

Desde la UAM
De actualidad
Noticias de la AMC



Mario de Leo Winkler, coordinador

Investigación vanguardista para la preservación ambiental

En el presente escrito hacemos del conocimiento de la ciudadanía cinco diferentes proyectos de investigación de vanguardia e interdisciplinaria, llevados a cabo en las unidades académicas de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) desde diferentes campos del conocimiento, para contribuir al cuidado del ambiente, además de incidir o tener gran potencial de lograr un contundente impacto social.

Circularidad de residuos plásticos en México

Los residuos plásticos constituyen uno de los grandes problemas en la agenda ambiental global y nacional. De acuerdo con el *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos* (Semarnat, 2020), en México se generan al día más de 15 000 toneladas de desechos plásticos, que en su mayoría van a parar a los sitios de disposición. Sin embargo, debido a malas prácticas de manejo, una proporción significativa llega al medio natural.

En contraste, la economía circular permite tener una visión diferente de los plásticos: no sólo como un problema ambiental, sino como un recurso valioso que, si se emplea de forma racional, puede contribuir a un aprovechamiento sustentable y a la mejora de las condiciones de vida de las personas (véase la Figura 1). El Área de Investigación de Tecnologías Sustentables de la UAM Azcapotzalco ha contribuido al análisis de la circularidad de los plásticos en México mediante el trabajo de Alethia Vázquez, Margarita Beltrán, Rosa María Espinosa, Maribel Velasco y Juan Carlos Álvarez.

Si bien la economía circular plantea distintas estrategias para mantener el valor de los materiales dentro de los sistemas de producción y consumo, la investigación realizada en la UAM Azcapotzalco muestra que en México la estrategia de circularidad que ha sido promovida en mayor medida es el reciclaje. El acopio, acondicionamiento y transformación de la materia prima es una realidad para distintos residuos plásticos provenientes de actividades productivas, de comercialización y de consumo, como los envases rígidos y la **película termoencogible** empleada en el

Película termoencogible

Plástico que se encoge al ser sometido a una fuente de calor y se usa en el embalaje de productos para su transporte o comercialización.

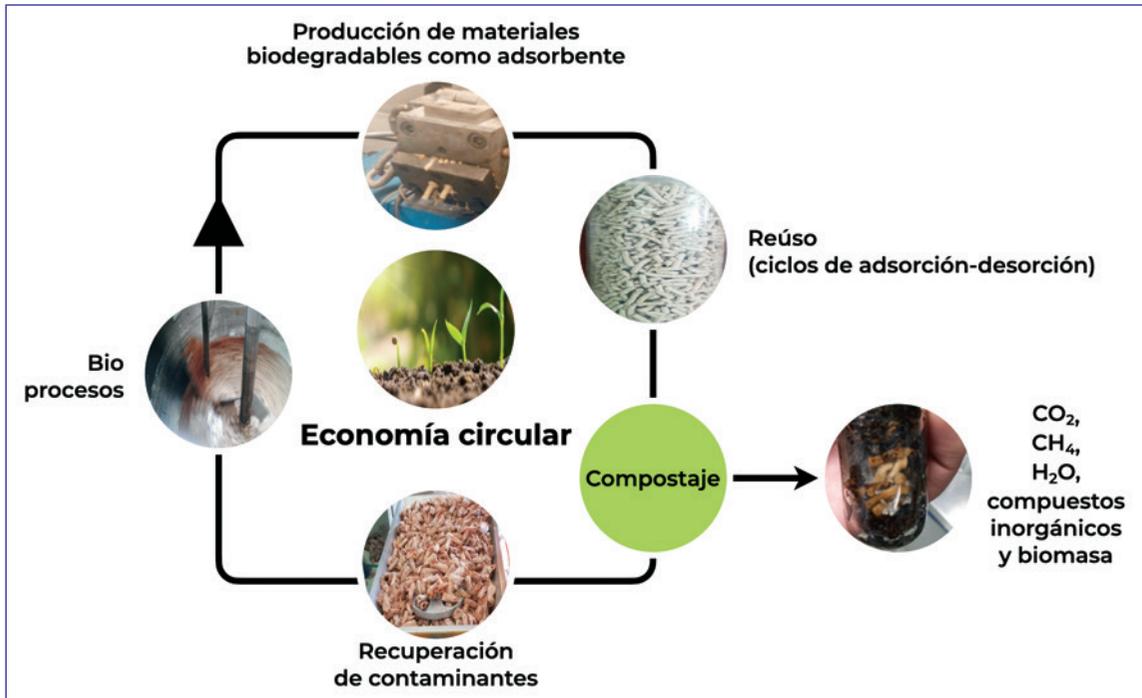


Figura 1. Proceso de economía circular. Fuente: Keiko Shirai.

Procesos enzimáticos
 Conjunto de las fases sucesivas de una operación realizada mediante proteínas que catalizan (aceleran) específicamente una reacción química.

embalaje. Sin embargo, se encontró que no se cuenta con información sistemática sobre el volumen de los materiales reciclados, en gran medida porque la cadena de valorización incluye un componente muy significativo de actividades informales.

A pesar de que existen avances en la práctica del reciclaje, es indispensable promover estrategias de circularidad que apunten a la prevención, como la reutilización, reparación y remanufactura. También consideramos necesario que los programas a desarrollar incluyan medidas que permitan involucrar al sector informal, de modo que el aprovechamiento de los recursos no se dé en detrimento del bienestar social de los sectores marginados. Esta visión amplia e integral de la economía circular llevará a un uso racional de estos materiales, indispensables en el mundo actual.

Biopolímeros y materiales biodegradables

La producción biotecnológica del biopolímero biodegradable denominado quitina, desarrollada por Keiko Shirai en la UAM Iztapalapa, es una alternativa a la disposición de residuos de la industria de alimentos. Esta solución es de fácil manejo, sim-

plicidad, rapidez (mediante **procesos enzimáticos**), control, baja inversión de energía (a temperatura ambiente), poco consumo de agua y de disolventes; además, reduce el impacto ambiental y los costos.

Los biopolímeros son producidos a partir de fuentes naturales, bien sea sintetizados vía química o biológica, los cuales pueden ser biodegradables. En México y el resto del mundo, el interés en la aplicación de estos biopolímeros es alentado por la contaminación ambiental generada por polímeros no biodegradables derivados del petróleo (véase la Figura 2). La economía circular busca mantener estos productos, componentes y materiales en uso durante más tiempo (Ghisellini y cols., 2016).

Mediante la bioconversión de fuentes renovables, como parte de una estrategia circular, la producción de biopolímeros transformados a materiales biodegradables ofrece una amplia diversidad de usos, como envases y recubrimientos para la conservación y el almacenamiento de alimentos, para textiles, como vehículos para la liberación controlada de fármacos, en andamios celulares para ingeniería de tejidos, así como adsorbentes para la remoción de metales pesados y otros contaminantes persistentes en el agua. Los conocimientos acerca de la síntesis de biopolí-



Figura 2. Uso de plásticos en México. Fuente: Alethia Vázquez Morillas.

meros y su procesamiento a materiales biodegradables son de gran relevancia, ya que cada vez más permitirán implementar medidas que tendrán un impacto directo en la comercialización de los materiales contaminantes para beneficio del ambiente y de la sociedad.

■ Manejo forestal comunitario: alternativa para almacenar carbono

■ El equipo de investigación del Departamento de Producción Agrícola y Animal de la UAM Xochimilco, integrado por Mariela Fuentes Ponce, Fernando de León González, Melquiades Cortés Pérez y Tania Leyva Pablo, en colaboración con un equipo del Colegio de Postgraduados, campus Montecillos,

en el que participan Fernando Paz Pellat y Jorge Etchevers Barra, así como con un grupo de investigadores de la Universidad de la Sierra de Juárez y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), integrado por Wenceslao Santiago García y Alejandro Ponce Mendoza, han trabajado con organizaciones campesinas como La Unión de Comunidades Productoras Forestales Zapotecas-Chinantecas (UZACHI). Como resultado de este trabajo se ha logrado la conservación de bosques de pino y encino, así como del muy singular bosque mesófilo en la Sierra Norte de Oaxaca (véase la Figura 3).

El modelo dominante de vida contemporánea ha traído efectos negativos para el ambiente, como los cambios bruscos en los eventos climáticos. Ante esta



Figura 3. Bosques de la Sierra de Oaxaca. Fuente: Mariela Fuentes.

realidad, es primordial promover la conservación y el uso racional de bosques y selvas, ya que son ecosistemas reguladores del clima, el ciclo del agua, la conservación del suelo y uno de los reservorios de carbono más grandes e importantes del planeta, lo que está ligado a la reducción del dióxido de carbono en la atmósfera. Asimismo, tienen un considerable valor económico cuando son bien aprovechados.

En México se han conservado extensas superficies forestales gracias al trabajo de las comunidades rurales, muchas de ellas indígenas, encargadas del aprovechamiento del bosque. La organización campesina UZACHI cuenta con dos variantes: un manejo forestal con un objetivo comercial que se traduce en ingresos económicos de uso social (forestería de alta intensidad) y otro de baja intensidad, más orientado a la conservación del bosque. Así, en los bosques de alta intensidad encontramos alrededor de 18 especies de árboles, mientras que en los de baja, 30.

Con base en los resultados obtenidos, la mayor diversidad de especies arbóreas significó un aumento del carbono (383.9 Megagramos de carbono por hectárea [Mg C ha⁻¹]), algo muy similar a un bosque sin manejo forestal, y también se presentó el mayor contenido de carbono en el suelo y la hojarasca (127.89 Mg C ha⁻¹) debido al manejo comunitario que favorece la permanencia de los residuos de biomasa en el terreno y fomenta la conservación de los suelos. El manejo comunitario es una alternativa ecológicamente viable para la Sierra de Oaxaca y otras regiones de México desde el punto de vista de su capacidad para almacenar carbono, además de que implica una ganancia económica. El balance financiero demostró que el método intensivo resulta más rentable debido a los periodos de tala más frecuentes, por lo que se deben gestionar incentivos financieros para las comunidades que se orienten hacia la conservación del bosque.

■ **Captura de gases de efecto invernadero**

■ Ante la crisis actual de cambio climático, ocasionado por la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, en el Laboratorio de Bioprocesos de la UAM Cuajimalpa se explora el uso de

microorganismos para la captura de metano y dióxido de carbono, principales compuestos que juntos representan más del 90% del total de emisiones. La investigación desarrollada por Patricia Ruiz Ruiz, Marcia Morales y Sergio Revah, del Departamento de Procesos y Tecnología de la UAM Cuajimalpa, busca cómo capturar estos gases mediante cocultivos de metanótrofos y microalgas.

Los metanótrofos son bacterias que crecen consumiendo metano como única fuente de carbono y energía; lo convierten y desechan como biomasa, agua y dióxido de carbono. Las microalgas, a su vez, son un grupo diverso de microorganismos fotosintéticos que convierten este gas en biomasa. La idea de cultivar juntos a estos organismos es para crear una sinergia, en la que el dióxido de carbono generado por los metanótrofos sea consumido por las microalgas, y que éstas, mediante la fotosíntesis, generen el oxígeno requerido por los metanótrofos para continuar oxidando el metano.

Este estudio explora la biodiversidad y ha evaluado combinaciones de diferentes microorganismos, por ejemplo, un consorcio metanotrófico proveniente del antiguo lago de Texcoco, el cual crece en condiciones alcalinas (pH > 9), en combinación con una microalga aislada de Cuatro Ciénegas, Coahuila. También se estudian cepas puras y otros consorcios que crecen en condiciones neutras de pH, además de otros en extrema acidez, y se exploran varias configuraciones de **biorreactores**. Los resultados hasta ahora demuestran el secuestro exitoso y simultáneo de estos dos gases de efecto invernadero (véase la Figura 4), con casi nulas emisiones de carbono y la generación de biomasa en cocultivo con valor como proteína unicelular (alimento), pigmentos, biocombustibles, bioplásticos y biofertilizantes, entre otros usos.

■ **Membranas de óxido de grafeno para mejorar la calidad del agua**

■ Tener agua de calidad adecuada y en cantidad suficiente para el consumo humano es una condición indispensable, pero únicamente 3% del agua en nuestro planeta es dulce. El crecimiento de la pobla-

Biorreactor
Recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo para facilitar el crecimiento de la biomasa por transformación o degradación de la materia orgánica.

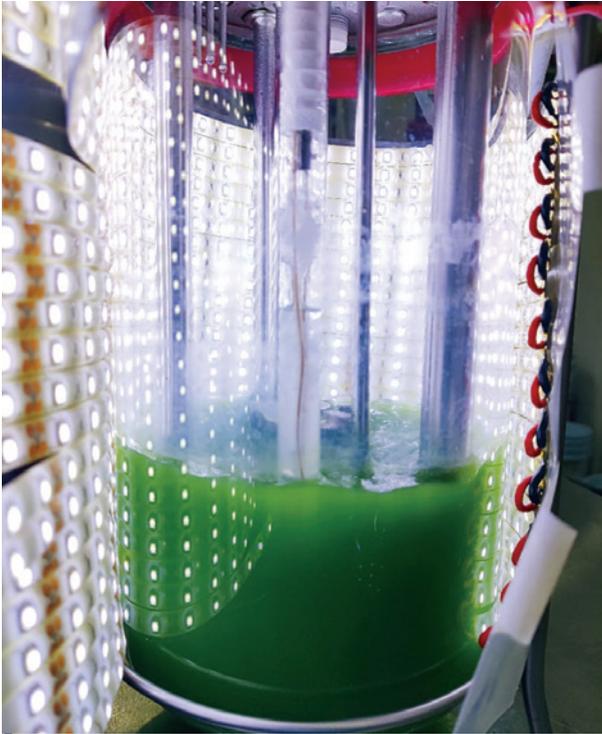


Figura 4. Captura de gases de efecto invernadero. Fuente: Sergio Revah.

ción, la urbanización e industrialización, así como el consumo de agua en actividades agropecuarias, han incrementado la escasez en muchas regiones. Ante un escenario de cambio climático, este problema se agravará en el corto plazo.

Lo anterior hace necesario eliminar aquellos contaminantes que ingresan al agua debido a las actividades humanas. Los procesos naturales pueden lidiar con algunos de éstos; sin embargo, hay otros componentes que sólo son removidos por procesos especiales que, por lo general, requieren un elevado costo de inversión y de operación, lo que ha frenado su implementación. Tal es el caso de la filtración.

En la filtración, una corriente de agua se hace pasar por un filtro o membrana que retiene los componentes que tienen mayor tamaño que los poros del material que constituye el filtro; por ello, en estas tecnologías se habla de microfiltración (retiene especies como microorganismos, **coloides**, etc.), ultrafiltración (retiene proteínas y macromoléculas) y nanofiltración (retiene especies del orden de nanómetros, como azúcares y sales polivalentes, entre otros). Dado que se requiere una diferencia de presión para hacer pasar la corriente de agua a través

de la membrana, conforme menor es el tamaño de los poros se requiere mayor presión; es decir, energía. Además, los poros se van obstruyendo con el uso, lo que ocasiona un mayor consumo energético y, finalmente, requiere el cambio de la membrana.

El investigador Yuri Reyes, de la UAM Lerma, trabaja con un material que recientemente ha llamado la atención para la generación de membranas de alto desempeño con fines de potabilización de agua: el grafeno y sus derivados, como el óxido de grafeno. El grafeno está compuesto únicamente por átomos de carbono organizados en un arreglo hexagonal; es una “hoja” con espesor de un átomo, funciona como excelente conductor del calor y la electricidad y, además, es impermeable y presenta propiedades mecánicas extraordinarias.

No obstante, el grafeno tiene carácter hidrofóbico; es decir, no se moja con el agua. Cuando una hoja de grafeno tiene átomos de oxígeno, se convierte en óxido de grafeno, y entonces sus propiedades se pueden ajustar según la cantidad de oxígeno, pues se vuelve hidrofílico (se puede mojar) y puede reaccionar para modificar su comportamiento. Las membranas de óxido de grafeno tienen huecos de tamaño nanométrico y pueden eliminar moléculas contaminantes por micro o ultrafiltración.

Además, hay otros mecanismos; por ejemplo, los grupos con oxígeno se cargan negativamente, por lo que los iones metálicos con cargas positivas pueden ser retenidos por interacción electrostática, lo que se usa para retener iones de plomo, mercurio y otros metales potencialmente tóxicos. También las regiones hidrófobas del óxido de grafeno tienen afinidad por las moléculas no polares, como las grasas, aceites y algunos fármacos, lo que hace que se queden retenidas en la membrana. Asimismo, se puede ajustar el espacio entre las hojas que forman la membrana, lo que da lugar a membranas selectivas por tamaño molecular que han mostrado tener buena permeabilidad al agua; es decir, se aumenta la cantidad de agua filtrada con el mismo consumo energético que tienen otras membranas similares.

Aunque la tecnología de membranas ya es conocida y usada para potabilizar el agua, es necesario desarrollar membranas que funcionen con varios

Coloides

Sistemas en los que una fase sólida o líquida se presenta en partículas que tienen tamaños del orden de micrómetros y se dispersan en otra fase; a simple vista parecería una mezcla homogénea, pero a menor escala se observan las micropartículas.

mecanismos simultáneamente para retener iones y moléculas de contaminantes que no pueden eliminarse por otros procesos. Adicionalmente, es necesario que sean sencillas de producir, que requieran un bajo consumo energético durante su uso y que tengan un tiempo de vida útil adecuado. En pruebas de laboratorio las membranas de óxido de grafeno cumplen con estas funciones, pero hace falta desarrollar rutas eficientes para la obtención del óxido de grafeno que permitan tener membranas que sean competitivas en el mercado respecto a sus propiedades y por su costo.

Alethia Vázquez Morillas

Departamento de Energía, UAM Azcapotzalco.
alethia@azc.uam.mx

Concepción Keiko Shirai Matsumoto

Departamento de Biotecnología, UAM Iztapalapa.
smk@xanum.uam.mx

Mariela H. Fuentes Ponce

Departamento de Producción Agrícola y Animal, UAM Xochimilco.
mfponce@correo.xoc.uam.mx

Sergio Revah Moiseev

Departamento de Procesos y Tecnología, UAM Cuajimalpa.
srevah@correo.uam.mx

Yuri Reyes Mercado

Departamento de Recursos de la Tierra, UAM Lerma.
y.reyes@correo.ler.uam.mx

Mario de Leo Winkler

Departamento de Comunicación del Conocimiento, Rectoría General de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).
madeleowinkler@correo.uam.mx

Lecturas recomendadas

- Cortés-Pérez, M., F. de León-González, F. Paz-Pellat, T. Leyva-Pablo, W. Santiago-García, A. Ponce-Mendoza y M. H. Fuentes-Ponce (2021), “Almacenamiento de carbono aéreo en un bosque templado de Oaxaca: manejo de alta y baja intensidad”, *Madera y Bosques*, 27:4.
- Ghisellini, P., C. Cialani y S. Ulgiati (2016), “A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems”, *Journal of Cleaner Production*, 114:11-32.
- Leyva-Pablo, T., F. de León-González, J. D. Etchevers-Barra, M. Cortés-Pérez, W. Santiago-García, A. Ponce Mendoza y M. H. Fuentes-Ponce (2021), “Almacenamiento de carbono en bosques con manejo forestal comunitario”, *Madera y Bosques*, 27:1.

La sección “Circularidad de residuos plásticos en México” fue escrita por Alethia Vázquez Morillas; “Biopolímeros y materiales biodegradables”; por Concepción Keiko Shirai Matsumoto; “Manejo forestal comunitario: alternativa para almacenar carbono” fue escrita por Mariela H. Fuentes Ponce; “Captura de gases de efecto invernadero”; por Sergio Revah Moiseev; “Membranas de óxido de grafeno para mejorar la calidad del agua” fue escrita por Yuri Reyes Mercado. El artículo fue coordinado por Mario de Leo Winkler.