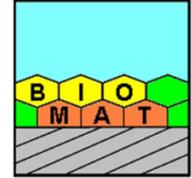


Grupo de Investigación en Bioingeniería y Materiales (BIO-MAT)



ANA M GARCÍA, MOHAMMED NAFFAKH, LUIS E GARCÍA CAMBRONERO, JOSÉ M RUIZ-ROMÁN, AGUSTÍN GARCÍA-BERROCAL, CRISTINA MONTALVO, PEDRO ARMISÉN

Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. c/ José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid.

✉ ana.garcia.ruiz@upm.es



Figura 1. Miembros del Grupo BIO-MAT.

El Grupo de Investigación en Bioingeniería y Materiales (BIO-MAT) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) se fundó hace casi 20 años por el Profesor Diego A. Moreno con el objetivo de dar respuesta y buscar soluciones a los problemas planteados desde el sector industrial relativos, fundamentalmente, a la interacción entre los materiales y los microorganismos. Procesos de corrosión microbiana, bioensuciamiento y biodeterioro, biorremediación de aguas contaminadas, así como desarrollo de nuevos materiales para diferentes aplicaciones han constituido, desde su origen, las principales líneas de investigación del Grupo. No obstante, con el paso de los años algunas de estas líneas han perdido intensidad en favor de otras nuevas que han surgido como consecuencia de las necesidades de la sociedad y de los distintos grupos

de investigación y empresas con las que nos mantenemos en estrecho contacto, así como de la incorporación de nuevos miembros al Grupo. En la actualidad el Grupo BIO-MAT (Figura 1), dirigido por la Profesora Ana M García, está constituido por un equipo multidisciplinar de ingenieros, físicos y biólogos que desarrollan su actividad investigadora en tres Escuelas de la UPM: la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía y la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial.

Se describen, a continuación, las principales líneas de investigación y trabajos que hemos estado desarrollando en los últimos años a través de la participación en diferentes proyectos de investigación y contratos con empresas.

Evaluación integral de la calidad del aire urbano y cambio climático

En el Programa AIRTEC-CM "Evaluación integral de la calidad del aire urbano y cambio climático (Tecnología 2018, Ref. S2018/EMT-4329, <https://airtec-cm.es>) se ha profundizado en el conocimiento de las interacciones entre la calidad del aire biótico, abiótico, meteorología y clima de la Comunidad de Madrid para avanzar en la evaluación integral de la exposición e impactos de la contaminación atmosférica en las ciudades. En este programa han colaborado 10 grupos de investigación de 5 instituciones diferentes (Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Universidad Complutense

de Madrid (UCM), Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y Hospital Clínico San Carlos (HCSC) además de 2 administraciones públicas (Ayuntamiento de Madrid y Comunidad de Madrid) y diversas empresas colaboradoras y grupos asociados. El grupo BIO-MAT se ha centrado en la caracterización de los compuestos biológicos presentes en la atmósfera urbana y sus variaciones espaciales y estacionales. Anteriormente el Grupo BIO-MAT fue coordinador del Programa AIRBIOTA-CM “Conocer y modelizar la contaminación biológica del aire urbano” (Programa Tecnología 2013, Ref. S2013-MAE-2874) descrito en el especial de SEM@foro de diciembre de 2018. Los resultados de la composición microbiana del aire recopilados durante dos años en diferentes puntos de la Comunidad de Madrid en AIRBIOTA-CM se han utilizado en AIRTEC-CM para la confección de una base de datos común que ha permitido la caracterización exhaustiva de las comunidades microbianas asociadas con el grado de urbanización, estación del año, factores meteorológicos y contaminantes fisicoquímicos (Núñez et al, 2021; Cordero et al, 2021). Asimismo, se ha analizado el impacto de las tormentas de polvo procedentes del desierto del Sáhara en la calidad biológica del aire de la Comunidad de Madrid y sus posibles efectos sobre la salud de la población (Núñez et al, 2024). Además de aportar datos históricos, el Grupo BIO-MAT también ha coordinado la realización de campañas experimentales de medida para apoyar y complementar los datos existentes y aportar información necesaria para la interpretación de resultados de la calidad del aire bajo un enfoque holístico. La metodología desarrollada por el Grupo ha servido para obtener nuevos datos acerca de la composición biológica del aire en espacios interiores y su relación con la calidad del aire exterior (Núñez y García, 2022; 2023).

Materiales biopoliméricos avanzados con nanoláminas 2D-TMDCS

Esta línea de investigación se ha dirigido a la generación de una nueva clase de materiales bionanocompuestos Bio-PNCs avanzados basados en nanolaminas nove-

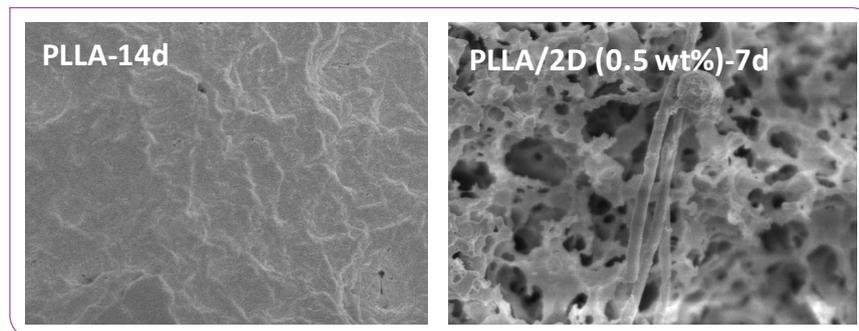


Figura 2. Micrografías SEM del biopolímero PLLA y su nanocompuesto con 0.5% de 2D-WS₂ observadas a los tiempos de incubación indicados, 14 y 7 días (Naffakh et al, 2020).

das 2D de dicalcogenuros de metales de transición (TMDCs), similares al grafeno, con prestaciones específicas y nanoestructura controlada (Naffakh et al, 2020; 2021). En comparación con el grafeno, estos materiales se distinguen por tener unas propiedades físicas y químicas excepcionales ligadas a su estructura molecular interna, que permiten concebir muy variadas aplicaciones. Su uso se está extendiendo especialmente en el desarrollo de nuevos materiales con elevadas propiedades mecánicas y de barrera. Mediante la aplicación de la aproximación del diseño multi-escala, se ha podido estudiar distintos fenómenos morfológicos a varios niveles de orden, y sus relaciones con la formulación, para predecir/developar diversos comportamientos macroscópicos de materiales biopoliméricos avanzados reforzados con nanoestructuras novedosas de disulfuro de wolframio (WS₂). De especial relevancia ha sido el estudio de la influencia del proceso de biodegradación de dichos sistemas inducido por la presencia de actinobacterias (Naffakh et al, 2020). En particular, se ha podido establecer la dependencia del proceso de cristalización y de la morfología desarrollada en los Bio-PNCs en función del tiempo de incubación y de la composición (Figura 2).

Nuevas espumas sintácticas de aluminio

Las espumas sintácticas de matriz metálica (MMSF) son materiales celulares avanzados constituidos por un sistema de un mínimo de dos fases, en el que una dispersión de partículas huecas se encuentra embebida por una matriz metálica continua. La incorporación de cargas porosas favorece el desarrollo de materiales de

baja densidad con un comportamiento excepcional para amortiguar vibraciones, impactos y efectos explosivos, apantallando energías acústicas, térmicas y electromagnéticas. Esta línea se ha centrado en el desarrollo de una nueva espuma sintáctica de aluminio (ASF) con componentes de puntos de fusión similares mediante la técnica de colada por infiltración (ICT) (Sánchez de la Muela et al, 2022). Los rellenos de esta nueva espuma son nódulos de aluminio expandido, que se espumaron con residuos de roca molida de canteras de mármol blanco (Figura 3). Este enfoque proporciona la ventaja de utilizar residuos de la industria minera como materias primas y componentes metálicos (aluminio) altamente reciclables, lo que contribuye a limitar la explotación excesiva de fuentes naturales.

Corrosión microbiana en la industria

Se considera que la corrosión microbiana (*Microbiologically Influenced Corrosion, MIC*) es responsable del 20% de las pérdidas totales por corrosión, lo que equivale a un 0,3-0,8% del PIB de un país desarrollado. Las industrias petroquímica y energética son las principales afectadas por estos fenómenos de corrosión microbiana, pero también otras como la del papel y cartón, la de tratamiento de residuos y la naval. Desde el punto de vista de la investigación, esta última es especialmente interesante porque los metales en agua de mar están sometidos a un entorno que promueve la corrosión *per se*. El Grupo BIO-MAT ha estudiado los procesos de corrosión por picaduras en el acero al carbono del interior del casco de tres remolcadores en servicio (Núñez et al, 2023). La combinación

de análisis metalográficos, fisicoquímicos y moleculares permitieron determinar el tipo de corrosión, dando como resultado un modelo descriptivo para explicar las causas que condujeron al desarrollo de MIC. Asimismo, se ensayó un protocolo de tratamiento *in situ* y se sugirieron medidas a implementar durante el protocolo de mantenimiento estándar de los remolcadores. Este trabajo pone de manifiesto la importancia del diseño de ingeniería para prevenir la MIC en los transportes marítimos y proporciona algunas pautas para su manejo.

Metrología industrial, calibración y mantenimiento avanzado de sensores y procesos

Esta línea se ha forjado como consecuencia de la intensa colaboración entre la Universidad y la empresa a través de diferentes proyectos de metrología industrial relacionados fundamentalmente con la temperatura, la medida de caudales y la calibración de medidores de flujo/temperatura en el contexto de la logística de hidrocarburos líquidos y se ha consolidado a través de la Cátedra Empresa UPM-Exolum de Metrología (<https://short.upm.es/uw9lx>), dirigida por la Profesora Cristina Montalvo. La Cátedra está dedicada al estudio de la estabilidad metrológica de equipos industriales de medida de volumen y temperatura y al análisis de incertidumbre de diferentes sistemas de medida. Se cuenta además con el Laboratorio de calibración de sensores de temperatura, acreditado por ENAC, y dirigido por el Profesor Agustín García-Berrocal. Entre los últimos trabajos realizados destaca el desarrollo de un modelo físico simplificado del caudalímetro másico de Coriolis (CMF) que permite identificar las principales magnitudes de influencia del CMF como medidor de masa (García-Berrocal et al, 2019).

En el ámbito del procesamiento de señales el Grupo tiene amplia experiencia en la implementación de metodologías avanzadas de mantenimiento predictivo aplicado a equipos y sensores ubicados en centrales nucleares (Montalvo et al, 2022; Torres et al, 2024) lo que ha servido para participar en el proyecto europeo H2020 CORTEX (Core Monitoring Techniques, Experimental Validation and Demonstration).

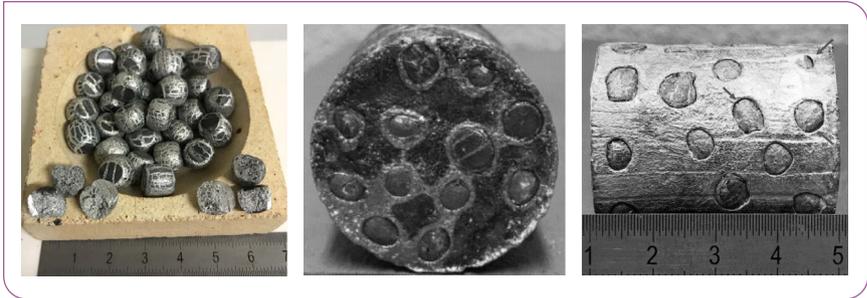


Figura 3. Nódulos de espuma de aluminio (izquierda) y espuma sintáctica de aluminio fundido (centro y derecha) (Sánchez de la Muela et al, 2022).

Referencias

- Cordero José M, Núñez A, García Ana M, Borge R (2021). Assessment and statistical modelling of airborne microorganisms in Madrid. *Environmental Pollution*, 269, 116124 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116124>
- García-Berrocal A, Montalvo C, Carmona P, Blázquez J (2019). The Coriolis mass flow meter as a volume meter for the custody transfer in liquid hydrocarbons logistics. *ISA transactions* 90, 311-318 <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2019.01.007>
- Montalvo C, Pantera L, Lipcsei S, Torres LA (2022). Signal processing applied in cortex project: From noise analysis to OMA and SSA methods. *Annals of Nuclear Energy* 175, 109193 <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2022.109193>
- Naffakh M, Fernández M, Shuttleworth Peter S, García Ana M, Moreno Diego A (2020). Nanocomposite materials with poly(L-lactic acid) and transition-metal dichalcogenide nanosheets 2D-TMDCs WS₂. *Polymers*, 12, 2699 <https://doi.org/10.3390/polym12112699>
- Naffakh M, Rica P, Moya-Lopez C, Castro-Osma José A, Alonso-Moreno C, Moreno Diego A (2021). The effect of WS₂ nanosheets on the non-isothermal cold- and melt-crystallization kinetics of poly(l-lactic acid) nanocomposites. *Polymers*, 13, 2214 <https://doi.org/10.3390/polym13132214>
- Núñez A, García Ana M, Guantes R, Moreno Diego A (2021). Seasonal changes dominate long-term variability of the urban air microbiome across space and time. *Environment International*, 150, 106423 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106423>
- Núñez A, García Ana M (2022). Effect of the passive natural ventilation on the bioaerosol in a small room. *Building and Environment*, 207, Part B, 108438 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108438>
- Núñez A, García Ana M (2023). The aerobiome in a hospital environment: characterization, seasonal tendencies and the effect of window opening ventilation. *Building and Environment*, 230, 110024 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110024>
- Núñez A, García Ana M, Ranninger C, Moreno Diego A (2023). Microbiologically influenced corrosion on naval carbon steel inside the hull of tugboats: a case study of prevention and control, *Biofouling*, <https://doi.org/10.1080/08927014.2023.2209013>
- Núñez A, Moreno Diego A, García Ana M (2024). Saharan dust storms affecting the center of the Iberian peninsula: effect on the urban aerobiome. *Atmospheric Environment* 328, 120522 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2024.120522>
- Sánchez de la Muela AM, García Cambronero LE, Malheiros LF, Ruiz-Román JM (2022). New Aluminum Syntactic Foam: Synthesis and Mechanical Characterization. *Materials*. 15(15):5320. <https://doi.org/10.3390/ma15155320>
- Torres LA, Montalvo C, Gavilán CJ, García-Berrocal A (2024). Anomaly detection in BWR fuel cell using neutron noise analysis techniques. *Slow control rod detection. Nuclear Engineering and Design* 416, 112770 <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2023.112770>