

tos "ecotóxicos", como el arsénico y el níquel. Todavía son pocos los plásticos que cumplen este requisito.

Un plástico compostable según la ASTM es "capaz de sufrir una descomposición biológica en un sitio de composta como parte de un programa factible, el plástico no debe ser reconocible al final del proceso, y por lo tanto los productos de descomposición tienen que ser los mismos que se especifican para un producto biodegradable, incorporados a la biomasa que genera el proceso".

Plásticos hidrobiodegradables y fotobiodegradables

Los polímeros que forman este tipo de plásticos se rompen por la acción del agua y de la luz, respectivamente. Por lo general, el proceso se lleva a cabo en dos pasos: una hidrólisis inicial o un paso de degradación fotoquímica, seguido de más biodegradación. Actualmente ya existen plásticos de un solo paso, lo cual acorta considerablemente el tiempo de deposición en tiraderos.

Plásticos bioerosionables

Muchos polímeros que ostentan el título de biodegradables en realidad no requieren la acción de los microorganismos, al menos en la primera etapa, que procede por erosión mecánica por acción del agua o de procesos de oxidación. También hay erosión por acción de los rayos ultravioleta, los cuales actúan volviendo quebradiza la superficie del material.

V. Novedosos envases "comestibles"

La industria de los empaques de alimentos busca también un plástico comestible para porciones de comida rápida. Dicho material no podría sustituir

a todos los plásticos ni a los metales o cerámicas, y además, hasta hoy todavía presentan inconvenientes. En general, los que han salido al mercado en países como Estados Unidos no proporcionan una barrera realmente efectiva contra la contaminación del ambiente, no son resistentes y puede resultar muy poco higiénico comerse un empaque que a lo mejor estuvo expuesto al polvo y a otros agentes contaminantes. Tendrían que consumirse en un lapso breve, apenas uno o dos días más que el tiempo que tardaría el alimento en descomponerse al aire libre. Parece poco, pero para la industria de alimentos alargar la vida de anaquel de un producto por 48 horas ya es mucha ganancia.

VI. Epílogo

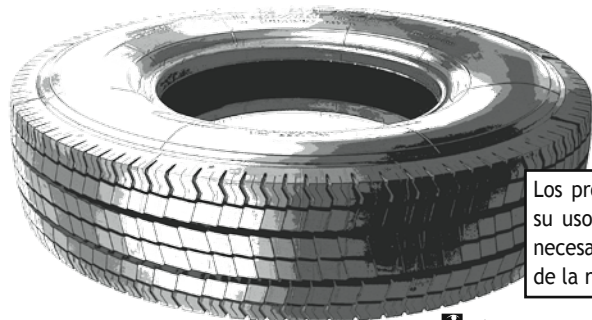
Como se ve, la era de los plásticos indestructibles parece estar llegando a su fin, ya sea por el camino de la investigación de microorganismos degradadores de materiales inorgánicos, o por medio de generar nuevos plásticos menos agresivos para el ambiente. Es sin duda todo un reto para las nuevas generaciones de científicos, industriales, políticos y la sociedad en pleno si se quiere aspirar a una forma de vida sustentable al mediano plazo.

VII. Actividades en la red

Por medio de la búsqueda en la que se relacionen las palabras "plásticos biodegradables" o "degradación enzimática de plásticos" pueden encontrarse temáticas muy interesantes para que los alumnos indaguen más sobre este apasionante tema.

VIII. Bibliografía

"Plásticos biodegradables", Roselia Medina Tino, en *¿Cómo ves?*, No. 79, p. 22.



Los profesores pueden copiar esta guía para su uso en clase. Para cualquier otro uso es necesaria la autorización por escrito del editor de la revista.

Esperanza ambiental

Bacterias contra el poliuretano

De: Verónica Guerrero Mothelet
(No. 117, p. 10)

Maestros:

Esta guía se ha diseñado para que un artículo de cada número de *¿Cómo ves?* pueda trabajarse en clase con los alumnos, como un complemento a los programas de ciencias naturales y a los objetivos generales de estas disciplinas a nivel bachillerato. Esperamos que la información y las actividades propuestas sean un atractivo punto de partida o un novedoso "broche de oro" para dar un ingrediente de motivación adicional a sus cursos.

I. Relación con los temarios del Bachillerato UNAM

Esta guía y el artículo de referencia pueden utilizarlos maestros de biología, química y educación ambiental principalmente, ya que abordan conceptos y recomendaciones estrechamente relacionados con estas disciplinas

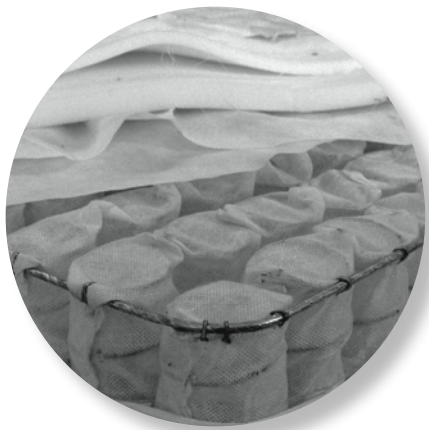
II. Más información: el problema de los plásticos

Sería muy difícil tratar de imaginar nuestras vidas sin los plásticos. Desde partes automotrices

hasta medicamentos, los plásticos se utilizan en casi toda industria manufacturera del mundo. Se producen alrededor de 775 millones de toneladas de plásticos al año, de las cuales Estados Unidos por sí solo produce dos terceras partes. Son materiales con muchas aplicaciones, dado que, como polímeros sintéticos, su estructura puede ser manipulada para dar una gran variedad de resistencia y formas. Los plásticos tienen también una alta resistencia química que los hace muy durables.

Pero no todo son ventajas con los plásticos y cada día el problema de su acumulación crece alrededor del mundo. Y como son materiales sintéticos y recientes, los microorganismos no tienen, por lo general, las armas biológicas para degradarlos.

El peso molecular de los polímeros es muy alto —puede variar entre varios miles de g/mol hasta cantidades enormes que rozan los 150,000 g/mol—, y confiere durabilidad a estos materiales, pero también los hace sumamente resistentes a la biodegradación (Atlas, 1993). Incinerarlos ha



sido una opción para los plásticos no biodegradables, pero puede ser muy cara y peligrosa dada la toxicidad de algunas sustancias que se liberan en las chimeneas de los hornos de calcinación. Algunas de estas sustancias son el ácido clorhídrico y el cianuro de hidrógeno.

La otra gran idea para reducir los desechos plásticos ha sido el reciclaje, pero como todo en el manejo de los plásticos, también tiene sus desventajas. En primer lugar, para la industria y para la población en general resulta complicado discriminar y separar los materiales de acuerdo con las propiedades de los diferentes plásticos, que son muchos y muy parecidos entre sí. Además, las aplicaciones de los plásticos reciclados son bastante limitadas y el proceso es caro. Finalmente queda la opción de confinarlos en terrenos no útiles para la agricultura ni para otros usos relacionados con la biodiversidad. De hecho, el 40% de los plásticos que se desechan anualmente va a parar a estos tiraderos a cielo abierto, que por supuesto, poco a poco se siguen llenando y no hay forma de reducir el volumen del contenido, justamente por no ser degradable.

Esto nos lleva a la problemática ambiental que ya están generando los plásticos como desechos sólidos. Particularmente sensibles son los entornos marinos, donde anualmente se arrojan cientos de toneladas de plásticos. Cada año, cerca de un millón de animales marinos mueren por asfixia al ingerir piezas de plástico que confunden con alimento. En años recientes se han incrementado los esfuerzos de las agencias ambientales de todo el mundo para legislar en torno a los desechos sólidos, pero el aumento de estos materiales en todas las áreas del mercado

está ganando la batalla y hay que buscar otras formas de abatir el problema. Aquí es donde podrían desempeñar un papel importante los trabajos de los científicos de la UNAM que aborda el artículo de referencia.

Existen algunas compañías (muy pocas desafortunadamente) que manufacturan productos biológicos para la degradación de productos derivados del petróleo (hidrocarburos, principalmente), pero los plásticos son aún más difíciles de degradar que los combustibles fósiles y hay muy pocas referencias de investigadores que estén trabajando con este tipo de técnicas.

III. Plásticos biodegradables

A nivel mundial, y principalmente las grandes compañías productoras de plásticos, se están sustituyendo los plásticos tradicionales por plásticos biodegradables. Existen tres tipos principales de plásticos biodegradables que ya están en el mercado: fotodegradables, plásticos entrelazados con almidón (un polímero soluble natural, presente en alimentos como el maíz y la papa) y plásticos producidos por bacterias.

Los plásticos fotodegradables ofrecen ventajas por que en lapsos relativamente cortos, que van de semanas a meses, la radiación ultravioleta del Sol degrada la estructura polimérica y permite que las fracciones más pequeñas que resultan sean degradadas por bacterias. El problema es que muchos de los tiraderos de desechos sólidos carecen de exposición suficiente a la luz solar.

Los plásticos de entrelazado por almidón, generalmente utilizados (al menos en Estados Unidos) para la producción de bolsas de supermercado, incorporan almidón para aglomerar fracciones cortas de polietileno. Cuando se desechan, las bacterias del suelo atacan las fracciones de almidón y dejan expuestas las fracciones de polímero sintético (polietileno) que a su vez pueden ser degradadas por bacterias especialmente desarrolladas para eso. Por supuesto esas bacterias no son fáciles de conseguir ni de aplicar a los tiraderos, y menos en un país en desarrollo.

Además hay otro problema: se ha visto que a menudo las bacterias son inhibidas por las fracciones plásticas que se liberan del almidón degradado, y así, la cepa bacteriana natural desaparece, lo que conlleva un problema ecológico adicional. Y si a eso sumamos la falta de luz solar y de oxígeno de muchos de los tiraderos de plásticos, el camino de los plásticos entrelazados con almidón no parece ser muy prometedor. Por si fuera poco, como son menos resistentes, se usa más material para fabricar las bolsas, lo cual redundaría en más materiales de desecho.

El tercer tipo de plásticos (los producidos por bacterias) apenas se están desarrollando a nivel experimental y su caso es tan interesante, que ameritan un artículo y una guía exclusivos. A estos plásticos, y otros producidos por otros organismos, se les conoce como *biopolímeros*, (véase el artículo "Seda de araña", ¿Cómo ves? No. 115).

IV. Los plásticos del futuro

Sin disminuir la importancia de encontrar métodos para degradar las millones de toneladas de plásticos acumulados durante más de seis décadas, el futuro apuesta, pese a las complicaciones, a los plásticos biodegradables. Pero aclaremos: muchos de los plásticos que se consideran biodegradables son en realidad bioerosionables, hidrobiodegradables o fotobiodegradables.

Estas clases diferentes de polímeros pueden agruparse en una sola categoría más general y ser llamados "polímeros degradados de manera ambiental".

Las clases de plásticos biodegradables (o ambientales) se dividen de acuerdo con el mecanismo de degradación en: 1) biodegradables, 2) compostables (que sirven para hacer composta), 3) hidrobiodegradables, 4) fotobiodegradables y 5) bioerosionables.

Plásticos biodegradables

La falta de los primeros plásticos biodegradables a nivel industrial llevó a la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas

en inglés) a buscar definiciones más precisas de biodegradabilidad. La definición de la ASTM se revisó y corrigió en 1994 (ASTM Standard D-5488-84d).

La ASTM define un material biodegradable como el que "es capaz de sufrir descomposición para formar dióxido de carbono, metano, agua, compuestos inorgánicos o biomasa y cuyo principal mecanismo es la acción enzimática por medio de microorganismos, lo cual puede medirse por medio de pruebas estandarizadas a lo largo de un periodo especificado y que refleja una condición de deposición factible".

Así, la investigación de los científicos de la UNAM parece indicar que el poliuretano es al menos parcialmente biodegradable.

Las velocidades de biodegradación dependen del espesor de la capa de plástico a degradar. En películas delgadas (bolsas, medias, películas protectoras) el proceso es bastante rápido, pero en platos, y en general todos los artículos desechables de plástico que existen en el mercado de objetos biodegradables, los tiempos de degradación se extienden a periodos de hasta un año, lo cual hace que su manejo todavía sea complicado.

Plásticos compostables

Los plásticos que cumplen con este requisito deben demostrar que se pueden degradar en un sistema de composta, durante el proceso típico, que generalmente dura 12 semanas a temperaturas mayores a los 50°C. La composta final debe cumplir con los parámetros normales de ausencia de metales pesados y de otros elemen-

