

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
- 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-MoS₂. *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 km² en la que se forman distintos tipos de ecosistemas, como los tapetes microbianos, las marismas, las dunas y las playas de arena.



Delante, de izquierda a derecha: Dra. Elia Diestra; Mireia Burnat (máster); Dra. Isabel Esteve; Eduard Villagrasa (máster); Dra. Zully M. Puyen; Pilar Jarque (técnico especialista laboral); Ana M. Domènech (máster). Detrás: Dr. Juan Maldonado y Dr. Antoni Solé.

Una amplia zona del delta del Ebro está cubierta por los tapetes microbianos, los cuáles son ecosistemas litorales bentónicos estratificados que se desarrollan en las interfases agua-sedimento. Los tapetes microbianos están formados por poblaciones de distintos microorganismos, que se distribuyen verticalmente y a nivel de microescala en capas de distintos colores y en función de distintos parámetros físico-químicos. Entre los microorganismos que habitan estos ecosistemas, las cianobacterias, que tienen una gran capacidad para adaptarse a condiciones ambientales muy extremas para la vida, son las más abundantes y además forman una compleja red que ayuda a la estabilización de los sedimentos deltaicos. El delta del Ebro y los deltas en general reciben las aguas de los ríos que arrastran en su curso los contaminantes y que ponen en peligro las poblaciones de micro y macroorganismos.

OBJETIVOS DEL GRUPO

Desde hace muchos años nuestro grupo de trabajo se ha especializado en el aislamiento y cultivo de los microorganismos fotótrofos y en especial de las cianobacterias. Estos microorganismos tienen una especial capacidad tanto de adaptación a condiciones muy limitantes para la vida como también a tolerar o resistir la presencia de metales.

Nuestro principal objetivo, en los últimos años, ha sido determinar la capacidad bioindicadora y bioreparadora de



Fig. 1. Imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido de *Geitlerinema* sp DE2011 (cianobacteria filamentosas) y *Scenedesmus* sp DE2009 (microalga), ambos microorganismos aislados del ambiente natural y con capacidad para captar metales. Cortesía: Alvaro Burgos & Isabel Esteve.

diferentes microorganismos (cianobacterias y microalgas) principalmente los aislados del ambiente natural, mediante técnicas microscópicas de elevada resolución.

Las técnicas de microscopía que hemos utilizado, para cumplir dichos objetivos se han fundamentado en la utilización del microscopio laser confocal (CLSM) (distintas prestaciones) y la microscopía electrónica tanto de barrido (SEM) como de transmisión (TEM).

Tanto el SEM como el TEM se han utilizado además acoplados a un sistema de difracción por Rayos X (EDX) para determinar el espectro de metales de las distintas muestras. Estas técnicas permiten:

1. Analizar los cambios en la diversidad y biomasa de las cianobacterias y de las microalgas como respuesta a distintos metales en microcosmos y en el ambiente natural: *in situ*, *in vivo* y a nivel de microescala.
2. Determinar la tolerancia-resistencia de las cianobacterias seleccionadas a los distintos metales, mediante el CLSM acoplado a un espectrofluorómetro (CLSM-landa scan). Además, una aplicación muy interesante de esta técnica es que permite, mediante la incorporación de fluorocromos específicos, determinar el estado fisiológico de las células, dato que consideramos muy importante para analizar la viabilidad de los microorganismos frente a los metales.
3. Evaluar la eficiencia en la captación de metales, mediante la combinación de la microscopía electrónica y métodos químicos.

La capacidad de acumular metales extra e intracelularmente la hemos analizado mediante el SEM-EDX y el TEM-EDX después de un proceso de optimización adecuado a los distintos microorganismos y metales.

El SEM permite reconocer las envueltas celulares (exopolímeros), y gracias al microanálisis por rayos X, determinar si se produce bioadsorción de los metales a nivel de las capas de exopolisacáridos (EPS).

El TEM permite examinar la ultraestructura de los microorganismos y valorar si se producen cambios ultraestructurales significativos con respecto a los cultivos control (sin contaminantes).

Además, mediante el TEM-EDX se obtiene información sobre la capacidad de los diferentes microorganismos para bioacumular metales intracitoplasmáticamente, y mediante un espectrómetro de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OPS), se evalúa la cantidad de metal retirado del medio de cultivo por parte de los distintos microorganismos.

Aplicando una combinación de estas metodologías hemos valorado que microorganismos podrían ser considerados como buenos bioindicadores y cuales presentan un buen potencial para ser ensayados en biorremediación.

También se han hecho estudios en microorganismos heterótrofos con el mismo objetivo.

PUBLICACIONES REPRESENTATIVAS DE LOS ÚLTIMOS CINCO AÑOS

- Solé A, Diestra E, Esteve I.** (2009). Cyanobacterial biomass determined at microscale level in unpolluted and polluted microbial mats. CLSM image analysis. *Microbial Ecol* 57:649-656.
- Burnat M, Diestra E, Esteve I, Solé A.** (2009). *In situ* determination of the effects of lead and copper on cyanobacterial populations in microcosms. *PLoS ONE*. 4(7):1-6 e6204.doi:10.1371/journal.pone.0006204.
- Wierzbos J, de los Ríos A, Dávila AF, Cámar B, Vale S, Esteve I, Solé A, Roldán M, Rodríguez R, Sánchez-Almazo IM, McKay CP, Ascaso C.** (2009). Primary producers in extreme arid environment of the Atacama Desert: Where, how and when?. *Geochim Cosmochim Acta* 73: 1439.
- Burnat M, Diestra E, Esteve I, Solé A.** (2010). Confocal laser scanning microscopy coupled to a spectrofluorimetric detector as a rapid tool for determining *in vivo* effect of metals on phototrophic bacteria. *Bull Environ Contam Toxicol* 84:55-60.
- Maldonado J, Diestra E, Huang Kong Ping L, Domènech AM, Villagrasa E, Puyén ZM, Duran R, Esteve I, Solé A.** (2010). Isolation and identification of a highly lead and copper resistant bacteria from a marine microbial mat in Spain. *Microbiol* 60: 113-120.
- Maldonado J, de los Ríos A, Esteve I, Ascaso C, Puyén Z M, Brambilla C, Solé A.** (2010). Sequestration and *in vivo* effect of lead on DE2009 microalga, using high-resolution microscopic techniques *J Hazard Mat* 183: 44-50.
- Maldonado J, Solé A, Puyén Z M, Esteve I.** (2011). Selection of bioindicators to detect lead pollution in Ebro delta microbial mats, using high-resolution microscopic techniques *Aquat Toxicol* 104:135-144.
- Giloteaux L, Solé A, Esteve I, Duran R.** (2011). Bacterial community composition characterization of a lead-contaminated *Microcoleus* sp. consortium. *Environ Sci Pollut Res Int.* 18: 1-13.
- Puyén ZM, Villagrasa E, Maldonado J, Esteve I, Solé A.** (2011). Viability and biomass of *Micrococcus luteus* DE2008 at different salinity concentrations determined by specific fluorochromes and CLSM-Image Analysis. *Curr Microbiol* 64: 75-80.
- Puyén ZM, Villagrasa E, Maldonado J, Diestra E, Esteve I, Solé A.** (2012). Biosorption of lead and copper by heavy-metal tolerant *Micrococcus luteus* DE2008. *Bioresource Technol* 126: 233-237.
- Burgos A, Seder-Colomina M, Maldonado J, Solé A, Esteve I.** (2012). Scanning electron Microscopy coupled to an Energy Dispersive X-ray detector to study copper removal on different phototrophic microorganisms. In *Current microscopy contributions to advances in science and technology* (Microscopy book series. Chapter code: 158)
- Seder-Colomina M, Burgos A, Maldonado J, Solé A, Esteve I.** (2013). The effect of copper on different phototrophic microorganisms determined *in vivo* and at cellular level by confocal laser microscopy. *Ecotoxicology* 22: 199-205.
- Esteve I, Maldonado J, Burgos A, Diestra E, Burnat M, Solé A.** (2013). Confocal laser scanning and electron microscopic techniques as powerful tools for determining the *in vivo* effect and sequestration capacity of lead in cyanobacteria. In *Cyanobacteria: Toxicity, Ecology and Management*. ISBN Nova Science Publishers, Inc. (In press.)