E.M. nº 80 Mayo-Agosto 2025

PLASTICOS SOSTENIBLES HACIA UNA ECONOMIA CIRCULAR: PLATAFORMA TEMATICA INTERDISCIPLINAR SUSPLAST

Juan Rodríguez Hernández
Auxiliadora Prieto
Cinta Porte
Amparo López-Rubio
Oliver Drzyzga
Plataforma Temática Interdisciplinar SUSPLAST

RESUMEN

La misión de SusPlast es transformar la manera de diseñar, producir, usar y reciclar los plásticos para dirigirla hacia una economía circular. Para ello propone un enfoque sinérgico que involucra la ciencia de materiales y la biotecnología, para desarrollar actividades de investigación e innovación, así como estrategias socioeducativas que permitan implementar una gestión de plásticos basada en la economía circular. La PTI se fundamenta en 4 pilares. Los dos primeros abordan el desarrollo de estrategias químicas y biotecnológicas, respectivamente, para el reciclado y el desarrollo de nuevos polímeros sostenibles. En Susplast también se investigan los efectos que ejerce la contaminación por plásticos en la salud y el medio ambiente. El cuarto de los ámbitos tratados se centra en los aspectos de regulación y certificación de plásticos con un menor impacto ambiental. Finalmente, se realizan actividades de difusión, formación y capacitación sobre el estado actual y avances en los plásticos.

1. INTRODUCCIÓN

Los polímeros se han convertido en un material indispensable en nuestra vida. Tal es así que los encontramos en una extensa variedad de aplicaciones. Forma parte de productos como el champú con el que nos lavamos el pelo por la mañana, en la ropa que vestimos, en todos los medios de transporte, en la compra de la semana, está en los edificios que habitamos, etc. La explicación la podemos encontrar en algunas características únicas de este tipo de materiales: el plástico es versátil, ligero, es barato y tiene una gran durabilidad. Estas mismas características sin embargo han provocado un uso poco adecuado, con multitud de productos de un solo uso, algunos difícilmente reciclables (multicapa) y algunos imposibles de reutilizar (materiales compuestos, palas de aerogeneradores).

Pero justamente algunas de sus grandes ventajas, por ejemplo, su gran durabilidad, ha dado lugar a uno de los grandes retos: la inadecuada gestión de los residuos plásticos, incluyendo vertidos no deseados en nuestro medio ambiente, está provocando un problema serio de contaminación. Se calcula que alrededor de 20 millones de toneladas de plástico se liberan cada año a lagos, ríos y mares. Pero no solo en el entorno marino tenemos este reto de contaminación, sino que también se percibe en nuestro entorno terrestre. Por ejemplo, el uso generalizado de plástico en agricultura es una de las causas más importantes de contaminación y degradación de suelos. En muchos casos la degradación es lenta y da lugar a la formación de microplásticos que constituyen, por sí mismos, una amenaza nueva y diferente.

Hay otro aspecto fundamental aparte de la gestión adecuada de los residuos y es que el plástico está formado por polímeros a los que se les añaden aditivos para mejorar tanto la procesabilidad como las propiedades finales de los materiales. Estos aditivos, pueden ser liberados al medio ambiente, suponiendo un riesgo adicional para nuestra propia salud. En la actualidad un gran número de estudios están focalizados en el análisis de los aditivos utilizados en la elaboración de plásticos así como sus efectos en la salud humana y el medio ambiente.

Figura 1. Ciclo de vida de los plásticos. 1. Extracción y conversión; 2. Producción; 3. Uso; 4. Fin de vida. (Imagen obtenida de la referencia: https://science4policy.csic.es/combatir-la-contaminacion-por-plasticos/)

Solo los seres humanos producimos plástico, y solo los seres humanos podemos encontrarle alternativas, tanto a nivel individual como global. Es decir, las soluciones deben implicar a todas las partes: consumidores, productores y legisladores. Las que se exploran se pueden resumir en cuatro:

- reducción del uso de aditivos problemáticos,
- mejora de la gestión de residuos,
- diseño de plásticos más amigables con el medioambiente
- búsqueda de alternativas sostenibles a los plásticos de origen fósil

El objetivo final ha de ser cambiar el modelo establecido de economía lineal, de forma que estos materiales puedan ser reintegrados en la cadena de producción humana, siguiendo el concepto de la economía circular.

Ha habido muchos obstáculos en este camino. En 2020, la pandemia del COVID-19 sacudió el mundo y convirtió el plástico en una necesidad de salud pública, priorizada en ese momento sobre el problema medioambiental. Su uso se multiplicó, a los utensilios habituales se sumaron mascarillas, guantes, recipientes de gel hidroalcóhólico… Reconducida ya la crisis de COVID-19, existe en nuestra sociedad lo descrito como “efecto rebote”: cuanto más se extiende el reciclaje, también tendemos a consumir más pensando en que el material será reciclado en su totalidad.

Pero el principal obstáculo es el tiempo. Para una economía circular del plástico necesitamos soluciones técnicas, pero también educación y aceptación social.

2. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS PLÁSTICOS

Uno de los principales objetivos que se barajan en la actualidad, junto con la gestión responsable de residuos, es la reducción de la producción de plásticos primarios. Sin embargo, esta producción está muy lejos de ralentizarse. En 2018 la producción mundial fue de 365,5 millones de toneladas. En 2021, de 390,7 toneladas. El 90,2% de ellos fueron productos elaborados con material virgen, de origen petroquímico. Solo el 8,3% era de material reciclado y solo el 1,5% eran productos fabricados con materiales de origen biológico (los conocidos como biopolímeros). En 2019, el último año de cuya gestión tenemos datos desglosados, únicamente el 11% de los plásticos comercializados fue reciclado. Aproximadamente el 65% se incineró o se envió a vertedero y, lo más preocupante es que el 22% de los plásticos utilizados, se acumuló en forma de basura sin ningún tratamiento ni control. Es decir, casi un cuarto acabó en vertederos irregulares, fue vertido al mar, o se quemó sin ningún tipo de precaución.

Así, los plásticos, o más bien la gestión inadecuada de los mismos, los ha convertido en un problema medioambiental. Pero también, en el siglo XXI, son asumidos como un problema para la salud humana. Durante mucho tiempo, los plásticos no se tomaban como sustancias de riesgo para la salud por su naturaleza inerte y, sobre todo, por su gran tamaño. Era poco probable que fueran absorbidos por el cuerpo humano. Sin embargo, ahora ya proliferan en forma de microplásticos (menos de 5 milímetros) o incluso nanoplásticos (<1 micrómetro). Y a esa escala, sí pueden absorberse fácilmente. Los micro y nanoplásticos son liberados de muchas formas; por ejemplo, a través del desgaste de los neumáticos o césped artificial. Pero también son consecuencia de la degradación gradual en el medio ambiente o, directamente, fabricados en esos tamaños en algunos campos, y aparecen formando parte de objetos utilizados en aplicaciones diversas como puede ser la fotónica, la electrónica, la medicina o la cosmética. Y si la producción de plásticos no deja de crecer, tampoco lo hace la de microplásticos.

Se han encontrado microplásticos en prácticamente todos los sitios en los que se han buscado. En lagos de alta montaña, en el hielo del Ártico, en los fondos oceánicos. Hay microplásticos en el aire que respiramos, en el agua que bebemos y en los alimentos que comemos. Pero es verdaderamente difícil evaluar en detalle el daño que causan a la salud o al medioambiente a esa escala. Es un reto dentro del reto: hay que generar datos fiables y comparables con los distintos métodos de rastreo para poder estudiar bien los efectos y actuar en consecuencia.

En todo caso, se ha descrito la exposición humana a micro y, en especial, nanoplásticos por tres vías: inhalación, ingestión y absorción a través de la piel.

Hay una vía muy directa: los plásticos entran en la cadena trófica y llegan a nuestro plato a través de los organismos provenientes del mar. Una vez dentro, y dependiendo del tipo de plástico y de la cantidad a la que estamos expuestos, pueden penetrar en órganos como el cerebro y la placenta, y alterar su funcionamiento: puede afectar a la reproducción, crecimiento, movilidad y desarrollo embrionario, entre otros. A nivel celular, se ha descrito un aumento de estrés oxidativo, procesos de inflamación, disminución de la estabilidad lisosomal, daños a nivel de ADN y neurotoxicidad.

En el efecto negativo de los plásticos sobre la salud humana y ambiental también entran en juego los aditivos. Los aditivos mejoran las propiedades de los plásticos (resistencia, color, flexibilidad…), pero también les confieren toxicidad. Además, como no están químicamente unidos al polímero, se van liberando lentamente en el medio ambiente o en los alimentos, y en esa forma, pueden llegar a acumularse en distintos órganos y a producir distintos efectos, como alteraciones endocrinas y metabólicas (acumulación de lípidos/obesogénesis). También pueden generar reacciones alérgicas graves.

3. PLATAFORMA TEMÁTICA INTERDISCIPLINAR SUSPLAST: MISIÓN

Las Plataformas Temáticas Interdisciplinares (PTI) son instrumentos de colaboración científica interdisciplinar, integradas por grupos de investigación de distintos institutos del CSIC y abiertas a la participación de empresas, administraciones y otras instituciones y agentes sociales. Constituyen un instrumento finalista y de fomento de la colaboración, capaz de agrupar diferentes iniciativas en proyectos generales de más amplio espectro para resolver retos específicos, con un claro impacto social, posibilidad de transferencia y compromiso ciudadano.

La PTI Susplast (*Sustainable Plastics Towards a Circular Economy*) tiene como misión transformar los procedimientos de diseño, producción, uso y reciclado de plásticos, para dirigirlos hacia una economía circular. Para ello propone un enfoque sinérgico que involucra la ciencia de materiales y la biotecnología, con el fin de desarrollar actividades de investigación e innovación, así como estrategias socioeducativas que permitan implementar una gestión de plásticos basada en la economía circular.

Susplast está compuesta por 39 grupos de investigación del CSIC de 20 institutos distintos y 42 empresas especializadas en diferentes áreas dentro del ciclo de vida de los plásticos.

Figura 2. Integrantes de la PTI SUSPLAST+

4. AREAS DE TRABAJO EN LA PLATAFORMA SUSPLAST

4.1. Estrategias químicas para una economía circular

Uno de los grandes ámbitos de actuación de los grupos que componen la plataforma Susplast se relaciona con la propuesta de estrategias sostenibles de producción y gestión de plásticos basadas en la química. Estas incluyen, por ejemplo, la elaboración de estrategias de reciclado químico como complemento al reciclado mecánico siendo el objetivo principal la recuperación de material virgen. Varios grupos de la PTI Susplast centran sus esfuerzos en la optimización y mejora de tecnologías de reciclado químico de diferentes polímeros, incluyendo poliestireno (PS), polimetilmetacrilato (PMMA) o polietilentereftalato (PET). Entre las estrategias empleadas, la despolimerización mediante el uso de temperatura o pirólisis, es una de las más ampliamente estudiadas.

Dentro de esta misma línea el segundo gran eje en el que se mueven las investigaciones de Susplast están en relación con el Ecodiseño macromolecular, es decir, con la propuesta y elaboración de estrategias para la preparación de polímeros más fácilmente reciclables. Los envases de plástico constituyen una gran parte de los residuos plásticos que generamos. Estos envases se han vuelto altamente complejos y han sido diseñados para satisfacer, de la manera más económica posible, las propiedades exigidas por el cliente. Un ejemplo claro de esta situación son los envases multicapa

ampliamente utilizados para la conservación de alimentos que, sin embargo, constituyen un reto para el proceso de reciclado.

Estos envases se componen de diferentes materiales en forma de estructuras multicapa, para mejorar propiedades como la de barrera a gases, a vapores o a la luz, o para adaptar las propiedades mecánicas a los requerimientos concretos de cada aplicación. En ocasiones incluso se les aplican recubrimientos metálicos o inorgánicos. El ejemplo más común es el tetra brik utilizado para leche, que combina polietilenos, cartón y aluminio. Esta complejidad en la estructura de los envases plásticos dificulta su reciclaje y reutilización.

Distintos grupos de investigación, pertenecientes a la PTI Susplast trabajan en el desarrollo de envases que sean más fácilmente reciclables y que presenten propiedades mejoradas. Para lograrlo, se están utilizando diversas estrategias tales como el diseño de envases monomaterial con propiedades similares a las que tendrían los envases multimaterial, el uso de adhesivos especiales (para su uso en envases multimaterial) que faciliten la separación de los distintos componentes del envase durante el proceso de reciclaje) o el uso de materiales biodegradables: PLA, celulosa bacteriana, biopolímeros obtenidos a partir de fuentes naturales (celulosa, lignina,…), subproductos agroalimentarios o componentes extraídos de los mismos para la elaboración de envases más sostenibles.

En esta misma dirección, dentro del ecodiseño, Susplast trabaja en la elaboración de estrategias de polimerización con el fin de obtener polímeros más fácilmente reciclables y/o utilizando alternativas de polimerización más sostenibles. En este sentido, se están realizando trabajos en los que se sintetizan polímeros con grupos químicos terminales que pueden ser despolimerizados en condiciones menos agresivas que las utilizadas en los métodos actuales de reciclado químico tales como la pirolisis o la solvólisis.

Por último, dentro de las líneas temáticas de la PTI, se aborda la posibilidad de sustituir materiales termoestables por alternativas que se puedan reciclar más fácilmente. Los materiales termoestables están diseñados para resistir las condiciones extremas durante su uso, como rozamiento mecánico constante o altas temperaturas. Sin embargo, esto plantea un desafío al final de su vida útil, ya que en la mayoría de los casos no se pueden reciclar fácilmente. Un alto porcentaje de estos materiales terminan en vertederos o se someten a incineración. Ejemplos de estos materiales son las palas de los aerogeneradores o los componentes estructurales de un avión.

4.2. Procesos y aproximaciones biotecnológicas

Como parte de las actividades de la PTI, se están abordando proyectos de producción de bioplásticos mediante herramientas biotecnológicas que implican el uso de enzimas y microorganismos. Los bioplásticos y monómeros obtenidos mediante procesos biotecnológicos constituyen una alternativa a los plásticos tradicionales, ya que presentan propiedades similares y ofrecen ventajas adicionales en comparación con los materiales petroquímicos (reducción de la huella de carbono y mayor disponibilidad de opciones de gestión de residuos como el compostaje).

Una de las principales ventajas de estos bioplásticos es que se obtienen a partir de recursos renovables mediante procesos de fermentación microbiana a partir de residuos. Además, pueden biodegradarse en entornos abiertos o revalorizarse en sistemas de compostaje doméstico e industrial. En este sentido, una de las estrategias más prometedoras consiste en la producción de poliésteres bacterianos, como los polihidroxialcanoatos ó PHAs, obtenidos mediante fermentación bacteriana. Para ello, en el marco de la PTI+ Susplast, se ha puesto en marcha una planta piloto de bioprocesos en el CIB. En esta planta se cultivan microorganismos productores, tanto naturales, como optimizados genéticamente. Además, en la planta también se producen catalizadores enzimáticos implicados en la producción, diversificación y degradación de materiales plásticos.

Así, las dos principales líneas de investigación se pueden agrupar en: revalorización de residuos para la producción de bioplásticos en procesos microbianos y aplicación de biocatalizadores enzimáticos para la degradación y el ecodiseño de plásticos sostenibles.

Un ejemplo de las actividades dentro de la primera línea de revalorización de residuos para la producción de bioplásticos es la revalorización de residuos recalcitrantes, como los compuestos aromáticos presentes en los plásticos derivados de la industria petroquímica como el PET. El objetivo es generar bioplásticos personalizados, con composición y propiedades definidas, empleando estrategias de ingeniería metabólica y biología sintética.

Otras acciones incluyen el estudio de la utilización de ácidos grasos volátiles como materia prima, los cuales se pueden obtener mediante fermentación anaerobia de algunos residuos ricos en materia orgánica, como los derivados de plantas de tratamiento de aguas o de explotaciones ganaderas. Estos ácidos se pueden utilizar para alimentar diferentes bacterias productoras de bioplásticos como *Cupriavidus necator*, o *Pseudomonas putida*.

Otros proyectos están enfocados en la utilización de corrientes gaseosas, como el gas de síntesis producido por gasificación/pirólisis de residuos complejos, o incluso el CO_2 como precursor de bioplásticos. El CO_2 es el principal gas causante del calentamiento global y una de las más abundantes fuentes de carbono disponibles en el planeta.

La segunda gran línea se focaliza en la aplicación de biocatalizadores enzimáticos para la degradación y el ecodiseño de plásticos sostenibles. En Susplast, se está llevando a cabo el análisis *in silico* de genomas y bases de datos. Esto incluye la "resurrección" de enzimas ancestrales, para la búsqueda de enzimas con actividades catalíticas de potencial interés. Estos proyectos conllevan la optimización o ingeniería de estas enzimas empleando técnicas como la evolución dirigida, el diseño racional y el diseño computacional.

Estas estrategias están siendo desarrolladas en una estación de evolución dirigida, establecida en la PTI+ Susplast, que permite personalizar y optimizar catalizadores enzimáticos. Para ello, se hace uso de un portfolio de enzimas hidrolasas y oxidorreductasas recombinantes desarrolladas con anterioridad, así como de técnicas de generación de diversidad genética para la construcción de genotecas de mutantes. Se desarrollan protocolos customizados para la exploración de alto rendimiento (*high-throughput screening*) de las librerías de enzimas con el fin de cribar y seleccionar aquellas que sean más adecuadas para cada objetivo específico.

Así, las variantes de enzimas más eficientes para cada propósito se producen en biorreactores, se caracterizan bioquímicamente, y se ensayan como biocatalizadores para la degradación y la producción de precursores y/o plásticos.

Otros proyectos se centran en la transformación de residuos de la industria alimentaria en precursores del ácido láctico, que posteriormente pueden emplearse como precursores del PLA, un bioplástico. Este proceso conlleva dos etapas; i) la obtención de ácido láctico mediante fermentación láctica ii) y la polimerización enzimática de este ácido. Para ello se están ensayando diferentes hidrolasas fúngicas nativas y diseñadas en el laboratorio (tanto libres como inmovilizadas) para la síntesis de cadenas cortas de este bioplástico. Por último, en Susplast se están abordando actividades relacionadas con le degradación enzimática de bioplásticos bacterianos con el fin de favorecer estrategias circulares de reciclado.

Por último, un aspecto muy importante desde el punto de vista del abordaje de la contaminación plástica consiste, no sólo en la degradación de los plásticos, sino de los aditivos que se utilizan en su fabricación. El objetivo principal de esta actividad consiste en desarrollar nuevos biocatalizadores para la degradación eficiente de aditivos, incluyendo compuestos plastificantes tales como los ésteres de

ftalatos. Dichos ésteres están presentes en diversos residuos plásticos y constituyen importantes tóxicos medioambientales (disruptores endocrinos). Para lograr este objetivo, se realiza una búsqueda y aislamiento de esterasas capaces de hidrolizar eficientemente los ésteres de ftalatos, empleando técnicas de aislamiento de nuevas cepas, *screening* de metagenomas, o ingeniería/evolución de esterasas conocidas, etc.). Otras investigaciones buscan la revalorización de los aditivos hacia la síntesis de PHA.

4.3. Efectos de la contaminación por plásticos en el medio ambiente y en la salud humana

La contaminación por plástico se ha convertido en un problema medioambiental y social en la actualidad. Con el fin de desarrollar soluciones a largo plazo, que reduzcan la contaminación por plásticos, es necesario establecer metodologías estandarizadas para evaluar tanto la magnitud de la contaminación como su impacto. Desde Susplast se están desarrollando metodologías analíticas reproducibles para el análisis de nano-(NPs), micro- (MPs) y macroplásticos, así como de aditivos plásticos, en diferentes matrices (aire, agua, sedimentos, alimentos y animales).

Para ello se desarrollan técnicas de análisis basadas en espectroscopía infrarroja (μ-FTIR), espectroscopía Raman y técnicas cromatográficas (py-GC-MS) para poder monitorizar los microplásticos en diferentes etapas del ciclo del agua, incluyendo en aguas de captación, aguas en tratamiento potabilizador y aguas de distribución. De este modo, se contribuye a garantizar la seguridad del agua de abastecimiento. Asimismo, se lleva a cabo la monitorización de la contaminación en ríos y aguas costeras. La evaluación de la presencia de microplásticos en aguas, alimentos y aire permitirá estimar la ingesta diaria y los efectos que los distintos polímeros plásticos y aditivos pueden tener sobre la salud humana.

Los microplásticos que se encuentran en el mar son principalmente partículas de diferente forma y tamaño como consecuencia de la fragmentación originada por el sol y las corrientes de agua, por lo que su cuantificación es compleja. En este sentido, se está trabajando en la mejora de su detección mediante una nueva metodología basada en el uso de ultrasonidos que permitirá la separación y concentración de microplásticos. Por ejemplo, se están llevando a cabo tareas de muestreo de forma que los microplásticos se están cuantificando mensualmente en la costa de Barcelona. Además, se está monitorizando la presencia de microfibras en una serie histórica en la Bahía de Blanes. En el plano experimental, se están realizando estudios para observar el destino final de los microplásticos en función de las partículas orgánicas del medio. Asimismo, se investiga cuáles son los compuestos químicos que liberan al mar y su efecto tanto en el ciclo del carbono como en los microorganismos. Además, se estudian la existencia de comunidades microbianas colonizadoras en las partículas de microplásticos convencionales y biodegradables.

En Susplast se aborda también el problema de la contaminación por plásticos en el océano desde diferentes perspectivas. Una de ellas es la detección y cuantificación de los macroplásticos, que, por su visibilidad, crean una importante alarma social. Se está trabajando en optimizar su detección mediante el desarrollo de métodos de detección espectral de áreas con concentraciones significativas de macroplásticos flotantes en regiones costeras. Para ello, se emplean satélites equipados con sensores ópticos de resolución media y alta. Asimismo, se caracteriza, cuantifica y mapea el plástico recogido por pesqueros de arrastre en sus caladeros de la costa catalana, a profundidades de entre 20 m y 800 m.

En cuanto a la salud humana, se han encontrado evidencias que sugieren una vinculación clara entre la exposición a aditivos plásticos y posibles efectos adversos en nuestro organismo. Algunos de estos aditivos se han clasificado como disruptores endocrinos, obesogénicos, e incluso genotóxicos. Aunque hay menos estudios disponibles acerca de la toxicidad de las partículas plásticas (MPs/NPs), se han detectado en distintos órganos (hígado, bazo, riñón, cerebro, intestino y placenta), después de su administración oral o intravenosa en animales de experimentación. Estas partículas, de tamaños que van desde 40 nm a 50 μm), han inducido alteraciones intestinales, alteraciones del sistema inmune y problemas en la calidad del esperma, entre otros.

Además, se ha demostrado en modelos celulares que las partículas de plástico soncapaces de inducir apoptosis (muerte celular programada), inflamación, estrés oxidativo y respuestas inmunológicas. Estos efectos podrían contribuir al desarrollo de enfermedades como el cáncer y trastornos metabólicos. Sin embargo, estos efectos se han descrito a concentraciones elevadas de partículas plásticas y actualmente no se dispone de datos fiables sobre los niveles de partículas plásticas a los que realmente estamos expuestos.

Estudios recientes muestran además que la exposición a partículas plásticas tiene un impacto negativo en nuestra microbiota intestinal, ocasionando disbiosis intestinal, alterando funciones metabólicas y generando un entorno inflamatorio en el intestino, cuyas consecuencias a largo plazo aún se desconocen. Ciertas nanopartículas de plástico, como las de poliestireno, pueden atravesar la barrera gastrointestinal tanto en *in vitro* en modelos humanos, como en organismos acuáticos. El CIAL realiza una investigación pionera en este campo, pues dispone de un modelo de intestino artificial para estudiar cómo diferentes tipos y tamaños de partículas afectan al microbioma intestinal. Se espera que la combinación de estudios de microbioma y los avances en biotecnología nos permitan comprender mejor cómo las partículas plásticas afectan a la diversidad de microorganismos intestinales y sus sistemas enzimáticos.

Otras investigaciones se enfocan en conocer los posibles efectos de estas partículas plásticas en patologías como la alergia alimentaria, donde podrían influir sobre la digestibilidad de los alérgenos alimentarios, aumentar la permeabilidad intestinal, y promover la inflamación intestinal, lo cual podría contribuir a la sensibilización frente a los alérgenos alimentarios.

4.4. Contribución a la regulación y certificación de materiales poliméricos más sostenibles

El aumento de la cuota de mercado de los plásticos con propiedades biodegradables y/o compostables brinda nuevas oportunidades, pero también plantea nuevos riesgos medioambientales debido a la falta de una certificación y etiquetado estandarizado que permita una adecuada gestión de sus residuos. De hecho, los plásticos biodegradables se consideran cada vez más como una alternativa a los plásticos convencionales no biodegradables para aplicaciones específicas en ambientes abiertos, como parte de una amplia estrategia de mitigación de daños producidos por contaminación plástica. Estos plásticos biodegradables tienen un interés especial para:

i) Productos diseñados para terminar en el medioambiente de manera intencional, como películas de *mulching*, o semilleros de plantas
ii) Productos que presentan un alto riesgo de acabar en el medioambiente, como materiales utilizados en pesca o colillas de cigarrillos.
iii) Productos plásticos que generan contaminación durante su uso, como neumáticos de automóvil, textiles, pinturas o redes de acuacultura.

Sin embargo, para que los productos evaluados y certificados como biodegradables supongan un beneficio en comparación con los plásticos sintéticos convencionales, es necesario que se gestionen adecuadamente al final de su vida útil. En muchas aplicaciones, esto requiere formar e informar debidamente a los usuarios sobre el modo de gestión de este nuevo tipo de residuos, maximizando así las posibilidades de una adecuada eliminación.

Desde la PTI SUSPLAST del CSIC se estableció la importancia de participar en los procesos de certificación y estandarización de nuevos bioplásticos. Siendo conscientes de los múltiples retos y necesidades en este sector, se ha puesto en marcha una planta acreditada para certificar la compostabilidad y biodegradabilidad de estos materiales. Esta planta tiene dos objetivos fundamentales:

i) Dar servicio a grupos de investigación y empresas que trabajan en el desarrollo de nuevos bioplásticos, certificando la biodegradabilidad y/o compostabilidad de dichos materiales
ii) Contribuir de manera activa a la revisión de los protocolos existentes para la certificación de bioplásticos, estableciendo criterios claros para su gestión y asegurando su inocuidad.

Este último punto es de vital importancia, ya que la normativa existente para la caracterización de la ecotoxicidad de los bioplásticos data del año 2001, y únicamente evalúa la ecotoxicidad en plantas superiores (monocotiledóneas y dicotiledóneas), sin considerar el efecto de los lixiviados sobre otros organismos terrestres o acuáticos. Somos conscientes de la urgencia existente en la actualizaciín de la normativa relativa a la certificación de bioplásticos en términos de toxicidad, para garantizar la inocuidad de estos nuevos materiales antes de su comercialización.

5. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

Uno de los objetivos importantes de la PTI SUSPLAST es ayudar no solo a través de la investigación sino también a través de la participación en distintos ámbitos tales como el de la formación o incluso participando en asesoramiento en el ámbito de las políticas públicas para transmitir nuestro análisis y señalar áreas de mejora.

Entre los aspectos más relevantes, junto con la disminución del consumo de plástico en aplicaciones donde realmente no son necesarios, es la mejora en la gestión y tratamiento de residuos, incluyendo todas las etapas, desde la recogida al reciclaje. En este sentido, la exploración de tecnologías más sostenibles, junto con la ampliación de infraestructuras para la gestión de residuos y el fortalecimiento de las capacidades de revalorización y reciclaje, ya sea mecánico, químico o biotecnológico, puede mejorar significativamente la situación actual. Además, la producción de materiales alternativos más amigables con el medio ambiente junto con materiales diseñados especialmente para poder ser reciclados, son retos muy prometedores que requieren sin embargo de una inversión económica importante, así como la formación de personal cualificado.

La normativa debe ir de la mano con los avances tecnológicos y los desarrollos, tratando de establecer estándares de caracterización y certificación de los polímeros nuevos y los ya existentes, incluyendo los potencialmente compostables. Asimismo, resulta imprescindible actualizar la normativa, especialmente a medida que se avanza en el conocimiento científico. Un caso concreto muy relevante es el relativo a la caracterización de la toxicidad de los nuevos materiales teniendo en cuenta los aditivos empleados para su elaboración, para garantizar la inocuidad de los mismos antes y después de los procesos de compostaje. Las futuras normativas, fundamentadas en estudios científicos, deben considerar de manera integral las condiciones reales de exposición, incluyendo la gama completa de formas, tamaños y composición del material polimérico.

Además de contar con normativas que establezcan protocolos claros, es fundamental implementar una legislación sobre el uso de estándares y el etiquetado correspondiente, que sea de cumplimiento obligatorio para prevenir fraudes y reducir la confusión del consumidor, evitando así posibles impactos negativos en el medio ambiente.

Por últimos, es importante mencionar que la solución al problema de la contaminación por plástico actual va a requerir un tratamiento global a nivel mundial. En este sentido la resolución adoptada en Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEA) del 7 de Marzo de 2022 (Resolución 5/14) titulada “Fin de la contaminación por plásticos: hacia un instrumento internacional jurídicamente vinculante” supone por un lado un reto por su complejidad, pero al mismo tiempo será, de conseguirse el acuerdo en agosto de 2025, la forma de poner las reglas que permitan conseguir el fin de este problema medioambiental.