

Por otro lado, se han seleccionado y caracterizado un conjunto de rocas graníticas para el desarrollo de los estudios sobre probetas que se realizarán en la siguiente fase del proyecto. Las rocas de granito pueden considerarse como un caso complicado de heterogeneidad superficial debido a la complejidad de su distribución mineral, se podría plantear la hipótesis de que la tecnología aquí propuesta puede extrapolarse a otros tipos de rocas y materiales.

La tecnología, una vez desarrollada, puede ser ampliamente utilizada y llegar a campos multidisciplinarios, como la restauración, la biología, la industria química, con importantes implicaciones económicas e industriales.

El desarrollo de este tipo de metodologías de limpieza está en línea con las estrategias de eficiencia, aplicabilidad y adaptación de la I+D+i a los problemas que afectan a las ciudades patrimoniales, de modo que los resultados serán fácilmente escalables, eficientes y replicables en ciudades y entornos de todo el mundo donde el patrimonio histórico sea una característica distintiva.

Los resultados obtenidos proporcionarán información que orientará a las instituciones oficiales y a los gestores de la conservación del patrimonio para mitigar y responder de forma eficiente a las acciones de conservación/restauración del patrimonio construido, lo que supondrá un ahorro en el gasto público y/o privado destinado al mantenimiento de monumentos y otras estructuras. Otro potencial impacto social del conocimiento generado por el proyecto es el desarrollo de estándares o normativas de limpieza en elementos delicados del patrimonio.