

Grupo de Biodegradación Medioambiental de Polímeros y Contaminantes

Concepción Abrusci

Departamento de Biología Molecular
Universidad Autónoma de Madrid (UAM)



El grupo de Biodegradación medioambiental de polímeros y contaminantes lleva en activo casi 20 años. Éste surge de la necesidad de solucionar un problema de biodeterioro del patrimonio cinematográfico, poniéndose como objetivo salvaguardar el valor cultural que supone el soporte cinematográfico. Los trabajos dirigidos por el Dr. Catalina (Profesor de Investigación del CSIC), fueron llevados a cabo al amparo de diversas instituciones, como el Instituto de la Cinematografía y de las Artes Audiovisuales (ICAA), Filmoteca Española (FE), el Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros (ICTP-CSIC) y la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Estos trabajos pioneros, tuvieron carácter multidisciplinar, aunando la microbiología y la investigación en los materiales polímeros. Estas colaboraciones dieron lugar a la puesta a punto de diversas técnicas de aislamiento microbiano y de seguimiento de la biodegradación de polímeros tales como medidas de viscosidad, o las medidas indirectas de impedancia. Estos trabajos dieron lugar al desarrollo de una metodología de estudio de la biodegradación que permitió establecer las bases para la conservación de las películas cinematográficas en sus archivos.

El grupo continuó su trayectoria con trabajos en el campo de la biodegradación de polímeros, cuyos miembros pertenecen al área de Microbiología del Departamento de Biología Molecular de la UAM y al Instituto de Ciencias y Tecnología de polímeros (CSIC). Estos trabajos profundizaron en la biodegradación de polímeros con aplicaciones en agricultura, concretamente en filmes de acolchado agrícola y también envase y embalaje. Se llevó a cabo una degradación abiótica de los polímeros, tanto fotoquímicamente como térmicamente. Se estudió la evolución de los materiales oxibiodegradables, concretamente poliolefinas y la incorporación en las formulaciones de éstas, de aditivos que actuaban como pro-oxidantes, acelerando la degradación abió-

tica de estos materiales por la radiación solar, la temperatura, el oxígeno, la humedad, etc. Mediante un protocolo establecido se aislaron e identificaron los microorganismos capaces de adherirse a las superficies de estos polímeros y se llevó a cabo el seguimiento de la biodegradación de los materiales por estas cepas. El grupo también ha estudiado la biodegradación de contaminantes como hidrocarburos polinucleares y, más recientemente, de líquidos iónicos con microorganismos específicos como *Sphingomonas paucimobilis*. Se ha podido establecer una importante correlación entre la biodegradación y la estructura química de los productos.

El grupo también ha centrado su actividad en materiales biodegradables, ya que estos últimos han ganado recientemente mucha importancia tanto académica como industrial, en particular para la protección del medio ambiente frente a los residuos de plásticos en constante aumento. Los materiales biodegradables preparados a partir de mezclas tanto de polímeros naturales como sintéticos pueden reducir el volumen de residuos plásticos en el medio ambiente debido a su biodegradación. El copolímero de etileno y acrilato de etilo (EBA) con 13% de contenido de acrilato de butilo se usó para producir mezclas con 10, 30 y 60% de almidón termoplástico (TPS). Este es un polímero natural biodegradable muy interesante desde el punto de vista medioambiental y de bajo coste, que permite obtener mezclas biodegradables. Se incorporó a la mezcla un copolímero de etileno-ácido acrílico (EAA) como agente compatibilizador al 20% de contenido con respecto a EBA. Las mezclas se caracterizaron por difracción de rayos X, espectrofotometría de transformada de Fourier (ATR-FTIR), microscopía electrónica de barrido (SEM), mediciones de ángulo de contacto de agua (CA), calorimetría de barrido diferencial (DSC) y pruebas mecánicas de esfuerzo-de-

formación. La autooxidación iniciada de las mezclas de polímeros se estudió mediante quimioluminiscencia (CL) confirmando que la presencia de la interfase de poliolefina-TPS no afectaba sustancialmente a la termoestabilidad oxidativa de los materiales. Se procedió al enterramiento de las mezclas en forma de filmes en tierra de cultivo, para llevar a cabo el aislamiento y la identificación de los microorganismos capaces de adherirse a estos polímeros y a partir de los consorcios aislados se evaluó mediante medidas directas de impedancia la biodegradación de estos materiales a los 28 días. Los porcentajes de mineralización alcanzados después de 28 días de bioensayos con los consorcios bacterianos fueron del 6.6% para EBA10% TPS y aproximadamente 15% para EBA30% TPS. La mezcla con un alto contenido de TPS, EBA60% TPS, alcanzó 60% de mineralización confirmando la biodegradación total de la fase TPS.

El alto grado de continuidad de TPS en las mezclas, demostrado en este trabajo, indica que estos sistemas de mezcla tienen el potencial de hacer que todos los dominios de TPS en la mezcla sean accesibles para la biodegradación bacteriana. Estos materiales EBA/TPS tienen el beneficio adicional de contener grandes cantidades de un recurso renovable completamente accesible para la biodegradación y, por lo tanto, representan una alternativa más sostenible a los polímeros sintéticos puros.

Por otro lado se ha abordado estudios referentes a la colonización microbiana de materiales sintéticos, ya que es una gran preocupación en muchos campos, como por ejemplo en cirugía de implantes y dispositivos médicos; por lo tanto, los materiales orgánicos hidrófilos biocompatibles con propiedades antimicrobianas inherentes son de interés para la investigación actual. Llevamos a cabo la preparación de una

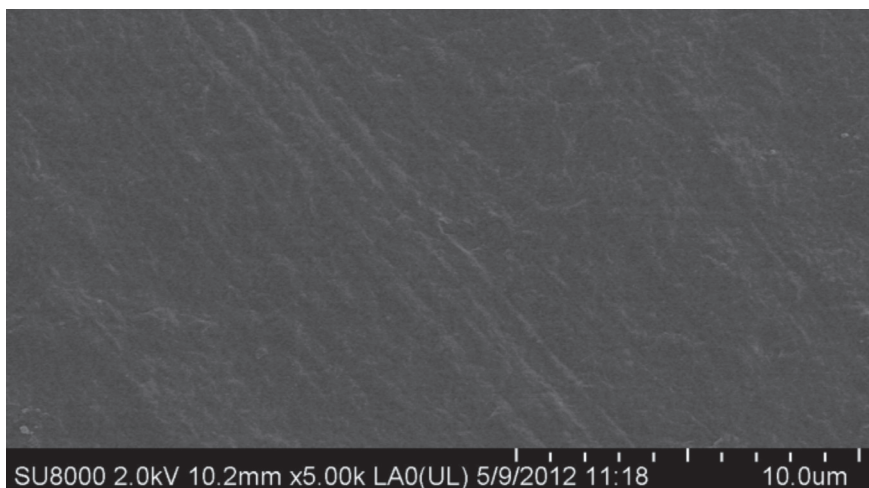


Figura 1. Polímero de (ϵ -caprolactona)

película polimérica antibacteriana y biocompatible basada en N-vinil-2-pirrolidona (VP) y acrilato de 2-hidroxietilo (HEA), utilizando dimetacrilato de etilenglicol (EGDMA) y un monómero acrílico sintético que contiene sulfadiazina químicamente anclado. Las películas basadas en polivinilpirrolidona (PVP) sintetizadas se caracterizaron mediante diferentes técnicas, (ATR-FTIR, SEM y TGA). En este estudio, se evaluaron las respuestas biofísicas de las bacterias y de la línea celular de fibroblastos murino, L929, en los materiales preparados. Se demostró que los polímeros con sulfadiazina anclada presentaban una excelente actividad antibacteriana contra *Escherichia coli*, así como una buena biocompatibilidad.

También se ha llevado a cabo con éxito la combinación de un tratamiento con plasma de oxígeno de películas de poli (ϵ -caprolactona) (Fig. 1) y un proceso de adsorción de biocidas (ampicilina, plata y sales de amonio cuaternario). Los materiales tratados con plasma condujeron a cambios no solo en las estructuras químicas, sino también en la morfología y la rugosidad de la superficie. Las estructuras de biocida adsorbidas rellenan parcialmente la rugosidad de la superficie pero al mismo tiempo mantienen la humectabilidad de la superficie. Los microorganismos ensayados (gram-positivos y gram-negativos) fueron eficientemente eliminados de los materiales a excepción de aquellos que tenían como biocida ampicilina en presencia de *P. aeruginosa*. Los estudios *in vitro* realizados con células L929 demostraron una buena biocompatibilidad de los materiales, excepto aquellos cargados con cationes de plata y la sal de amonio de cetilpiridinio. El estudio combinado de la actividad antibacteriana y la biocompatibilidad monitorizada, proporciona

una vista preliminar de la futura formación de tejido antes de realizar estudios *in vivo*.

En la actualidad se llevan a cabo estudios de biodegradación de mezcla de polímeros altamente biodegradables para aplicaciones en agricultura y envase/embalaje, profundizando en los mecanismos de biodegradación de los microorganismos aislados a partir de ellos. Por otra parte se están caracterizando polímeros naturales producidos por microorganismos con potencial biotecnológico.

PUBLICACIONES REPRESENTATIVAS DEL GRUPO

- Abrusci C, Martín-González A, Del Amo A, Corrales T y Catalina F (2004).** Biodegradation of type-B gelatine by bacteria isolated from cinematographic films. A viscometric study. *Polym Degrad Stab* 86(2): 283-291.
- Corrales T, Abrusci C, Peinado C y Catalina F (2004).** Fluorescent sensor as physical amplifier of chemiluminescence: application to the study of poly (ethylene terephthalate). *Macromolecules* 37(17): 6596-6605.
- Abrusci C, Martín-González A, Del Amo A, Catalina F, Collado J y Platas G. (2005).** Isolation and identification of bacteria and fungi from cinematographic films. *Int Biodeterior Biodegrad* 56(1): 58-68.
- Abrusci C, Marquina D, Del Amo A, Corrales T, Catalina F. (2006).** A viscometric study of the biodegradation of photographic gelatin by fungi isolated from cinematographic films. *Int Biodeterior Biodegrad* 58(3-4): 142-149.
- Abrusci C, Marquina D, Del Amo A y Catalina F. (2007).** Biodegradation of cinematographic gelatin emulsion by bacteria and filamentous fungi using indirect impedance technique. *Int Biodeterior Biodegrad* 60(3): 137-143.
- Gutiérrez MC, García-Carvajal ZY, Jobbágy M, Yuste L, Rojo F, Abrusci C, Catalina F, del Monte F y Ferrer ML (2007).** Hydrogel scaffolds with immobilized bacteria

for 3D cultures. *Chem Mater* 19(8): 1968-1973.

- Abrusci C, Marquina D, Santos A, Del Amo A, Corrales T y Catalina F. (2007).** A chemiluminescence study on degradation of gelatine: Biodegradation by bacteria and fungi isolated from cinematographic films. *J Photochem Photobiol A: Chemistry* 185(2-3): 188-197.
- Gaspard S, Oujja M, Rebollar E, Abrusci C, Catalina F y Castillejo M. (2007).** Characterization of cinematographic films by laser induced breakdown spectroscopy. *Spectrochim Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 62(12): 1612-1617.
- Gaspard S, Oujja M, Abrusci C, Catalina F, Lazare S, Desvergne J y Castillejo M. (2008).** Laser induced foaming and chemical modifications of gelatine films. *J Photochem Photobiol A: Chemistry* 193(2-3): 187-192.
- Abrusci C, Marquina D, Santos A, Del Amo A, Corrales T y Catalina F. (2009).** Biodeterioration of cinematographic cellulose triacetate by *Sphingomonas paucimobilis* using indirect impedance and chemiluminescence techniques. *Int Biodeterior Biodegrad* 63(6): 759-764.
- San Miguel V, Peinado C, Catalina F y Abrusci C. (2009).** Bioremediation of naphthalene in water by *Sphingomonas paucimobilis* using new biodegradable surfactants based on poly (ϵ -caprolactone). *Int Biodeterior Biodegrad* 63(2): 217-223.
- Abrusci C, Palomar J, Pablos JL, Rodríguez F y Catalina F. (2011).** Efficient biodegradation of common ionic liquids by *Sphingomonas paucimobilis* bacterium. *Green Chem* 13(3): 709.
- Abrusci C, Pablos JL, Corrales T, López-Marín J, Marín I y Catalina F. (2011).** Biodegradation of photo-degraded mulching films based on polyethylenes and stearates of calcium and iron as pro-oxidant additives. *Int Biodeterior Biodegrad* 65(3): 451-459.
- Larrazza I, Peinado C, Abrusci C, Catalina F y Corrales T. (2011).** Hyperbranched polymers as clay surface modifiers for UV-cured nanocomposites with antimicrobial activity. *J Photochem Photobiol A: Chemistry* 224(1): 46-54.
- Abrusci C, Pablos JL, Marín I, Espí E, Corrales T y Catalina F. (2012).** Photodegradation and biodegradation by bacteria of mulching films based on ethylene-vinyl acetate copolymer: Effect of pro-oxidant additives. *J Appl Polym Sci* 126(5): 1664-1675.
- Corrales T, Larrazza I, Catalina F, Portolés T, Ramírez-Santillán C, Matesanz M y Abrusci C. (2012).** In vitro biocompatibility and antimicrobial activity of poly (ϵ -caprolactone)/montmorillonite nanocomposites. *Biomacromolecules* 13(12): 4247-4256.
- Morro A, Catalina F, Corrales T, Pablos J, Marín I y Abrusci C. (2016).** New blends of ethylene-butyl acrylate copolymers with thermoplastic starch. Characterization and bacterial biodegradation. *Carbohydr Polym* 149: 68-76.
- Morro A, Abrusci C, Pablos JL, Marín I, García FC y García JM. (2017).** Inherent antibacterial activity and in vitro biocompatibility of hydrophilic polymer film containing chemically anchored sulfadiazine moieties. *Eur Polym J* 91: 274-282.
- Morro A, Catalina F, Pablos J, Corrales T, Marín I y Abrusci C. (2017).** Surface modification of poly (ϵ -caprolactone) by oxygen plasma for antibacterial applications. Biocompatibility and monitoring of live cells. *Eur Polym J* 94: 405-416.