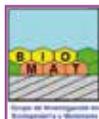


- Saiz-Jimenez C.** (2001) The biodeterioration of building materials. In: A Practical Manual on Microbiologically Influenced Corrosion, vol. 2., J. Stoecker II (ed.), NACE, Houston, pp. 4.1-4.20.
- Saiz-Jimenez C.** (2012) Microbiological and environmental issues in show caves. *World J Microbiol Biotechnol* 28: 2453-2464.
- Saiz-Jimenez C.** (2013) Cave Conservation: A Microbiologist's Perspective. In: *Cave Microbiomes: A Novel Resource for Drug Discovery*. N. Cheeptham (ed.), SpringerBriefs in Microbiology, 2013, Volume 1, 69-84, DOI: 10.1007/978-1-4614-5206-5\_4.
- Saiz-Jimenez C, Samson RA.** (1981) Microorganisms and environmental pollution as deteriorating agents of the frescoes of «Santa María de la Rábida», Huelva, Spain. 6th Triennial Meeting ICOM, Committee for Conservation, Ottawa, paper 81/15/5 14 p.
- Saiz-Jimenez C, Cuezva S, Jurado V, et al.** (2011) Paleolithic art in peril: Policy and science collide at Altamira Cave. *Science* 334: 42-43.
- Saiz-Jimenez C, Miller AZ, Martin-Sanchez PM, et al.** (2012) Uncovering the origin of the black stains in Lascaux Cave in France. *Environ Microbiol* 14: 3220-3231.
- Sanchez-Moral S, Luque L, Cuezva S, et al.** (2005) Deterioration of building materials in Roman Catacombs: The influence of visitors. *Sci Total Environ* 349: 260-276.
- Schabereiter-Gurtner C, Saiz-Jimenez C, Piñar G, et al.** (2002) Altamira cave paleolithic paintings harbour partly unknown bacterial communities. *FEMS Microbiol Lett* 211: 7-11.
- Téllez-Castillo CJ, González Granda D, Bosch Alepuz M, et al.** (2010) Isolation of *Aurantimonas altamirensis* from pleural effusions. *J Med Microbiol* 59: 1126-1129.
- Villaverde J, Posada-Baquero R, Rubio-Bellido M, et al.** (2012) Enhanced mineralization of diuron using a cyclodextrin-based bioremediation technology. *J Agric Food Chem* 60: 9941-9947.

## Bioingeniería y Materiales (BIO-MAT)

**Diego A. Moreno, Ana M. García, Mohammed Naffakh, M. Ascensión Fernández, M. Isabel Paz, Felipe Montero, Antonio Moreno y Carlos Ranninger**  
 Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.  
 c/ José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid. [diego.moreno@upm.es](mailto:diego.moreno@upm.es)



*Integrantes del grupo de investigación (de izquierda a derecha): Antonio Moreno (Ingeniero de Caminos y Dr. en CC Físicas), M. Ascensión Fernández (Dra. en Farmacia), Felipe Montero (Ingeniero Químico), Diego A Moreno (Dr. en Farmacia), Carlos Ranninger (Dr. Ingeniero Industrial), Ana M. García (Dra. en CC Biológicas), Mohammed Naffakh (Dr. en CC Físicas), M. Isabel Paz (Dra. en CC Químicas).*

Aunque el nombre del Grupo BIO-MAT se acuñó apenas hace una década, sus orígenes se remontan a 1986 como consecuencia de la buena relación entre la Empresa y la Universidad. Por aquel entonces Hidroeléctrica Española, actualmente Iberdrola tras la fusión con Iberduero, estaba intentando resolver problemas de corrosión microbiana que había detectado en sus centrales hidráulicas. En esa necesidad encontró en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid una buena colaboración para la búsqueda

de soluciones. Desde entonces un equipo multidisciplinar de ingenieros industriales, de materiales, junto con químicos, físicos y microbiólogos tratamos de dar respuesta y encontrar soluciones a problemas relacionados con la interacción entre los materiales y los seres vivos, principalmente los microorganismos. Entre las líneas prioritarias del Grupo BIO-MAT se encuentran: *biofilms*, biodeterioro, biodegradación y biorremediación (Grupo BIO-MAT, [www.upm.es/observatorio/vi/index.jsp?pageac=grupo.jsp&idGrupo=222](http://www.upm.es/observatorio/vi/index.jsp?pageac=grupo.jsp&idGrupo=222)).

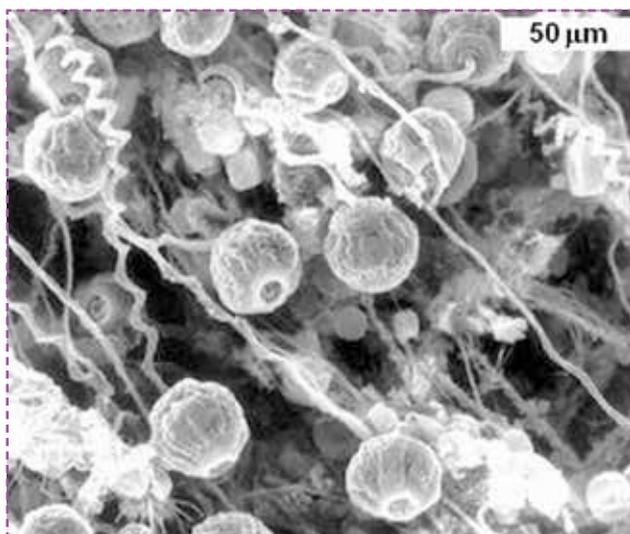
## CORROSIÓN MICROBIANA EN LA INDUSTRIA

Con este término habitualmente definimos la traducción del inglés de la MIC (*Microbiologically Influenced Corrosion*), área de conocimiento de la Microbiología que empezó a desarrollarse a finales de los 70. Los microorganismos, en especial bacterias y hongos, pueden formar biopelículas que, por ejemplo, interfieren en la transferencia térmica o pueden participar en un proceso electroquímico de corrosión metálica, acelerándolo. Los mecanismos son diversos y en general difíciles de abordar al tener que globalizar en su estudio el material, el microorganismo y su entorno. Los primeros materiales estudiados fueron los aceros al carbono, encontrándose en conducciones de agua, petróleo y otros componentes industriales enterrados o sumergidos, como rodillos de compuertas de centrales hidráulicas, graves problemas de corrosión debida a los microorganismos y que obligaba a la sustitución de materiales causando pérdidas económicas importantes por la paralización de las centrales. Nuestro Grupo BIO-MAT estudió la corrosión microbiana que afecta a las esferas de acero al carbono que almacenan biogás a presión en las depuradoras de aguas residuales donde se produce digestión anaerobia (Ibars et al., 1996). La singularidad de estos procesos de corrosión microbiana es que, en general, son de tipo localizado y ello dificulta la monitorización de los sistemas en servicio. También los aceros inoxidables, más resistentes a la corrosión, son susceptibles de sufrir MIC. E incluso el titanio, considerado el titán de los materiales, es capaz de sufrir bioensuciamiento (*biofouling*, colonización por microorganismos que forman *biofilms*) (Figura 1) y no ser inmune a este tipo de corrosión (Moreno et al., 2004). Para más información sobre estos procesos de

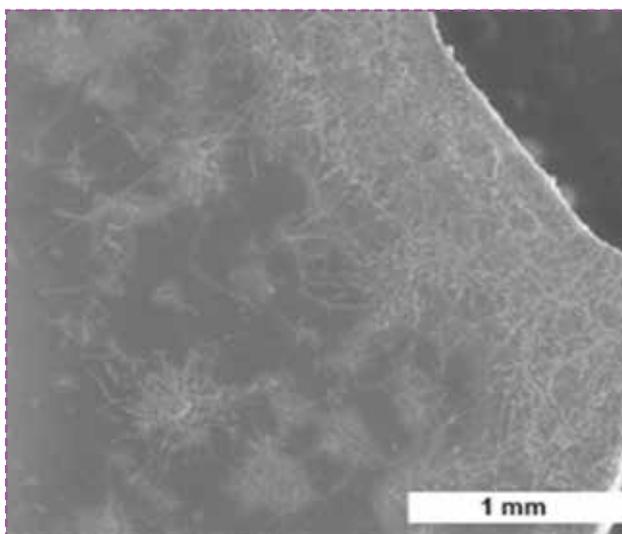
MIC puede consultarse una ficha didáctica preparada ad-hoc en la página web de la IBBS (*International Biodeterioration and Biodegradation Society*) (Moreno, 2012).

## BIODETERIORO DEL PATRIMONIO HISTÓRICO CULTURAL

Nuestra aportación en esta área tiene sus orígenes en diversas colaboraciones con el Instituto del Patrimonio Cultural desde prácticamente los orígenes del Grupo BIO-MAT. Se ha abordado el estudio del biodeterioro de la Fuente de Los Leones en La Alhambra (Granada), donde hemos observado cómo todas y cada una de las recomendaciones propuestas al Patronato encargado de su mantenimiento se han ido cumpliendo, llegando a una completa restauración de la misma terminada no hace mucho (Sarró et al., 2006). En las cuevas paleolíticas de Covalanas y La Haza (Ramales de la Victoria, Cantabria), consideradas Patrimonio de la Humanidad, así como en otras cuevas de la cornisa cantábrica y en la Cueva de Maltravieso (Cáceres) hemos llevado a cabo investigaciones encaminadas a la conservación de las pinturas rupestres para las generaciones futuras. En todos estos casos es el material pétreo el que sufre colonización por bacterias, hongos, líquenes, o incluso pequeñas plantas vasculares, experimentando un deterioro que puede suponer la erosión de la obra y pérdida de relieves o pigmentos. También, y en relación con materiales más modernos, se ha evaluado el biodeterioro de películas cinematográficas pertenecientes al Patrimonio Cultural de Cuba (Figura 2). En este caso, el soporte de celulosa y la capa sensible de gelatina en condiciones poco adecuadas de conservación, son deterioradas por los microorganismos, principalmente por hongos (Vivar et al., 2013).



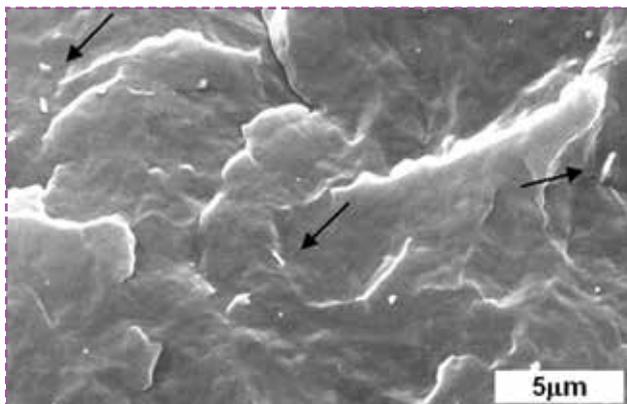
**Fig. 1.** Bioensuciamiento por protozoos del género *Vorticella* de tubos de titanio utilizados en los condensadores de centrales nucleares.



**Fig. 2.** Biodeterioro por hongos de películas cinematográficas en color del Patrimonio Cultural de Cuba.

### BIODEGRADACIÓN DE POLÍMEROS NANOCOMPUESTOS PARA APLICACIONES ECOLÓGICAS Y MÉDICAS

El diseño de nuevos materiales basados en compuestos de naturaleza híbrida (órgano-inorgánica) a través de interacciones a escala nanométrica es, hoy en día, un gran desafío debido a la posibilidad de crear materiales con unas características estructurales (mecánicas) y funcionales (eléctricas, ópticas, etc.) muy mejoradas. En esta línea de investigación, estamos interesados en desarrollar nuevos biopolímeros avanzados basados en fulerenos (IFs) y nanotubos inorgánicos (INTs) que, además de presentar las excelentes propiedades mecánicas de los nanocompuestos, ofrezcan la ventaja añadida de ser respetuosos con el medio ambiente y biodegradables, y puedan presentar biocompatibilidad y propiedades funcionales específicas. Estudios previos llevados a cabo en colaboración con el Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros del CSIC han puesto de manifiesto la buena dispersión de nanopartículas de fulerenos inorgánicos ( $WS_2$ ), en distintas matrices poliméricas mediante métodos convencionales de procesado desde el estado fundido sin añadir surfactantes o compatibilizantes (Naffakh et al., 2013). En el mismo sentido, se ha podido incorporar una nueva generación de nanotubos inorgánicos ( $MoS_2$ ) en una matriz de polipropileno, que es uno de los polímeros de mayor consumo y que más interés científico y tecnológico ha despertado en el campo de los nanocompuestos poliméricos, debido a su bajo coste y gran versatilidad, tanto en lo referente a sus procesos de transformación como a sus aplicaciones (Figura 3). Las propiedades térmicas, mecánicas y tribológicas de los nuevos nanocompuestos basados en nanotubos inorgánicos son excepcionales en comparación con otros nanorrefuerzos como nanoarcillas, o nanotubos de carbono (Naffakh et al., 2012). Por tanto, la incorporación de este tipo de nanorrefuerzos en matrices poliméricas biodegradables se presenta como una alternativa de gran relevancia en el desarrollo de nuevos materiales nanocompuestos más

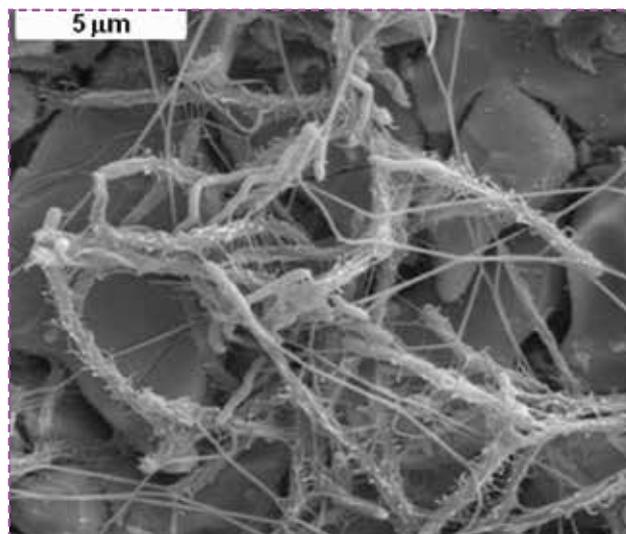


**Fig. 3.** Nanocompuestos avanzados de polipropileno y nanotubos inorgánicos (INT-MoS<sub>2</sub>).

ligeros y de altas prestaciones. Pretendemos generar la instrumentación y metodología de control adecuadas para ajustar las propiedades deseadas en los nuevos materiales según su aplicación. También, se analizará la influencia de las variables físico-químicas de los materiales sobre el proceso de biodegradación. Uno de los objetivos principales es evaluar la actividad de los microorganismos sobre el proceso de degradación de los nuevos materiales para su reciclaje selectivo.

### BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS CON METALES PESADOS Y RADIONÚCLIDOS

Cuando los microorganismos colonizan las superficies son capaces de formar *biofilms*, que en algunos casos, como hemos descrito, están involucrados en procesos de biodeterioro. Sin embargo, en una extensión positiva de esta propiedad, nosotros hemos utilizado estos *biofilms* para descontaminar aguas gracias a la capacidad que tienen para retener contaminantes. Hemos estudiado cómo productos vitrocerámicos, desarrollados por el Instituto de Cerámica y Vidrio del CSIC a partir de productos reciclables, pueden ser colonizados por microorganismos presentes en aguas residuales y cómo las biopelículas formadas son capaces de retener metales pesados ayudando a la purificación de estas aguas (García et al., 2003). Asimismo hemos observado que se pueden formar biopelículas en aceros inoxidables (Figura 4) y en titanio sumergidos en aguas ultrapuras y radiactivas en centrales nucleares (Sarró et al., 2005). Estas biopelículas ayudan a descontaminar



**Fig. 4.** Biofilm bacteriano desarrollado sobre acero inoxidable capaz de retener radionúclidos del agua ultrapura y radiactiva de las piscinas de almacenamiento de combustible nuclear gastado de las centrales nucleares.

estas aguas y la patente española entre la UPM e Iberdrola, extendida, a los EEUU que recoge estos procesos recibió un accésit en el primer concurso de patentes de la Comunidad de Madrid (Moreno y Montero, 2008).

## PUBLICACIONES

- García AM, Villora JM, Moreno DA, Ranninger C, Callejas P, Barba MF** (2003) Heavy metals bioremediation from polluted water by glassceramic materials. *J Am Ceram Soc* 86:2200-2202.
- Grupo BIO-MAT**, página web: <http://www.upm.es/observatorio/vi/index.jsp?pageac=grupo.jsp&idGrupo=222>
- Ibars JR, Moreno DA, Ranninger C** (1996) Corrosion analysis of the inner wall of biogas containers. In: *Microbially Influenced Corrosion of Materials*, eds. E Heitz, H-C Flemming, W Sand. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 231-241.
- Moreno DA** (2012) Notes on: Microbiologically Influenced Corrosion (MIC), [www.ibbsonline.org/educational/leaflets/MIC.pdf](http://www.ibbsonline.org/educational/leaflets/MIC.pdf)
- Moreno DA, Montero F** (2008) Bioremediation method which is used to concentrate and eliminate radionuclides in radioactive water. US Patent No 7326345 B2

- Moreno DA, Cano E, Ibars JR, Polo JL, Montero F, Bastidas JM** (2004) Initial stages of microbiologically influenced tarnishing on titanium after 20 months of immersion in freshwater. *Appl Microbiol Biotechnol* 64:593-598.
- Naffakh M, Díez-Pascual AM, Marco C, Ellis G, Gómez-Fatou MA** (2013) Opportunities and challenges in the use of inorganic fullerene-like nanoparticles to produce advanced polymer nanocomposites. *Prog Polym Sci* 38:1163-1231.
- Naffakh M, Díez-Pascual AM, Remškar M, Marco C** (2012) New inorganic nanotube polymer nanocomposites: improved thermal, mechanical and tribological properties in isotactic polypropylene incorporating INT-MoS<sub>2</sub>. *J Mater Chem* 22:17002-17010.
- Sarró MI, García AM, Rivalta VM, Moreno DA, Arroyo I** (2006) Biodegradation of The Lions Fountain at the Alhambra Palace, Granada (Spain). *Build Environ* 41:1811-1820.
- Sarró MI, García AM, Moreno DA** (2005) Biofilm formation in spent nuclear fuel pools and bioremediation of radioactive water. *Int Microbiol* 8:223-230.
- Vivar I, Borrego S, Ellis G, Moreno DA, García AM** (2013) Fungal biodegradation of color cinematographic films of the cultural heritage of Cuba. *Int Biodeter Biodegr* 84:372-380.

# Grupo de Ecología Microbiana de la Universidad Autónoma de Barcelona

**Isabel Esteve, Antonio Solé, Elia Diestra, Juan Maldonado, Zully M. Puyen, Alvaro Burgos**  
Departament de Genètica i Microbiologia, Universitat Autònoma de Barcelona,  
Edifici C, Campus de UAB, Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), 08193, Barcelona

El grupo de Ecología microbiana de la Universidad Autónoma de Barcelona, está especializado en los microorganismos fotótrofos, especialmente en las cianobacterias de ambientes extremos y en el estudio de su potencial como bioreparadores de ambientes contaminados por metales.

El equipo de investigación lo coordinan: la **Dra Isabel Esteve** (catedrática-profesora emérita) y el **Dr. Antoni Solé** (profesor agregado). Se han formado en el equipo en los últimos 5 años: la **Dra. Elia Diestra**; el **Dr. Juan Maldonado**; la **Dra. Zully M. Puyen** y el **Dr. Alvaro Burgos** además de diferentes estudiantes de máster.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la contaminación por metales pesados es un grave problema ambiental, que se genera principal-

mente por la actividad agrícola e industrial. Los metales pesados constituyen un grupo de aproximadamente 40 elementos de la tabla periódica, con diferente grado de toxicidad para los seres vivos que habitan en diferentes tipos de ecosistemas, por lo que la búsqueda de estrategias que puedan remediar estos ambientes ha sido incesable y con un gran interés centrado en la bioremediación que implica el uso de organismos vivos o productos derivados, para reducir, eliminar o inmovilizar contaminantes ambientales.

El delta del Ebro (Tarragona, España), un ecosistema de gran riqueza ecológica y agrícola, está situado en la desembocadura del río Ebro, el cual aporta una gran cantidad de sedimentos que crean una superficie de más de 320 km<sup>2</sup> en la que se forman distintos tipos de ecosistemas, como los tapetes microbianos, las marismas, las dunas y las playas de arena.