

# El desafío de los residuos plásticos: ¿una vía hacia la sostenibilidad energética?

Angélica Dessire Cuevas Cortés, Maritza Stephanía Flores García y José Alberto Aguilar Urióstegui

Los tres autores nacieron en Cuernavaca, Morelos, y son estudiantes del 2o semestre de la Licenciatura en Diseño Molecular y Nanoquímica del IICBA-UAEM. Este trabajo es su proyecto final del curso de Taller de Lectura y Redacción de Textos Científicos.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

## Bolsas de plástico

¿Te ha pasado que vas de compras y ya no te dan una bolsa de plástico para guardar los productos? ¿Has dudado sobre cuál es el contenedor correcto para los desechos plásticos? La acumulación masiva de residuos plásticos es una amenaza global que nos preocupa a algunos, pero deja indiferentes a otros, quienes creen que la responsabilidad de encontrar soluciones sostenibles recae en otros. En este contexto, la pirólisis emerge como una opción innovadora. La palabra pirólisis significa romper (-lisis) con fuego (del griego pyros). Es un proceso de descomposición térmica de la biomasa que convierte los plásticos en combustibles, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero. A pesar de los obstáculos, como la descomposición limitada de ciertos polímeros, se considera que su implementación a gran escala puede desempeñar un papel clave en la lucha contra la acumulación de residuos plásticos y promover la sostenibilidad energética.

## La era de los plásticos: impacto y contaminación

La era de los plásticos inició en 1910 con la invención y comercialización de la baquelita, el primer plástico comercial completamente sintético. Desde entonces, los plásticos han estado presentes generando un impacto significativo en nuestra sociedad y en el medio ambiente.

El término "plástico" abarca diversos materiales sintéticos y semisintéticos compuestos por cadenas largas de polímeros, formadas por pequeñas moléculas que se repiten como cuentas en un collar. Los plásticos se fabrican a partir de diversas materias primas naturales como el carbón, la celulosa, y algunos derivados del petróleo. Para obtener los compuestos químicos necesarios en la fabricación de plásticos a partir del petróleo, se emplean procesos químicos específicos. Uno de estos procesos es el craqueo, en el cual se descomponen moléculas grandes en moléculas más pequeñas y simples. El craqueo ayuda a obtener compuestos químicos útiles en la fabricación de plásticos, como el etileno, el estireno, el propileno, el butadieno, el metanol y el cloruro de vinilo, entre otros. Estos monómeros, como se conocen a las moléculas pequeñas que se utilizan en la polimerización, se unen entre sí en un proceso químico en el cual forman cadenas largas y repetitivas, conocidas como polímeros. La fórmula química del plástico es una forma abreviada de representar las largas cadenas de moléculas que lo componen, (-C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>-)<sub>n</sub>. Las letras y números en la fórmula representan los átomos presentes, y el número *n* indica cuántas veces se repite la molécula de monómero.

Existen diferentes tipos de plásticos, cada uno con características y propiedades distintas. Según sus características físicas existen dos familias de plásticos, los termoplásticos y los termoestables. Los termoplásticos son plásticos que pueden ser moldeados y fundidos mediante el calor sin que sus propiedades químicas se vean alteradas y se caracterizan por su facilidad de reciclaje. Algunos de los termoplásticos más conocidos son: Polietilentereftalato (PET), Polietileno de alta densidad (HDPE) y Policloruro de vinilo (PVC). Por su parte, los termoestables son polímeros que no se vuelven maleables al ser calentados, y si se les aplica más

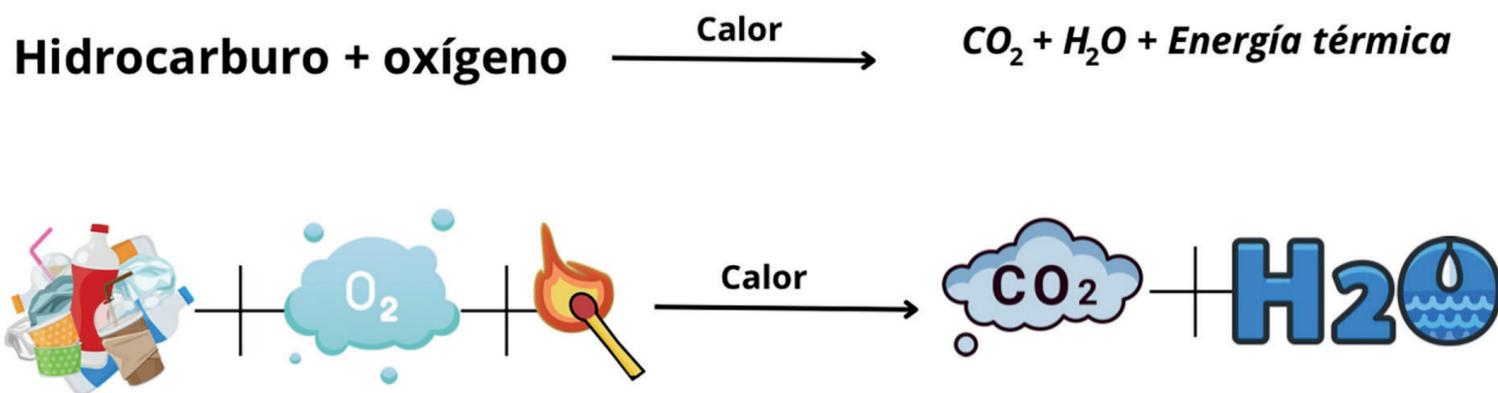


FIGURA 1. REACCIÓN de la combustión

calor, en lugar de ablandarse, simplemente se degradan, por lo que su reciclaje presenta dificultades. Existen varios termoestables que se utilizan en diversas aplicaciones. Un ejemplo de ellos es la baquelita, que se emplea en la fabricación de productos eléctricos y aislantes, como enchufes e interruptores de luz.

Los plásticos son resistentes, ligeros, flexibles y se moldean fácilmente. Se usan en envases de alimentos, ropa, dispositivos electrónicos, etc. Sin embargo, el uso excesivo y los desechos de plástico de un solo uso han causado una acumulación masiva de residuos en vertederos, océanos, ríos y ecosistemas naturales. Además, su lenta degradación produce microplásticos que contaminan el agua, el suelo y los organismos vivos.

En México, según el "Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México en 2021" del Inegi, se recolectan diariamente un promedio de 106 mil toneladas de residuos sólidos urbanos. Un camión estándar tiene una capacidad de carga de hasta 10 toneladas, lo que implica que se necesitan 10 mil 600 camiones estándar al día para recolectar dicha cantidad de residuos sólidos. En promedio, cada persona genera alrededor de 850 gramos de residuos sólidos al día. Aunque no todo residuo sólido es plástico, todos sabemos que normalmente desechamos en la basura doméstica.

De acuerdo con el "3er Informe del acuerdo nacional para la nueva economía del plástico en México 2022" de ANIPAC, se estima que el consumo aparente de plásticos en México durante 2021 rebasó los seis millones de toneladas. Esta cantidad equivaldría a casi 700 mil camiones estándar. Dentro de esta total, se estima que el 45.4% se destina a la fabricación de enva-

jes y empaques, lo que representa alrededor de 3 millones de toneladas ¡más de 300 mil camiones estándar!

La acumulación de plásticos no es el único problema. La producción de estos materiales también presenta un desafío significativo, ya que es uno de los procesos más exigentes en términos de consumo energético a nivel mundial. Además, el uso excesivo de combustibles fósiles resulta en otro problema ambiental, ya que durante su obtención se liberan grandes cantidades de productos tóxicos y contaminantes. Sabemos que existe una dependencia significativa de los hidrocarburos debido a que la tecnología más abundante depende de ellos, pero estos recursos son limitados. Por lo tanto, es de vital importancia desarrollar alternativas sustentables.

## ¿Qué se hace con el plástico?

Ante la acumulación excesiva de plástico se han desarrollado procedimientos para darle un nuevo ciclo de utilidad. El reciclaje, que consiste en un proceso fisicoquímico y mecánico, busca obtener materia prima para crear nuevos productos similares al original. Sin embargo, el reciclaje tiene una limitación en la cantidad de veces que se puede realizar. Después de varios ciclos, el plástico se vuelve inutilizable, lo que genera nuevamente un problema de acumulación de basura.

Actualmente, se han desarrollado técnicas químicas que posibilitan el reciclaje, una de ellas es la ya mencionada pirólisis, que resulta ser la más conocida y eficaz. La pirólisis es un proceso de descomposición térmica de la materia orgánica, que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno, y esta característica es la que lo distingue de la combustión. En los procesos de combustión del plástico (ver Figura 1) se generan productos como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el cual provoca

que el nivel de gases contaminantes aumente. Además, las reacciones de combustión producen una gran cantidad de energía térmica y pueden producirse algunos gases tóxicos, dependiendo del tipo de plástico.

Por otro lado, la pirólisis rompe a altas temperaturas los enlaces que unen las cadenas poliméricas de alto peso molecular y, sin la presencia de oxígeno, no se forma CO<sub>2</sub>. Un proceso similar al cracking que, en lugar de hidrocarburos, utiliza polímeros. La pirólisis se lleva a cabo a temperaturas que oscilan entre los 300 °C y 1200°C, a presión baja, según el tipo de materia orgánica de la que se trate (ver Figura 2).

El procedimiento depende de diversos factores, como la estructura de la materia prima, la velocidad de calentamiento y el tiempo de exposición. El proceso implica tanto un cambio físico como químico, por lo que es irreversible. Se divide en tres etapas: dosificación de la materia prima, transformación de la materia orgánica y obtención de productos. Los principales productos obtenidos son los residuos sólidos, que consisten principalmente en cenizas y materiales que contienen carbono (biocarbón); residuos gaseosos que, además del hidrógeno molecular (H<sub>2</sub>), son cadenas de hidrocarburos no condensados como, el metano (CH<sub>4</sub>), el etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), el etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) y productos líquidos que se consideran biocombustibles debido a que provienen de la descomposición de materia y desechos orgánicos.

## Una idea brillante

La obtención de combustibles mediante la pirólisis se ha considerado una opción viable en el abordaje de la problemática del exceso de plástico en nuestro planeta. La idea de aplicar la pirólisis en el tratamien-

to de residuos plásticos fue implementada desde los años 80 del siglo pasado en países asiáticos. El objetivo principal de ellos fue utilizar los gases producidos para el funcionamiento de plantas productoras de electricidad. Posteriormente, se descubrió que al elevar las temperaturas durante el proceso de pirólisis se obtenían productos más estables desde el punto de vista térmico, como el diésel, el queroseno y diferentes fracciones de gasolina. Inicialmente, la pirólisis se utilizaba con materia orgánica como la madera y sus derivados, así como otros desechos vegetales. Sin embargo, hubo controversia respecto a aplicarla a los plásticos, ya que no se consideraban materia orgánica. No obstante, en la actualidad se reconoce que los plásticos son orgánicos debido a su composición de átomos de carbono e hidrógeno. A lo largo del tiempo, se han realizado modificaciones en el proceso de pirólisis, incluyendo pruebas a diferentes temperaturas, con distintos tipos de plásticos y variando los tiempos de proceso. Estos experimentos han llevado a una mejora continua del proceso, optimizando la obtención de combustibles y ampliando su potencial como una al-

ternativa sostenible y prometedora en el manejo de los residuos plásticos y la producción de energía.

## No todo se puede "pirolizar"

No todos los residuos sólidos son aptos para la pirólisis, a pesar de sus beneficios ambientales. Solo las moléculas termolábiles, aquellas que se descomponen a altas temperaturas, pueden ser descompuestas mediante este proceso. Los plásticos que no se pueden emplear en el proceso de pirólisis son principalmente: Poliestireno (PS), Cloruro de polivinilo (PVC) y Politetrafluoroetileno (PTFE). Los compuestos resultantes de pirólisis que contienen en su estructura, cloro, nitrógeno y azufre resultan ser altamente tóxicos. También, los compuestos orgánicos volátiles como tolueno, formaldehído, cloruro de vinilo y cianuro de hidrógeno (HCN) representan un peligro a la salud, especialmente para el personal involucrado en el proceso.

## En México...

Al igual que en otros países, México enfrenta una enorme problemática derivada del uso excesivo de plásticos. En este contexto, ha surgido una innovadora idea deno-

minada "petgas", patentada por el Ing. Jesús Padilla Rodríguez. Esta idea ha dado lugar a la creación de una empresa en Chihuahua, encargada de llevar a cabo el proceso de pirólisis con el objetivo de obtener gasolinas y combustibles líquidos a partir de los desechos de plástico. La gasolina de esta planta tiene un promedio de 102 octanos, superando la gasolina comercial del petróleo. El octanaje indica la resistencia del combustible a la detonación en motores de combustión interna. Los motores de alto rendimiento con alta compresión requieren un octanaje alto, por eso los combustibles de alto octanaje se usan principalmente en motores de vehículos de carreras.

## Rentabilidad y sostenibilidad del proceso

La rentabilidad de las plantas de producción de biocombustibles depende de los costos internos, la eficiencia del proceso y el mercado de los productos derivados. El precio de venta se ve influenciado por la oferta y la demanda. Una alta demanda de aceite de pirólisis resultará en un precio más elevado. Además, el reactor debe ser diseñado de manera que sea compatible con el método de calentamiento seleccionado a fin de lograr la máxima eficiencia. La selección del reactor de pirólisis más apropiado, en una aplicación específica, dependerá de factores como: el tipo de materia orgánica, los productos deseados y el presupuesto disponible. La eficiencia de la planta es muy afectada por la cantidad de energía consumida durante el proceso, una planta de pirólisis eficiente debe utilizar bastante menos energía para mantener costos operativos bajos. A fin de aprovechar al máximo esta tecnología sería necesario que cada estado implemente plantas de pirólisis para tratar los residuos plásticos y establezca políticas de recolección clasificada o separada según el tipo de material. Es fun-

damental que los ciudadanos sean capaces de identificar los diferentes tipos de plástico para realizar una separación adecuada. De esta manera, se maximizará el potencial de la pirólisis como solución para los residuos plásticos y se fomentará la sostenibilidad ambiental.

## México y la economía circular: un modelo de desarrollo sustentable

La Asociación Nacional de Industrias del Plástico, A.C. (ANIPAC) resaltó la importancia de comprender que México está alineado con los conceptos de sustentabilidad y economía circular. La economía circular se basa en la idea de eliminar la noción de residuo y mantener los recursos en uso constante, cerrando los ciclos de vida de los productos, materiales y recursos naturales. A diferencia del modelo económico lineal tradicional de "tomar, utilizar y desechar", en la economía circular se busca maximizar el valor y la utilidad de los productos, al mismo tiempo que se minimiza la generación de residuos.

La pirólisis es una forma de valorización de residuos en el marco de la economía circular, permite aprovechar materiales orgánicos y residuos no fácilmente reciclables, transformándolos en productos útiles como combustibles, gases y productos químicos. En lugar de desechar los materiales orgánicos como residuos, se les da un nuevo propósito y se convierten en recursos valiosos.

Además, la pirólisis puede integrarse en sistemas más amplios de la economía circular. Por ejemplo, los productos obtenidos a través de pirólisis, como el aceite de pirólisis y el carbono de pirólisis, pueden ser utilizados como fuentes de energía renovable, contribuyendo a una transición energética más sostenible. También, como se mencionó antes, la pirólisis produce algunos compuestos gaseosos combustibles que, en lugar de comercializarse, se

utilizan para alimentar las propias plantas del proceso. Esto permite reducir la dependencia de fuentes de energía externas y a la vez optimizar la eficiencia energética del sistema.

## Mirando al futuro ¿qué nos queda por esperar?

En general, se plantea la pirólisis como una tecnología prometedora en la producción de energía. No obstante, es de suma importancia evaluar detenidamente los posibles impactos ambientales de este proceso antes de su implementación a gran escala. La pirólisis puede considerarse una forma sostenible de generar energía a partir de biomasa que tiene como ventaja el producir bajas emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, además de generar una variedad de productos. Sin embargo, antes de implementarla a gran escala, es fundamental analizar cuidadosamente sus posibles impactos ambientales. Existen algunas opciones que podrían mejorar la sostenibilidad del proceso. Entre ellas destacan el uso de biomasa proveniente de fuentes sostenibles, el desarrollo de tecnologías de pirólisis más eficientes, el diseño de reactores de pirólisis que capturen y reciclen los productos generados, así como una mejor supervisión y control de los procesos de pirólisis.

*Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.*



FIGURA 2. ESQUEMA de una planta de proceso por pirólisis

ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: [www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)  
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTACTANOS: [editorial@acmor.org.mx](mailto:editorial@acmor.org.mx)

## BIBLIOGRAFÍA

Ramón, M. G. S.; Luna, M. R. A.; Castillo, M. T. P. El reciclaje: un nicho de innovación y emprendimiento con enfoque ambientalista. *Universidad y Sociedad* 2017, 9 (1), 36–40.  
Sebastián Amar Gil, Alba N. Ardila Arias, Rolando Barrera

Zapata. Vista de Simulación y obtención de combustibles sintéticos a partir de la pirólisis de residuos plásticos. *Edu.co.* <https://doi.org/10.14482/inde>.  
Ramos, F. D.; Díaz, M. S.; Villar, M. A. Biocombustibles. Ramos, Fernando Daniel; Díaz, María Soledad; Villar, Marcelo Armando; Biocombustibles; Asociación Civil Ciencia Hoy; Ciencia Hoy 2016  
Oswaldo Proaño, S. C. Obtención de combustibles a partir de residuos plásticos. 2009, 30 (1), 137–144.

## LECTURAS RECOMENDADAS

Córdova, D. G.; Flores, E. N.; García, R. R.; Salvador, J. C. R. Una vida de plástico. *Ciencia UNAM.* <https://ciencia.unam.mx/leer/766/una-vida-de-plastico> (consultado 2023-06-20).