

Patrimonio y Medioambiente: nuestra investigación y logros en Biodeterioro, Restauración, Biorremediación y Nanotecnología

María Teresa González Muñoz, Inés Martín Sánchez,
Mohamed Larbi Merroun, Fadwa Jroundi e Iván Sánchez Castro

Departamento de Microbiología. Facultad de Ciencias.
Universidad de Granada

mgonzale@ugr.es
inesms@ugr.es
merroun@ugr.es
fadwa@ugr.es
sanchezcastro@ugr.es



El Grupo al que pertenecemos (BIO 103, PAIDI Junta de Andalucía) creado en 1985 para la investigación de diversos aspectos relativos a Myxobacterias, comenzó en 1990 a trabajar en procesos de biomineralización y de fijación de metales pesados. Esta investigación, con el paso de los años y la incorporación de diversos profesores/investigadores, se ha diversificado hacia otros aspectos de la interacción bacterias-minerales, no sólo con Myxobacterias. Actualmente se desarrollan diferentes líneas en las que están implicados varios equipos de investigadores, algunos de los cuales, que son los que vamos a reseñar aquí, trabajan en el campo de la Biorremediación y/o del Biodeterioro.

CARBONATOGÉNESIS BACTERIANA EN LA CONSOLIDACIÓN DE MATERIALES PÉTREOS Y ORNAMENTALES

El equipo liderado por la Profesora María Teresa González Muñoz ha desarrollado un proceso basado en la activación de las bacterias carbonatogénicas presentes en materiales

pétreos mediante la aplicación de una solución nutritiva adecuada que, de forma respetuosa con el medio ambiente, promueve de forma notable su consolidación. Este método, patentado en 2008 (Spanish Patent no. 2008/009771 A1) ha demostrado ser eficaz, además, para la consolidación de morteros, revocos de yeso, pinturas murales, etc. Recientemente se ha introducido una variante que permite la consolidación de materiales pétreos dañados por sales (<https://www.youtube.com/watch?v=fv1-EEaswPg>), lo que supone un logro de gran interés debido a que no existe ningún procedimiento satisfactorio para remediar este tipo de daños (Fig. 1). Toda la investigación que venimos desarrollando, interdisciplinar por su naturaleza, se lleva a cabo en colaboración, entre otros, con los profesores de la UGR Carlos Rodríguez Navarro (Departamento de Mineralogía y Petrología) y Ana Isabel García Bueno (Departamento de Pintura). En la actualidad trabajamos en ensayos de consolidación de pinturas murales y estucos del yacimiento Arqueológico de Cástulo (Linares, Jaén) y en el Proyecto COEDMAC (para conservación de res-

tos arqueológicos Maya en Copán, Honduras) en colaboración con la Universidad de Harvard y el Centro David Rockefeller para estudios en América Latina. Por otra parte, la empresa KBYO BIOLOGICAL, S. L., que licitó la patente, viene realizando ensayos con vistas a posibles tratamientos de conservación del Patrimonio Arquitectónico en Portugal, Francia e Italia; además tiene firmado un acuerdo con el Patronato de la Alhambra y el Generalife de Granada para llevar a efecto algunas intervenciones, después de haber realizado ensayos previos que se han manifestado altamente satisfactorios. En esta línea de investigación colabora de forma notable la Dra. Fadwa Jroundi, Contratada de investigación de nuestro Departamento y miembro del Grupo BIO 103.

INTERACCIONES MICROBIANAS CON METALES (PESADOS Y PRECIOSOS) Y RADIONUCLEIDOS

El equipo del Profesor Mohamed Larbi Merroun desarrolla diferentes líneas de

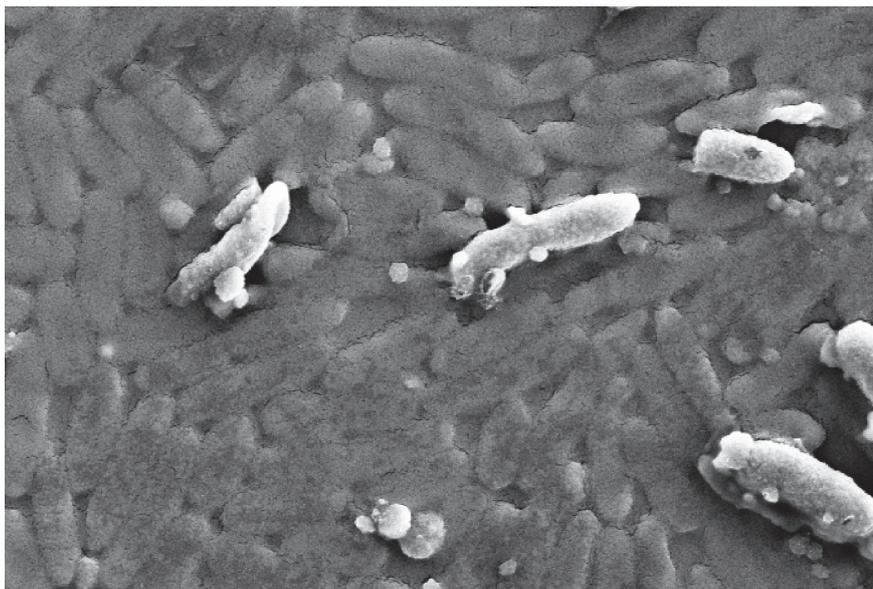


Figura 1. Bacterias carbonatogénicas presentes en piedra dañada por sales induciendo la producción de un biocemento de carbonato cálcico que protege y consolida la piedra degradada (tomado de Jroundi *et al.*, Nature Communications 8: 279, 2017).

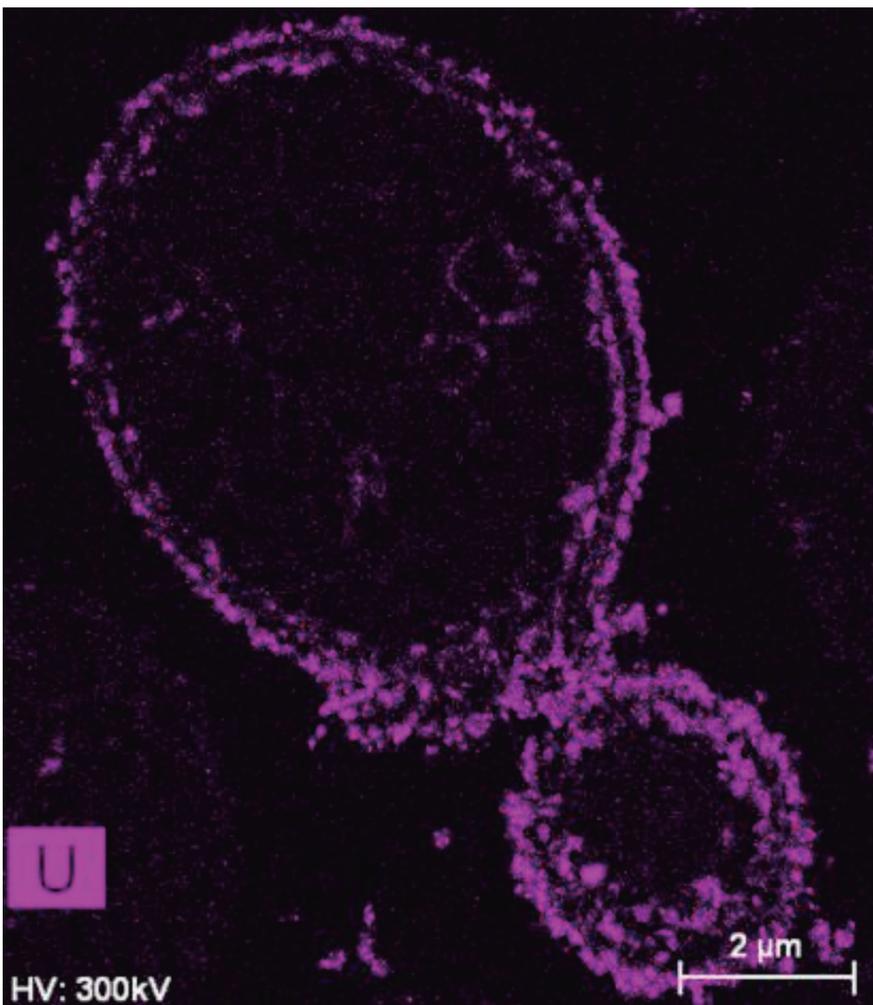


Figura 2. Ejemplo del uso de microorganismos en la biorremediación de metales pesados: células de levadura eliminando uranio del medio mediante precipitación.

investigación en este terreno con aplicaciones en diversos campos tales como biorremediación de ambientes contaminados con metales pesados, producción de nanopartículas metálicas y sus aplicaciones industriales, recuperación de metales nobles a partir de chátaras electrónicas... La metodología empleada es multidisciplinar, combinando técnicas microscópicas, espectroscópicas, de ecología microbiana, etc. Esta investigación se realiza en colaboración con diferentes grupos extranjeros como el de la Profesora Lynne Macaskie (University of Birmingham, UK), el del Dr. Jesús Ojeda (University of Swansea, UK) y el del Profesor Jonathan Lloyd (University of Manchester, UK), entre otros.

En relación con la Biorremediación de ambientes contaminados con metales pesados

el equipo ha suscrito varios contratos de investigación con la empresa francesa ORANO Mining para estudios de diversidad y actividad microbiana de diferentes ambientes tales como zonas adyacentes a las minas de metales, así como el desarrollo de tecnologías de biorremediación de ambientes contaminados con metales pesados mediante el uso de microorganismos con actividad fosfatasa, enzima que, actuando sobre fosfatos orgánicos, libera fosfatos inorgánicos que al precipitar metales pesados (como por ejemplo, uranio) los elimina del medio (Fig. 2).

La investigación sobre Producción de nanopartículas metálicas

está enfocada al empleo bacteriano y sus componentes (capa S, etc.) como *template* para la producción de nanoestructuras de paladio, platino, rutenio, con diferente tamaño y distintas propiedades cristalográficas. Estas nanopartículas presentan amplias aplicaciones industriales como catalizadores de reacciones químicas.

Respecto a la Microbiología del almacenamiento geológico profundo de residuos radiactivos

el objetivo principal es estudiar el efecto de los procesos microbianos sobre los diferentes componentes de este sistema de gestión de residuos nucleares, tales como la corrosión de los contenedores metálicos, la transformación de las bentonitas y la movilización de radionucleidos. Esta línea está financiada por 2 proyectos: "Development of the safety case knowledge base about the influence of microbial processes on geological disposal of radioactive

wastes" (Proyecto europeo MIND, programa Horizonte 2020) y "The impact of microbial processes on the transformation of bentonite and mobilization of radionuclides within the concept of geological disposal of radioactive waste" (Proyecto del Ministerio de Economía y Competitividad).

PAPEL DE LOS HONGOS EN EL BIODETERIORO DE MATERIALES

Esta línea de trabajo, incorporada al grupo en los últimos años e iniciada por la Profesora Inés Martín Sánchez, estudia el biodeterioro producido por hongos en materiales pétreos, maderas y diversos componentes de pinturas de caballete. Para ello se han aislado e identificado gran número de especies procedentes de los materiales citados. Los trabajos se han llevado a cabo en colaboración con diversas empresas de restauración en muestras recogidas en edificios históricos, tales como el Hospital Real y la Capilla Real de Granada o la Catedral de Jaén, y de esculturas de la colección Loringiana sitas en el Jardín Botánico de Málaga, entre otras. También se han estudiado, en colaboración con la Dra. Anna Arizzi del Departamento de Mineralogía (UGR), morteros en cuya composición se han incorporado materiales naturales. Los estudios sobre materiales pictóricos se han llevado a cabo en colaboración con la Profesora M^a Teresa Domenech Carbó, del Instituto de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia. Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto el importante papel que desempeñan los hongos Ascomycetos de diversos géneros en el biodeterioro, habiéndose estudiado la producción y excreción de enzimas específicas en cada caso y de ácidos orgánicos, responsables directos de los daños químicos, físicos y estéticos que muestran estos materiales. Respecto a los ácidos orgánicos se ha comprobado la disolución del carbonato cálcico y la formación de sales micogénicas: oxalato y malato cálcico, entre otras, formadas a expensas del calcio liberado del material y de los ácidos excretados por los hongos (Fig. 3). Este podría ser el mecanismo implicado en la formación de las pátinas de oxalato que se observan en elementos de esta naturaleza.

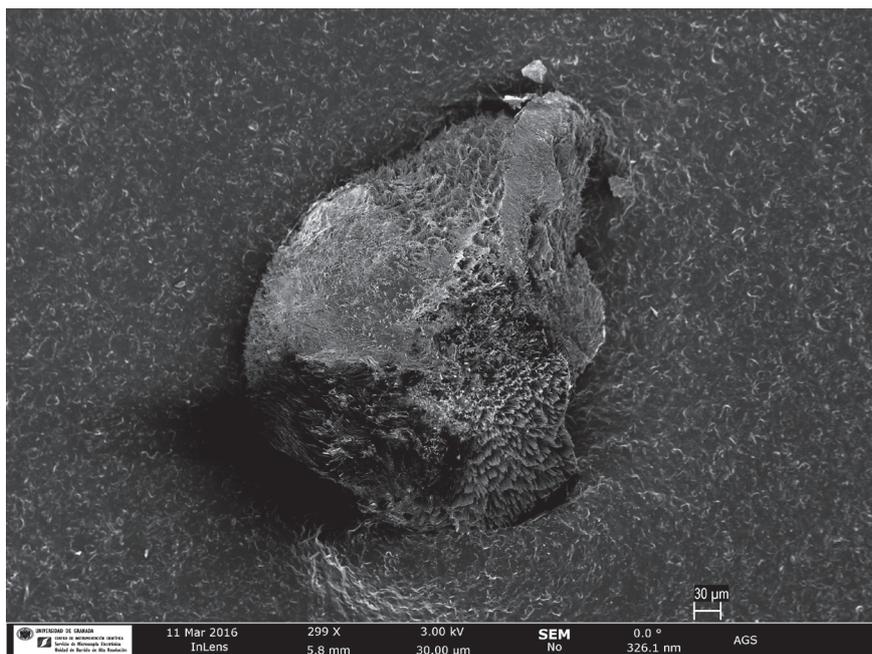


Figura 3. Cristales de oxalato cálcico formados en un cultivo de *Trichoderma* sp.

BIBLIOGRAFÍA

- Arizzi A, Brümmer M, Martín-Sánchez I, Molina E, Cultrone G** (2018) Optimization of lime and clay-based hemp-concrete wall formulations for a successful lime rendering. *Constr Build Mater* 184: 76–86
- Jroundi F, Gonzalez-Muñoz MT, Sterflinger K, Piñar G** (2015). Molecular Tools for Monitoring the Ecological Sustainability of a Stone Bio-Consolidation Treatment at the Royal Chapel, Granada. *PLoS One* 10 (7): e0132465. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132465>
- Jroundi F, Gonzalez-Muñoz MT, Garcia-Bueno A, Rodriguez-Navarro C** (2014) Consolidation of archaeological gypsum plaster by bacterial biomineralization of calcium carbonate. *Acta Biomaterialia* 10 (9): 3844-3854.
- Jroundi F, Schiro M, Ruiz-Agudo E, Elert K, Martín-Sánchez I, Gonzalez-Muñoz, MT, Rodriguez-Navarro C** (2017). Protection and conservation of stone heritage by self-inoculation with indigenous carbonatogenic bacterial communities. *Nat Commun* 8: 279. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00372-3>
- Lee Y, Martín-Rey S, Osete-Cortina L, Martín-Sánchez I, Bolívar-Galiano F, Doménech-Carbó MT** (2018) Evaluation of a gelatin-based adhesive for historic paintings that incorporates citronella oil as an eco-friendly biocide. *J Adhes Sci Technol* DOI: <https://doi.org/10.1080/01694243.2018.1477411>
- Lopez-Fernandez M, Moll H, Merroun ML** (2018) Reversible pH-dependent curium(III) biosorption by the bentonite yeast isolate *Rhodotorula mucilaginosa* Bll-R8. *J Hazard Mater*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.06.054>
- Lopez-Fernandez M, Vilchez-Vargas R, Vital M, Jroundi F, Pieper DH, Merroun ML** (2017) Microbial community analysis of uranyl nitrate treated bentonite microcosms for disposal of radioactive waste purposes. *Appl Clay Sc*, 160: 206-2116. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.12.034>
- Lopez-Miras MM, Martín-Sánchez I, Yebra-Rodriguez A, Romero-Noguera J, Ettenauer, J, Sterflinger K, Piñar-Larrubia G** (2013) Contribution of the Microbial Communities Detected on an Oil Painting on Canvas to its Biodeterioration. *PLoS One* 8: 1-13.
- Omajali JB, Mikheenko IP, Overton TW, Merroun ML, Macaskie LE** (2018) Probing the viability of palladium-challenged bacterial cells using flow cytometry. *J Chem Tech Biot*, DOI: <https://doi.org/10.1002/jctb.5775>
- Ortiz Miranda A, Domenech Carbo A, Domenech Carbo MT, Osete Cortina L, Martín Sanchez I** (2017) Analyzing chemical changes in verdigris pictorial specimens upon bacteria and fungi biodeterioration using voltammetry of microparticles. *Herit Sci* 5-8 DOI: <https://doi.org/10.1186/s40494-017-0121-x>
- Rodriguez-Navarro C, Jroundi F, Schiro M, Ruiz-Agudo E, González-Muñoz MT** (2012) Influence of substrate mineralogy on bacterial mineralization of calcium carbonate: Implications for stone conservation. *Appl Environ Microb* 78 (11): 4017-4029.
- Ruiz-Fresneda MA, Delgado Martín J, Gómez Bolívar J, Fernández Cantos MV, Martínez Moreno F, Moreno MF, Bosh-Estevez G, Merroun ML** (2018) Green synthesis and Biotransformation of amorphous Se nanospheres to trigonal 1D Se nanostructures: impact on Se mobility within the concept of radioactive wastes disposal. *Environ Sc-Nano*. DOI: <https://doi.org/10.1039/C8en00221e>