



## CARACT4BIO. Cómo las propiedades de los biopolímeros influyen su biodegradación

El proyecto CARACT4BIO, desarrollado por AIMPLAS en colaboración con empresas del sector del plástico de la Comunidad Valenciana, ha abordado la biodegradabilidad, como uno de los temas clave en la transición del sector hacia un modelo económico más sostenible. Con este proyecto, financiado por IVACE+i y los fondos FEDER, se espera generar herramientas aplicables a la fase de diseño y formulación de nuevos bioplásticos biodegradables, que permitan que las empresas aceleren sus procesos de desarrollo e innovación. Para ello, CARACT4BIO determinará la correlación existente entre las características del material, a nivel químico, térmico y físico, y su dinámica de biodegradación en condiciones de compostabilidad industrial, dando lugar a la definición de los factores más relevantes a nivel de biodegradación asociados directamente con el diseño del material.

**Giovanni Gadaleta<sup>1</sup>, Iván Navarro Baena<sup>2</sup>, Jose Angel Ramos<sup>2</sup>, Silvia Oliver<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> AIMPLAS (Instituto Tecnológico del Plástico) – Laboratorio de Biodegradabilidad y Compostabilidad

<sup>2</sup> Prime Biopolymers

<sup>3</sup> ITC Packaging – Ibi Site



## LOS BIOPLÁSTICOS BIODEGRADABLES Y SUS PROPIEDADES

La mala gestión de los residuos plásticos ha generado en los últimos años diversos problemas ambientales, sociales y económicos. A nivel europeo se han adoptado distintas soluciones para abordar estos desafíos, entre ellas la implementación del Reglamento de Envases y Residuos de Envases (PPWR) y la Directiva sobre Plásticos de un Solo Uso (SUP). En línea con estas normativas, el uso de bioplásticos biodegradables aplicable a ciertos productos se establece como una alternativa a los plásticos convencionales.

Según European Bioplastics, se considera bioplástico cualquier material producido a partir de fuentes biológicas, aquellos que sean biodegradables o que posean ambas características<sup>1</sup>. En este contexto, la biodegradación se define como la descomposición química del material, mediada por microorganismos presentes de forma natural en el entorno, que da lugar a sustancias naturales como agua, CO<sub>2</sub> y biomasa. Este proceso depende tanto del material como del ambiente en el que ocurre. Es importante señalar que, bajo esta definición, no se establece un límite temporal para la biodegradación ni se consideran otras propiedades relacionadas con ella.

Un concepto complementario a la biodegradabilidad es la compostabilidad de un bioplástico. Según los estándares ASTM e ISO, se define como plástico compostable aquel material biológicamente degradable durante el proceso de compostaje, que da lugar a la formación de dióxido de carbono, agua, compuestos inorgánicos y biomasa, a una velocidad similar a la de otros materiales compostables conocidos, sin generar residuos tóxicos ni fragmentos visibles.

En este caso, el concepto de biodegradabilidad se enmarca en un tiempo específico, comparando su velocidad con el de otros materiales compostables. Además, se tiene en cuenta la generación de residuos y los efectos sobre el compost resultante. La compostabilidad, por tanto, no solo comprende la biodegradación, sino también fenómenos de desintegración y ecotoxicidad, cada uno de ellos regulado por estándares específicos. La evaluación de estas propiedades se presenta en las normas EN 13432 y EN 14995, aplicadas respectivamente a envases y otros productos.

En el caso de la biodegradabilidad, es posible aplicar diferentes metodologías de evaluación relativas a normas internacionales. El estándar ISO 14855 es uno de los más adoptados para evaluar la biodegradabilidad de los bioplásticos en condiciones de compostaje. De acuerdo con el esquema de compostabilidad industrial (norma EN 13432), que cita a dicha norma, la biodegradabilidad debe ser superior al 90% en un máximo de 6 meses. Esta evaluación se lleva a cabo principalmente midiendo la cantidad de CO<sub>2</sub> que resulta de la transformación del C-polimérico durante el proceso, en condiciones controladas de temperatura, humedad y oxígeno.

En esta línea, el tiempo necesario para tener una visión sobre la biodegradabilidad de los plásticos compostables es relativamente largo, en comparación con el requerido para evaluar las características mecánicas, físicas o químicas. Por su parte, dichas propiedades pueden influir significativamente la biodegradabilidad de los bioplásticos. De hecho, un polímero puede alcanzar, en un determinado tiempo, un valor diferente de biodegradación en comparación con el mismo polímero con distintas propiedades. Funabashi et al. (2009)<sup>2</sup> reportaron que la policaprolactona (PCL) procedente de diferentes productos mostró una variabilidad en la biodegradación, pasando de casi un 90% a aproximadamente un 20% en un período de 20 días. Además de los polímeros utilizados, la biodegradabilidad también puede verse afectada por aditivos específicos, plastificantes o cargas que a menudo se emplean para mejorar ciertas propiedades de los bioplásticos. Como lo demuestra el estudio de Brdlík et al. (2022)<sup>3</sup>, la adición de acetil tributilcitrato o de polietilenglicol puede aumentar en un 15% o reducir en un 30% la biodegradación del PLA, respectivamente.

Es importante resaltar el efecto de las propiedades asociadas a la matriz polimérica (morfología, cristalinidad, unidad constitucional, entrecruzamiento, peso molecular, densidad, polaridad, etc.) y a las características superficiales (grado de hidrofobicidad/hidrofilia, rugosidad, superficie disponible del polímero, espesor, etc.), sobre la biodegradación. Como se indica en el estudio de Bher et al. (2022)<sup>4</sup>, una cadena polimérica altamente flexible es más accesible al ataque de los microorganismos,

<sup>1</sup> European Bioplastics, What are bioplastics?

<sup>2</sup> Funabashi, M., Ninomiya, F., & Kunioka, M. (2009). Biodegradability evaluation of polymers by ISO 14855-2. *International journal of molecular sciences*, 10(8), 3635-3654.

<sup>3</sup> Brdlík, P., Novák, J., Borvka, M., Hálek, L., & Lenfeld, P. (2022). The influence of plasticizers and accelerated ageing on biodegradation of PLA under controlled composting conditions. *Polymers*, 15(1), 140.

<sup>4</sup> Bher, A., Mayekar, P. C., Auras, R. A., & Schvezov, C. E. (2022). Biodegradation of biodegradable polymers in mesophilic aerobic environments. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(20), 12165.

mientras que cadenas más complejas son más difíciles de biodegradar. Valores de temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) iguales o inferiores a la temperatura utilizada durante el compostaje favorecen la biodegradación. Además, una fracción cristalina alta reduce la biodegradación, ya que es más probable que los microorganismos inicien el proceso de biodegradación en la región amorfa del polímero. Cuanto mayor sea el peso molecular (Mw) del polímero, más difícil será para los microorganismos asimilar los segmentos de la cadena, lo que reduce la tasa de biodegradación. En cuanto a las propiedades de la superficie, es comprensible que la biodegradación se acelere en muestras más accesibles, es decir, con baja hidrofobicidad, alta rugosidad y mayor área superficial.

### ¿EN QUÉ SE ENFOCA EL PROYECTO CARACT4BIO?

En este contexto, el proyecto CARACT4BIO tiene como objetivo general identificar una correlación entre ciertos parámetros fisicoquímicos que caracterizan un material biodegradable y su respectiva biodegradabilidad en condiciones de compostaje industrial. Específicamente, se analizarán ciertas propiedades físicas, químicas y térmicas que pueden influir directa o indirectamente en el proceso de biodegradación de diferentes materiales biodegradables representativos de diferentes tipos de productos.

En particular, CARACT4BIO se propone asociar a diferentes familias de bioplásticos compostables los parámetros que más influyen en su biodegradación, yendo más allá de una visión global y detallando los polímeros individuales que los componen.

En este contexto, AIMPLAS, a través de una estrecha colaboración con empresas del sector como Prime Biopolymers e ITC Packaging, ha identificado varios materiales sobre los cuales se desarrollarán las actividades del proyecto. Estos materiales pueden dividirse en cuatro familias principales: PLA (Poliácido láctico), PBS (Polibutileno Succinato), bioplásticos basados en almidón termoplástico (TPS) y PHAs (Polihidroxialcanoatos). Las familias mencionadas no solo considerarán polímeros puros o con aditivos, sino que también se examinarán mezclas de polímeros que suelen combinarse para mejorar ciertas propiedades según la aplicación deseada.

Cada material de estas familias será caracterizado mediante una amplia serie de parámetros, los cuales pueden clasificarse en físicos, químicos y térmicos, que están directa o indirectamente involucrados en el proceso de biodegradación. En cuanto a los parámetros físicos, se evaluará la reología y la viscosidad, a nivel de composición, se determinará el contenido de ma-

terial de base biológica y la presencia de residuos no degradables o compuestos específicos presentes en las muestras. Por otro lado, los parámetros térmicos identificados en la caracterización de las muestras incluyen la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) y la temperatura de fusión ( $T_m$ ). Finalmente, mediante diversos análisis, se podrán identificar parámetros microestructurales como la presencia de estructuras amorfas y cristalinas en las matrices poliméricas estudiadas, y parámetros químicos, como el peso molecular del bioplástico, la presencia de ftalatos, grupos aromáticos y alifáticos, la movilidad de las cadenas poliméricas, y la identificación de los componentes más representativos en la muestra.

Para llevar a cabo dicha caracterización, se adoptarán diversas técnicas analíticas, incluyendo métodos convencionales como el análisis termogravimétrico (TGA), el análisis de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), el índice de fluidez de masa fundida (MFI) y la reología capilar o rotacional. A estas, se sumarán técnicas de laboratorio más precisas, como la pirólisis analítica o acoplada a cromatografía, el análisis de Carbono 14C y la Resonancia Magnética Nuclear (RMN). Algunos de los parámetros mencionados podrán estimarse mediante diferentes técnicas, lo que permitirá comparaciones entre ellas y un análisis multidimensional de los mismos parámetros.

Del análisis de los primeros resultados, se observa que la familia del PBS ha mostrado una alta variabilidad en términos de biodegradación, alcanzando valores que varían del 10% al 30% en un período de 30 días. Las muestras han presentado valores de  $T_g$  y cristalinidad muy diferentes, lo que confirma que la mejor biodegradabilidad se alcanza en muestras con menor cristalinidad y baja  $T_g$ . En esta familia, la composición también juega un papel clave, ya que la presencia de otros polímeros o aditivos en la matriz polimérica influye en los valores de biodegradabilidad (generalmente incrementándolos).

En cuanto a las muestras basadas en TPS, se ha observado que la diferencia en biodegradación depende principalmente de la composición de las muestras, en particular del contenido de almidón termoplástico en la matriz o de la presencia de ciertos aditivos, sin que esta relación sea lineal. De hecho, las diferencias en biodegradación entre las distintas muestras no se correlacionan directamente con diferencias en las propiedades fisicoquímicas de los materiales analizados.

La familia del PLA ha mostrado una fase de latencia muy variable según las muestras analizadas. Sin embar-



go, con los análisis realizados hasta ahora, no ha sido posible asociar esta diferencia con ninguno de los parámetros estudiados.

Por último, en la familia de los PHAs, la variabilidad en la biodegradación presenta correlaciones claras con el tipo de PHA y su grado de cristalinidad.

Es importante destacar que tanto las pruebas de caracterización como las de biodegradación aún están en curso, por lo que las evaluaciones realizadas hasta ahora son preliminares. El proyecto sigue en desarrollo, lo que implica que es necesario esperar a que se completen todos los análisis para obtener conclusiones más detalladas y sólidas. Todas las evaluaciones estarán respaldadas por análisis estadísticos que permitirán evaluar la reproducibilidad de los resultados obtenidos y de las correlaciones identificadas.

### ¿QUÉ PODEMOS ESPERAR DEL PROYECTO CARACT4BIO?

Uno de los avances que este proyecto permitirá alcanzar es proporcionar a las empresas herramientas concretas para mejorar el diseño y la producción de bioplásticos. Comprender las relaciones entre las propiedades físico-químicas de los materiales y su biodegradabilidad en

condiciones de compostaje industrial permitirá optimizar las formulaciones para equilibrar el rendimiento técnico y el impacto ambiental. Los datos obtenidos permitirán identificar parámetros críticos que influyen en el tiempo y el grado de biodegradación. Esto ayudará a los fabricantes de bioplásticos a prever el comportamiento de los propios materiales y a seleccionar formulaciones más sostenibles y eficientes.

Los resultados que se obtendrán abrirán el camino al análisis a un mayor número de polímeros, incluyendo no solo bioplásticos ya comercializados, sino también nuevas formulaciones híbridas, polímeros no modificados químicamente, otras categorías de sustancias degradables o materiales avanzados en fase de desarrollo.

Sobre la base de estos resultados, se podrá plantear la creación de modelos predictivos basados en amplios datos experimentales, que puedan ofrecer a las empresas una estimación fiable de la biodegradabilidad antes de la producción a gran escala, mediante pocas pruebas específicas y de corta duración. El uso de algoritmos de machine learning basados en inteligencia artificial podría facilitar esta predicción, simulando su comportamiento en distintos escenarios ambientales y acelerando el proceso de investigación y desarrollo.



GENERALITAT  
VALENCIANA

IVACE+i  
INSTITUTO VALENCIANO  
DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN



Financiado por  
la Unión Europea