

Boletín



Academia Mexicana de Impacto Ambiental, A.C.



MÉXICO ANTE LA PROBLEMÁTICA GLOBAL DE LOS PLÁSTICOS Y MICROPLÁSTICOS

Segunda
Parte

Colaboradores:

MARIO
FACIO SALAZAR



MARGARITA EUGENIA
GUTIÉRREZ RUIZ

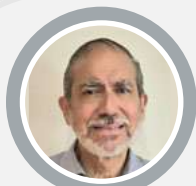


JESSICA
LABRA GRANADOS

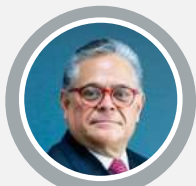


HÉCTOR
SÁNCHEZ RODRÍGUEZ

DIRECTORIO



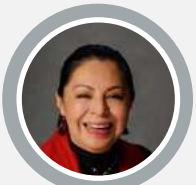
Lic. Daniel
Basurto González



Lic. Sergio B.
Bustamante Acuña



Lic. Alma O.
Escamilla Cano



Dra. María E.
González Ávila

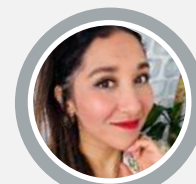


MC. Ángel A.
Luna Ramírez



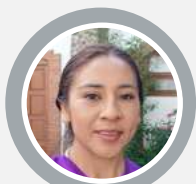
LLM. Ninna
Rippa Solorzano

COMITÉ EDITORIAL



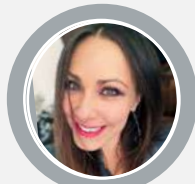
Lic. Yeni A.
Fernández Benitez

COORDINADOR EDITORIAL
Y DE ARTE Y DISEÑO



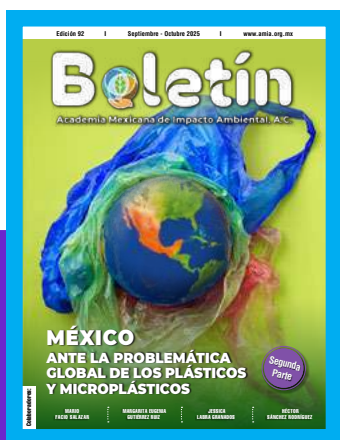
Biól. Elisa
Zavala Cuevas

EDITOR



Lic. Jazmín
Rodríguez González

ARTE Y DISEÑO



amia@amia.org.mx



www.amia.org.mx



(55)_5688 _1014

Fotografía de
portada:
Jazmín Rodríguez
González

05

VIVIMOS ENTRE PLÁSTICO Y TIENE SUS RIESGOS, PERO ES NECESARIO

Por Mario Facio Salazar

14

OPCIONES DE RECICLAJE DE RESIDUOS PLÁSTICOS Y SU APLICACIÓN EN EL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS URBANOS: UN ESTUDIO DE CASO

Por Margarita Eugenia Gutiérrez Ruiz

29

RESIDUOS QUE NO SE VEN: LA OTRA CARA DEL SECTOR AGRÍCOLA

Por Jessica Labra Granados

35

LA AMENAZA SILENCIOSA A LA VIDA. ASPECTOS JURÍDICOS DE LOS PLÁSTICOS, MICRO- Y NANO-PLÁSTICOS EN MÉXICO

Por Héctor Sánchez Rodríguez

“Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores, por lo que no necesariamente reflejan la opinión de la AMIA. Los reconocimientos, citas y referencias bibliográficas que los colaboradores hicieron u omitieron hacer a la información extraída de otros autores, instituciones, informes, reportes u otros medios, según corresponda en cada caso, son de exclusiva responsabilidad de cada autor”



EDITORIAL

Estimados Lectores:

En la presente edición número noventa y dos del Boletín de la AMIA damos continuidad a los análisis de los plásticos y micro plásticos y la posición que observa el país ante su problemática global. Se trata de un tema que impacta no sólo la vida cotidiana, sino también la salud humana, la biodiversidad y el equilibrio de nuestros ecosistemas. La presencia de microplásticos en el agua, el suelo, la fauna y la flora nos recuerda que este problema rebasa lo industrial o lo legal, y toca directamente la calidad de vida de las generaciones actuales y futuras.

Esta publicación está conformada por una visión introductoria que, a través de un cuestionamiento, busca despertar la conciencia social, así como por tres opiniones más que exploran soluciones desde el reciclaje químico, el manejo de residuos agrícolas peligrosos y, finalmente, el ámbito legal. Vayamos con un breve resumen de cada una.

Comencemos con el artículo del **Mtro. Mario Facio Salazar**, quien conecta el contenido del Boletín 91 de la AMIA, también dedicado al tema de plásticos y micro plásticos, con esta nueva edición. Así, con el título *“Vivimos entre plástico, y tiene sus riesgos, pero es necesario”*, guía desde la historia de la creación de los plásticos y su producción en masa, el papel que tienen hoy en la vida cotidiana, guía desde la historia de la creación de los plásticos y su producción en masa, el papel que tienen hoy en la vida cotidiana, lo que representa para el medio ambiente su manejo adecuado, cómo está regulado su uso en México, las alternativas “verdes” que han surgido para sustituir el plástico, el cómo deberían regularse tomando en cuenta las ventajas y desventajas de su uso, hasta como podría integrarse a la economía circular. El texto invita a reflexionar sobre cómo equilibrar ventajas y riesgos a través de una regulación integral (federal, estatal y municipal), y la importancia de una conciencia social compartida.

Para dar continuidad a lo cotidiano que se ha vuelto el uso de los plásticos, la **Dra. Margarita E. Gutiérrez Ruiz**, explica con datos concretos la situación de su manejo, enfatizando que, si bien, existen distintos métodos de reciclaje como el mecánico, químico, biológico y térmico, también hay alternativas que pueden complementar dichos métodos como lo son los centros de pirólisis, en los que también se puede obtener combustible. Con el título *“Opciones de reciclaje de residuos plásticos y su aplicación en el manejo integral de residuos urbanos: un caso de estudio”*, la autora ejemplifica cómo la aplicación de la pirólisis, destaca como opción para tratar plásticos clasificados o mezclados, si se controla rigurosamente su operación y, sobre todo, si se financian y mejoran este tipo de proyectos. Su análisis muestra cómo la ciencia aplicada puede transformar residuos en recursos y abrir nuevos caminos de innovación.

Por su parte, la **Lic. Jessica Labra Granados** nos lleva a conocer lo trascendental que es el manejo de residuos peligrosos en la agricultura, tanto para la salud humana y el medio ambiente, como para la salud del suelo, elemento fundamental de la agricultura. A través de su artículo

titulado “Residuos que no se ven: la otra cara del sector agrícola”, hace un valioso análisis sobre cómo las políticas nacionales sobre gestión de residuos agrícolas peligrosos deben fortalecerse para poder replicarse. Así, también, podemos observar una solución que avanza exitosamente y responde a la problemática de la contaminación plástica del sector agrícola, que se dirige hacia: el manejo y disposición adecuada de sus residuos peligrosos, la operación de Centros de Acopio Primarios (CAP) y Temporales (CAT), de recicladoras autorizadas, así como, de su coordinación operativa a través de herramientas tecnológicas como lo es la plataforma SIGA-Mex.

Para concluir, el **Lic. Héctor Sánchez Rodríguez** esta problemática nos habla de la responsabilidad compartida que tenemos ante *la problemática por contaminación de los micro y nano plásticos*. Con el título “La amenaza silenciosa a la vida. Aspectos jurídicos de los plásticos, micro- y nano-plásticos en México”, nos hace ver cómo los efectos de este tipo de contaminación en la salud humana violan los derechos 1) a la salud y 2) a un medio ambiente sano. Problemática que bien puede buscar solucionarse a través de dos enfoques: *el de la remediación* que puede abordarse a través de acciones pragmáticas como lo es la modificación de NOM-001 para el monitoreo de descarga de aguas residuales, por mencionar una de ellas; y mediante *el enfoque de la prevención*, con el que se enfatiza la necesidad urgente que tenemos como país, de adoptar el principio precautorio para actuar desde éste y evitar daños futuros.

Estas cuatro contribuciones reflejan un hecho esencial: la ciencia, la tecnología, el marco legal y la conciencia social deben avanzar juntos. La investigación científica —especialmente la impulsada por jóvenes— será clave para encontrar nuevas soluciones, mientras que la educación ambiental sigue siendo la herramienta más poderosa para generar cambios reales en nuestros hábitos.

Con esta edición cerramos el ciclo sobre plásticos y microplásticos en el Boletín institucional de la AMIA de este año. Sin embargo, la conversación sigue abierta. **Les invitamos a sumarse a la Cuarta Mesa de Análisis, cuyo tema “Economía circular: nueva herramienta para la sostenibilidad y gestión de los residuos y sustancias químicas”, está incluida en el programa del 5° Congreso Nacional de Impacto Ambiental que celebraremos el próximo mes de octubre, en la Ciudad de México.**

Saludos.



**Elisa Zavala
Cuevas**

Academia Mexicana
de Impacto Ambiental,
A.C. (AMIA)
Comité Editorial AMIA.

RUMBO AL QUINTO CONGRESO NACIONAL DE IMPACTO AMBIENTAL

Curso virtual

Introducción al derecho ambiental internacional

Énfasis en Acuerdos Multilaterales Ambientales

DIRIGIDO A

Profesionistas ambientales, tomadores de decisiones y público en general interesado en conocer la esencia de los Acuerdos ambientales de los que México es Parte.

TEMARIO

- Hitos del derechos Ambiental Internacional
- Qué son las Acuerdos Multilaterales Ambientales
- Qué organismos participan
- Principales obstáculos en su implementación



MIÉRCOLES 24 SEPTIEMBRE, 2025



5:00 – 08:00 P.M.



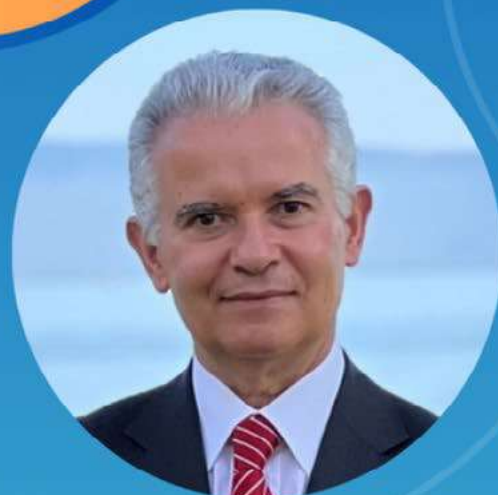
VÍA ZOOM

REGÍSTRATE AQUÍ

Cuota de recuperación:

Socios AMIA: \$700.00

Público en general: \$1,160.00 (IVA incluido)



Mauricio Limón Aguirre
Expositor

Socio Director de Limón Consultores, S.C. e integrante del Comité Académico del 5° Congreso Nacional de Impacto Ambiental, con amplia trayectoria en el ámbito del Derecho ambiental, como funcionario de la Administración Pública y autor de libros en la materia

INFORMES E INSCRIPCIONES

cursos@amia.org.mx

55 5688-1014

www.amia.org.mx



VIVIMOS ENTRE PLÁSTICO Y TIENE SUS RIESGOS, PERO ES NECESARIO



Resumen

El mundo actual debe ser consciente de los riesgos que implica el uso de los plásticos, sin perder de vista las bondades de estos materiales. El problema actual debe resumirse a una mejor gestión de los mismos durante su producción, utilización y disposición. Para ello debemos analizar la información actual.



Por Mario Facio Salazar

Licenciado en Derecho por la Universidad Panamericana, cuenta entre otros con *Master Business Administration* por parte del IPADE, un diplomado en Derecho Ambiental por el Instituto Tecnológico Autónomo de México. Actualmente es socio del área ambiental y cambio climático en el despacho *Fisher Broyles*.



Uno de los temas más relevantes de nuestros días es sin duda el abuso en el uso de los materiales plásticos. Los plásticos materiales que se adaptan a muchas de nuestras necesidades, tienen multitud de usos y, sin duda tienen algunas desventajas. ¿Qué tan perjudiciales son los plásticos para nuestro mundo? En estas líneas pretendemos dar algunas ideas para abordar un complejo problema desde una perspectiva crítica. No hay respuestas correctas, pero tal vez el reto más importante es sintetizar el mar de información que tenemos a nuestra disposición para forjarnos una postura razonable sobre el modo en que producimos, empleamos y disponemos de los plásticos, y cómo esas decisiones afectarán a nuestro entorno y a nosotros mismos.

El tres de julio se celebra el día internacional libre de bolsas de plástico. El mismo se estableció a nivel mundial en el año 2008 para crear conciencia sobre la importancia de reducir el uso de plásticos de un solo uso. La premisa de esta conmemoración es que un uso excesivo y no regulado de los plásticos puede tener consecuencias adversas tanto a nivel del medio ambiente como a nivel social.

Los plásticos están integrados en nuestra vida diaria: los vemos en nuestras casas, en nuestros trabajos, en nuestros vehículos. Es sabido, que al término de su vida útil pueden generar ciertos problemas. Al ser tan relevantes, debemos responder algunas preguntas para abordar las

distintas problemáticas que se generan alrededor de este tema.

¿Qué son los plásticos?, ¿Por qué los creamos?, ¿qué ventajas tienen este tipo de materiales?, ¿qué efectos adversos tienen o pueden tener en el ambiente?, ¿cómo están regulados actualmente en México?, ¿cómo deberían regularse tomando en cuenta sus ventajas y desventajas?, ¿qué tan sustentables o viables son las alternativas? y por supuesto, los retos que tenemos como sociedad para su mejor aprovechamiento.

Comencemos desarrollando cada uno de estos cuestionamientos:

¿Qué son los plásticos?

La mayor parte de las veces sabemos distinguir un plástico de lo que no lo es, pero, aunque resulte evidente, para tener una postura informada es necesario acercarnos a una definición que nos permita sentar las bases para su regulación.

La etimología de la palabra plástico viene del griego *πλαστικός*, que significa moldeable o capaz de ser moldeado, lo cual apunta a una de las principales características de los materiales que conocemos como plásticos.

Por su parte, la Real Academia de la Lengua Española, contempla siete definiciones para la

palabra plástico. De entre ellas destacan dos que se refieren al plástico como un material: (a) los materiales que mediante compresión pueden cambiar de forma y conservar ésta de modo permanente, a diferencia de los cuerpos elásticos o (b) los materiales sintéticos que pueden moldearse fácilmente y están compuestos principalmente por polímeros como la celulosa.

Desde un punto de vista técnico, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, (<https://goldbook.iupac.org/terms/view/BT07169>) define a los plásticos como materiales orgánicos de alto peso molecular, sólidos en su estado final, que pueden ser moldeados mediante flujo viscoso bajo procesos industriales (extrusión, inyección, termoformado).

Legalmente, la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal¹, considera al plástico como un material fabricado a partir de una amplia gama de polímeros orgánicos, fósiles y no fósiles, tales como el tereftalato de polietileno (PET), el polipropileno (PP), el polietileno de baja densidad (PEBD), el polietileno de alta densidad (PEAD), el poliestireno (PS), poliestireno expandido (PSE), el policloruro de vinilo (PVC) y policarbonatos que pueden moldearse mientras son suaves y luego volverse a su forma rígida o ligeramente rígida e incluso elástica.

Al comparar estas definiciones podemos concluir que cuando nos referimos a los plásticos, hablamos de un material, que puede ser moldeado para obtener una forma final, y que para efectos legales se describe a partir de ciertos componentes empleados en su fabricación.

¿Por qué se crearon los plásticos?

Aunque en la antigüedad encontramos referencias al uso de algunas gomas y lacas obtenidas a partir de resinas naturales con propiedades similares, los plásticos modernos fueron inventados en el siglo XIX. Entre otros datos podemos mencionar que en 1839 Charles Goodyear descubrió el proceso de la vulcanización para añadir cierta dureza al hule natural, el cual, en su estado natural se volvía quebradizo al frío y pegajoso al calor. En 1860, la empresa Phelan & Collander lanzó un concurso

para la creación de un material para fabricar bolas de billar, las cuales hasta esa fecha se hacían de marfil. En dicho concurso participó John Wesley Hyatt, quien inventó un producto llamado celuloide, que, si bien no ganó el concurso, fue muy relevante para el desarrollo de otros plásticos modernos. Esa necesidad de sustituir el marfil utilizado en las bolas de billar y en las teclas de los pianos, estaba relacionada con una reducción de costos de producción, pero la consecuencia fue que el marfil se hiciera menos necesario para la economía y, la población de elefantes se vio beneficiada. Algo similar pasó con las tortugas: en algún momento histórico, los mejores peines se fabricaban tallando piezas de carey, que es el caparazón de las tortugas. Con la llegada de los plásticos, se pudieron fabricar peines con un material ligero, barato y abundante, de modo que podemos afirmar que el uso de los plásticos salvó a las tortugas.

En consecuencia, la historia de los plásticos coincide con la búsqueda de nuevos materiales que tengan propiedades que permitan satisfacer distintas necesidades. Más adelante veremos que precisamente algunas de esas propiedades pueden ser el origen de alguna adversidad para el medio ambiente.





¿Qué ventajas tienen los plásticos?

Actualmente podemos encontrar una gran variedad de plásticos. Más que hablar de ventajas, deberíamos hablar de propiedades que los hacen idóneos para ciertos fines. En una situación distinta a la de su diseño original, esas características pueden ocasionar que un tipo de plásticos en concreto tenga efectos adversos al ambiente.

Hoy en día los plásticos pueden ser muy resistentes o ser desechados tras un solo uso, pueden ser más o menos resistentes al calor o al frío, o a los impactos, dependiendo de su composición, o pueden ser estériles. Pueden estar diseñados para ser utilizados en productos de larga duración o para ser desechados después del primer uso. Hay que mencionar que pueden adoptar prácticamente cualquier forma y su producción en masa es rápida y de bajo costo. Entonces, el rango de características de los materiales plásticos es bastante amplio y satisface muchas de las necesidades de nuestro mundo moderno, además de ser fáciles de producir y a un costo relativamente bajo.

¿Qué efectos adversos pueden tener los plásticos en el medio ambiente?

Ya sea que los plásticos se hayan utilizado en aplicaciones de corta o larga duración, una vez que el ciclo de vida de un producto ha terminado, los plásticos se convierten en residuos. Y es en esa fase en la que las mismas características por las que son aptos para un uso en particular pueden jugar en contra.

Debido a las características que hemos mencionado, los plásticos pueden persistir un largo tiempo antes de descomponerse, incluso siglos. Además, es posible que simplemente se fragmenten en partículas más pequeñas, pero con la misma estructura lo que constituye el problema de los microplásticos. Al persistir siglos en el ambiente y fragmentarse progresivamente, desencadenan una cascada de daños ecológicos interconectados que comprometen la salud de los ecosistemas a escala global. Es posible que redes de pesca abandonadas estrangulan a tortugas y mamíferos marinos, mientras que los

microplásticos (o partículas menores a 5 mm) son ingeridos por el *plancton* y de ahí transferidos a otros organismos. La estructura de los micro plásticos hace que se fijen componentes tóxicos en los organismos. Algunos peces de consumo humano contienen hasta 45 partículas de plástico en sus vísceras, las que introducen toxinas (ftalatos, bisfenol A). Dichas partículas se transfieren a depredadores superiores, incluidos humanos. Además, los plásticos actúan como puerta de entrada a invasiones biológicas: organismos patógenos y especies exóticas viajan adheridos a botellas o boyas, colonizando ecosistemas frágiles.

Además de los mares, los suelos agrícolas son los grandes perjudicados. En campos regados con aguas residuales no tratadas se pueden acumular 12,000 partículas de microplásticos por kilogramo de tierra, lo que reduce la permeabilidad del suelo y su capacidad de retención hídrica. Las lombrices de tierra son expuestas a estos fragmentos y muestran una disminución del 30% en su actividad.

En la atmósfera, los plásticos también causan problemas: la ropa hecha con materiales sintéticos al desgastarse libera pequeñas fibras a la atmósfera, además, cada vez que frenamos en el coche se desprenden pequeñas fibras de los neumáticos, esas fibras se desprenden como polvo plástico, contaminando el aire de ciudades. Estas partículas en el aire alteran los ciclos de lluvia y son inhaladas por el ser humano, con riesgos comprobados de inflamación pulmonar. Por otra parte, la fotodegradación (degradación de los plásticos por la luz del sol), libera gases de efecto invernadero: por ejemplo, una sola botella de PET emite 420 g de CO₂ equivalente durante 100 años de descomposición, lo que acelera el cambio climático.

Considerando lo anterior, el fondo mundial para la naturaleza y el programa de Acción de Residuos y recursos² han establecido una lista de diez materiales y artículos plásticos identificados como evitables y problemáticos: (i) microplásticos añadidos intencionalmente (exfoliantes y cremas); (ii) plásticos de embalaje; (iii) popotes desechables; (iv) teraftalato de polietileno opaco o pigmentado; (v) aditivos oxodegradables en cualquier producto plástico; (vi) cloruro de polivinilo PVC en etiquetas; (vii) poliestireno expandido EPS; (viii) cloruro de polivinilo PVC utilizadas para envolver productos

como carnes, jamones, quesos de supermercado; (ix) poliestireno PS con enfoque en PS de alto impacto; y (x) bolsas de plástico de un solo uso. Esta lista considera las afectaciones más evidentes, y, aunque no es exhaustiva, es probable que haya sido tomada en cuenta para elaborar las distintas legislaciones estatales en nuestro país.

¿Cómo están regulados actualmente los plásticos en México?

Los plásticos en México están regulados principalmente desde dos perspectivas: como materiales y como residuos.

Como materiales, los plásticos, están sujetos a normativas de calidad: los envases de alimentos, dispositivos médicos, materiales de construcción y bienes de consumo en general, requieren cumplir con estándares en base a su función. En muchos casos esas regulaciones se traducen simplemente en obligaciones de etiquetado que especifiquen con precisión las características de los plásticos empleados en un producto o un envase.

Paralelamente a lo anterior, tenemos un sistema que regula a los plásticos una vez que se convierten en residuos. La Ley general para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) contempla la obligación de formular y ejecutar planes de manejo a los generadores, productores, importadores,

exportadores y distribuidores de envases plásticos y de neumáticos usados bajo los principios de valorización y responsabilidad compartida.³ La LGPGIR también establece que la federación debe expedir normas para establecer los criterios de eficiencia ambiental y tecnológica que deban cumplir los materiales con los que se elaborarán productos, envases, empaques y embalajes de plásticos y poliestireno expandido que al desecharse se conviertan en residuos. Esta última disposición es un guiño a los principios de economía circular, si bien aún no contamos con una ley general de economía circular.⁴ Con este enfoque, ya no solo son relevantes las características de esterilidad, bioseguridad, resistencia, etc., para la fabricación de un producto de plástico, sino que se exigen características relevantes al final de su ciclo de vida para evitar afectaciones al ambiente.

Además de la LGPGIR, tenemos a las legislaciones estatales. Un número significativo de estados han realizado modificaciones a sus leyes de residuos o han creado leyes de economía circular para regular el tratamiento de los plásticos de un solo uso una vez que se convierten en residuos, imponiendo restricciones a artículos como bolsas, popotes y poliestireno expandido, aunque las aproximaciones de cada estado tienen variaciones significativas. Algunos estados han establecido multas elevadas ante el incumplimiento de sus respectivas leyes, y otros, se han retrasado en la aplicación del marco





regulatorio. Hay puntos en común: casi todas las legislaciones comienzan con restricciones a las bolsas de plástico de un solo uso, pero al hablar de productos más específicos hay discrepancias. En la ciudad de México, por ejemplo, la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal prohíbe específicamente la comercialización, distribución y entrega de aplicadores de tampones fabricados de plástico, a menos que sean composteables,⁵ pero la legislación del Estado de México no contempla ese producto en particular, lo cual causa dificultades en la aplicación de esta legislación en la zona del valle de México.

Finalmente, hay que destacar que algunas de las legislaciones hacen referencia específica a los microplásticos al prohibir su inclusión intencional en ciertos productos como cremas.

¿Cómo deberían regularse los plásticos tomando en cuenta sus ventajas y desventajas?

El enfoque dual, pero no relacionado, con el cual se han regulado a la fecha los plásticos implica algunos problemas prácticos. Incluso las legislaciones que se han emitido en materia de economía circular, como es el caso de Quintana Roo siguen haciendo énfasis

en las características de los plásticos una vez que se convierten en residuos; estas legislaciones se han dedicado a crear listas limitadas de productos plásticos que deben ser prohibidos en función del uso que se da a los productos. Actualmente el sistema no permite incorporar o desincorporar nuevos materiales o productos a esa lista una vez que sea comprobado que el producto en cuestión tiene características que lo hacen nocivo o inocuo para el ambiente.

No podemos ignorar las múltiples ventajas de los plásticos como materiales, siguen siendo necesarios en nuestras vidas y lo más probable es que los sigamos utilizando. Es deseable y necesario que sigan existiendo regulaciones relativas a la calidad de los materiales, sin embargo, no podemos ignorar sus desventajas, toda vez que no es conveniente que el uso de ciertos materiales se traduzca en afectaciones al medio ambiente o a la salud pública.

La mejor opción sería un verdadero enfoque de economía circular: las mismas normas que establecen requerimientos cualitativos o características técnicas a los productos deberían contemplar desde un inicio la obligación de considerar todo el ciclo de vida del material o producto, y de ser posible que ese ciclo de vida se configure como un bucle. Se debe priorizar el uso de materiales amigables con el entorno, minimizar las afectaciones al ambiente, promover el reaprovechamiento de materiales, o cuando no sea posible, su reciclaje, reúso u otras alternativas. El sistema actual funciona a base de prohibiciones, sin embargo, existe la posibilidad de un enfoque que estimule de manera consciente a productores, distribuidores, comercializadores y consumidores de adoptar alternativas sustentables. ¿Cuáles son las alternativas sustentables? Se mencionan en primer lugar a los bioplásticos o materiales fabricados a partir de materias primas naturales. Si podemos fabricar plásticos a partir de plantas microorganismos y otros materiales orgánicos, éstos al final de su vida útil se degradarán sin consecuencias para el ambiente, ¿es así de sencillo?

¿Qué tan sustentables o viables son las alternativas a los plásticos?

Conceptualmente, los bioplásticos son materiales que se diferencian de los plásticos convencionales por el origen de su materia prima y por su





comportamiento al final de su vida útil. Por su origen, se obtienen de fuentes renovables de origen biológico como por ejemplo (i) de las plantas; (ii) de los aceites vegetales; (iii) de los microorganismos, o (iv) de los residuos orgánicos. Algunos ejemplos de bioplásticos son el ácido poliláctico (PLA) y el polihidroxialcanoato (PHA). Por otra parte, se espera que al final de su vida útil, los bioplásticos sean biodegradables o compostables, y es la razón por la que preferimos su uso. Pero esto no siempre es así, como es el caso del biopolietileno, que es idéntico químicamente al polietileno tradicional y no se biodegrada, o el PLA que solo es compostable en plantas industriales.

Entonces, ¿el uso de estos bioplásticos implica una mejora sobre el uso de plásticos convencionales a lo largo de todo su ciclo de vida? Un estudio denominado *Sustainability Metrics: Life Cycle Assessment and Green Design in Polymer*⁶ (Tabone et al.), indica que existen dos métricas para comparar la eficiencia de los plásticos y bioplásticos: el Estudio del ciclo de vida (LCA) y los principios verdes (PV). El LCA es una herramienta usada para cuantificar los impactos al ambiente resultantes de la producción, uso y disposición de los productos. Por otra parte, el PV se enfoca más en establecer una lista de principios de química e ingeniería verde, es decir, unos principios técnicos para determinar si un material puede ser considerado “verde”, como por ejemplo si tiene síntesis químicas menos peligrosas, si genera solventes y auxiliares seguros, si está diseñado para una eficiencia energética, etc.

La conclusión de este estudio es que, aunque los bioplásticos cumplen con principios de diseño verde, su impacto ambiental en la fase de producción es mayor que el de algunos plásticos derivados del petróleo. En el estudio se destaca que los biopolímeros PLA y PHA ocupan los primeros puestos en el *ranking* de cumplimiento de principios verdes respecto a otros plásticos como el PET, el polipropileno, el policloruro de vinilo, etc. PLA y PHA son biodegradables y menos tóxicos. Sin embargo, en la evaluación de ciclo de vida (LCA), que mide impactos ambientales reales como calentamiento global, eutrofización y toxicidad, estos mismos bioplásticos PLA y PHA se ubican en posiciones medias o bajas. Por ejemplo, el PLA, genera altos impactos en eutrofización (+400% vs. poliolefinas) por el uso de fertilizantes en cultivos, y el PHA, pese

a su biodegradabilidad en suelo, exhibe elevada acidificación y demanda de energía no renovable.

Por su parte, las poliolefinas derivadas de petróleo (PP, HDPE, LDPE) son más sostenibles que el PLA y el PHA en la fase de producción, ya que ocupan mejores puestos en el *ranking* de LCA. Esto se debe a su síntesis eficiente y bajas emisiones en carcinogenicidad, toxicidad y agotamiento de recursos fósiles. En contraste, plásticos complejos como el PET, PVC y PC (tanto convencionales como de materiales renovables) tienen los peores desempeños ambientales en ambas métricas. El PET biológico (B-PET), pese a usar etanol de caña de azúcar, es el último en LCA por los impactos de la agricultura industrial y procesamiento químico.

Retos de la sociedad para el mejor aprovechamiento de los plásticos

En este momento los bioplásticos solo son alternativas prometedoras, pero no automáticamente sostenibles. Con un valor ecológico que depende de (i) la fuente de la biomasa, la cual no debe competir con alimentos; (ii) la gestión de fin de vida y (iii) el impacto integral (huella hídrica, emisiones en cultivo).

En algunas circunstancias los polímeros petroquímicos simples (PP, HDPE) pueden ser más sustentables en producción que algunos bioplásticos. La solución no es simplemente sustituir los plásticos convencionales, sino optimizar todo el ciclo de vida mediante un enfoque de economía circular. Podríamos resumir estos retos de la siguiente manera:

- Consolidación de un marco federal integral. Cada vez más estados aprueban leyes propias que regulan plásticos de un solo uso (bolsas, popotes, unicel), pero con criterios dispares en prohibiciones, sanciones y plazos. Esto genera “islas regulatorias” que complican el cumplimiento empresarial. En este momento existen pequeñas disposiciones en la LGPGIR, pero sigue faltando una Ley General de Economía Circular que armonice estándares. El borrador de la Estrategia Nacional de Economía Circular de la SEMARNAT lleva años en revisión sin fecha de publicación. La regulación de los microplásticos aún es incipiente, y no hay métricas unificadas para huella hídrica o emisiones de alcance en residuos plásticos



■ La infraestructura para gestión circular, es insuficiente. Actualmente solo se recicla una pequeña parte del total de plásticos generados, si bien hay materiales como el PET que tienen una mejor tasa de reciclaje. Faltan plantas de reciclaje químico y compostaje industrial y muy pocos municipios tienen capacidad para procesar bioplásticos como PLA. Las inversiones en este ramo son insuficientes

■ Inestabilidad económica e incentivos desalineados: Los precios de resinas vírgenes y recicladas fluctúan hasta un 45% anual, afectando la rentabilidad de modelos circulares. Los incentivos fiscales son insuficientes. No hay vinculación suficiente con impuestos al carbono

■ Existe una baja conciencia ciudadana respecto al reciclaje de los plásticos. También existe la resistencia industrial: muchas PyMES plásticas ven la economía circular como un costo adicional, no como oportunidad

■ Las cadenas de valor están fragmentadas, los fabricantes de resinas, transformadores, recicladores y autoridades rara vez coordinan planes. Hay una participación limitada de comunidades, raras veces los planes

de manejo estatales incluyen consultas a pueblos indígenas en diseño de políticas, pese a su experiencia en reutilización

Este es el panorama, tenemos un exceso de información y un número indeterminado de decisiones que adoptar. Seguiremos viviendo en un entorno plástico, por ello, debemos encontrar la mejor ruta para hacerlo.

1. *Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. (LRSDF) Art 3. Fr. XXVI Bis. Gaceta Oficial 22 de abril de 2003.*

2. *WWF México y WRAP, Abordando plásticos problemáticos y evitables en México: Guía de apoyo para el sector privado (2024).*

3. *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). Art. 28 Fr. III. D.O. 8 de octubre de 2003.*

4. *Op. Cit. Art. 3. Fr.VI.*

5. *Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. (LRSDF) Art 3. Fr. XXVI Quater. Gaceta Oficial 22 de Abril de 2003.*

6. *Tabone et al. (2010). Sustainability Metrics: Life Cycle Assessment and Green Design in Polymers. Environmental Science & Technology.*



CURSO PRE-QUINTO
CONGRESO NACIONAL DE IMPACTO AMBIENTAL

Agenda ambiental ABC

(Agua, Biodiversidad y Clima)

Fundamentos Estratégicos de la Gestión Ambiental en México



MARTES
21 DE OCTUBRE, 2025



09:00 a 18:00 hrs.
(1 hora destinada a
comida libre)



**HOTEL Radisson
Paraíso Hotel
México**

Cúspide 53, Parques del
Pedregal, Ciudad de
México

Dirigido a

- Profesionales del sector ambiental público y privado.
- Estudiantes de licenciatura y posgrado en ciencias ambientales, derecho, biología, ingeniería y áreas afines.
- Miembros de organizaciones de la sociedad civil y público en general interesado en la agenda ambiental de México.

Objetivo general

Brindar a los participantes una visión estratégica y actualizada sobre tres ejes fundamentales de la agenda ambiental en México —agua, biodiversidad y cambio climático—, con el fin de fortalecer sus capacidades de análisis, gestión e incidencia en la toma de decisiones relacionadas con la política y la práctica ambiental.

Objetivos particulares

- Reconocer la importancia del agua como eje transversal en la política ambiental y el desarrollo sostenible.
- Analizar la situación actual y los retos en materia de biodiversidad en México, así como el papel de la CONABIO en su conservación.
- Comprender los compromisos nacionales e internacionales frente al cambio climático y su impacto en la gestión ambiental.
- Fomentar la reflexión sobre la integración de los tres ejes en estrategias efectivas de gestión ambiental.

REGÍSTRATE AQUÍ

Expositores



**Marisa Mazari
Hiriart, UNAM**
(por definir)



**Andrea Cruz
Angón, CONABIO**



**Norma Munguía
Aldaraca, SRE**



**Mario Ramírez
Gurría, AMIA**
Moderador

Cuota de recuperación:

Socios AMIA: \$3,000.00

Público en general: \$4,060.00 (IVA incluido)

INFORMES E INSCRIPCIONES

[cursos@amia.org.mx](mailto: cursos@amia.org.mx)

55 5688-1014

www.amia.org.mx

OPCIONES DE RECICLAJE DE RESIDUOS PLÁSTICOS Y SU APLICACIÓN EN EL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS URBANOS: **UN ESTUDIO DE CASO**



**Por Margarita
Eugenia Gutiérrez Ruiz**

Catedrática UNAM.
Licenciatura y maestría
en Química. Doctorado
en Ciencias de la Tierra.
Responsable del Laboratorio
de Biogeoquímica Ambiental,
miembro SNI, Asesora de
gobiernos e industria, 68
artículos, 17 normas y 8
libros. Representante UNAM
en Comarnat (11 años).
Premio Nacional Serfin al
Medio Ambiente, Mención
honorífica *American
Chemical Society*.
Coordinadora Proyecto
GTZ-UNAM 1998-2000.
Responsable de 72 proyectos
investigación contratada.



Resumen

El plástico es esencial en la vida moderna, pero su uso impacta al ambiente. A nivel mundial, menos del 10 % de los residuos se recicla, y en México se estima que de 7.7 millones de ton/año, solo se recupera un máximo de 1.9 ton.

Los métodos de reciclaje mecánico, químico, biológico y térmico ofrecen distintas ventajas y limitaciones. La pirólisis destaca como opción viable para tratar plásticos separados o mezclados, siempre que se controle rigurosamente su operación. Se presenta un estudio de caso: “manejo de basura mezclada con plásticos de la Cd. de Oaxaca (1995)”, basado en la clasificación de los desechos por enlace químico. Los plásticos mezclados con otros RSU alimentan un pirolizador para obtener combustibles. El proyecto visionario no operó por falta de autorización para interconexión eléctrica, pero su enfoque sigue vigente. Se concluye que debe aumentar el reciclado mecánico existente e implementar centros integrales como el descrito.

Introducción

Los plásticos son polímeros sintéticos o semisintéticos formados por monómeros derivados del petróleo, gas natural o biomasa. Se moldean mediante procesos como extrusión o por inyección y se les añaden aditivos según su uso. Se dividen en termoplásticos (reblandecen con calor y pueden reutilizarse) y termoestables (rígidos y no pueden volverse a moldear con calor), predominan seis o siete tipos en el mercado global. Entre 1950 y 2015 se produjeron cerca de 8,300 millones de toneladas de plásticos (Geyer et al., 2017) y en 2023, la producción anual fue de 413.8 millones de toneladas (Plastic Europe, 2024); son materiales omnipresentes en nuestra vida cotidiana, ya que desempeñan múltiples funciones por su ligereza, resistencia y versatilidad, pero su uso intensivo y la disposición inadecuada de los desechos plásticos ha generado graves impactos al ambiente. Sólo un pequeño porcentaje de los residuos plásticos se recicla, mientras que el resto es incinerado o acumulado en el ambiente.

Como alternativa, se han desarrollado bioplásticos, elaborados a partir de recursos renovables y potencialmente biodegradables; sin embargo, su producción en 2023 fue sólo del 0.5 % del total y persisten dudas sobre su impacto ambiental, así como de su competencia con recursos alimentarios.

También existen cuestionamientos sobre los plásticos adicionados que son fácilmente intemperizados (oxoplásticos), ya que podrían fragmentarse sin degradarse completamente, lo que contribuyen a la contaminación por microplásticos.

Bajo este escenario, es urgente repensar su cadena de valor mediante innovación tecnológica, cambios culturales y reorientación de inversiones. Comprender su producción, uso y gestión, especialmente de los residuos, es clave para avanzar hacia una economía circular. Este artículo analiza posibles acciones y presenta un caso práctico de manejo adaptado a las condiciones socioeconómicas del país.

Residuos plásticos

Gran parte del plástico se destina a productos de un sólo uso (UNEP, 2021) o de corta duración, por lo que se generan grandes cantidades de residuos. A nivel mundial en 2023 se produjeron entre 353 y 389 millones de toneladas de residuos plásticos. OECD (2022) informó que, de la producción mundial, solamente el 9% se recicló, cerca del 50 % se envió a rellenos sanitarios, el 19 % se incineró y el 22 % se dispuso en basureros, o se quemó de forma inadecuada o se dispersó afectando el ambiente, especialmente cuerpos de agua (Figura 1).

Figura 1. Fuentes de microplásticos que afectan la vida marina (elaboración propia)



Aunque el plástico representa alrededor del 10 % de los residuos urbanos, constituye hasta el 85 % de los desechos marinos, principalmente de origen terrestre. Cada año llegan al mar entre 6 y 23 millones de toneladas de residuos plásticos (OECD, 2022). Según Geyer et al. (2017), en 2010, alrededor de 9 millones de toneladas ingresaron a los océanos, junto con aproximadamente 0.5 millones de toneladas de microplásticos derivados del lavado de textiles sintéticos y de la abrasión de neumáticos. Parte de estos residuos se originan en la “isla de basura del Pacífico”, cuya masa en más del 90 % son plásticos generados por la navegación y actividades pesqueras (Allen, et al., 2019; Bergmann et al., 2019; Lebreton et al., 2018). Por otra parte, estas cifras pueden ser más altas, ya que se calcula que entre 75 y 199 millones de toneladas de residuos plásticos se han acumulado en los océanos y una estimación más reciente indica hasta 199 millones de toneladas (Fisher, 2023). Cabe señalar que menos del 1 % de los millones de toneladas estimadas, han sido cuantificadas directamente (Rhodes, 2018).

Los microplásticos (<5 mm) y nanoplasticos (<1000 nm) pueden originarse por fragmentación o ser fabricados intencionalmente. Son ubicuos y se han detectado incluso en el Ártico, lo que demuestra su transporte atmosférico (Bergmann, 2019). Su gran superficie favorece la adsorción de diversos contaminantes como COPs (Compuestos Orgánicos Volátiles), facilitando su entrada en organismos, especialmente marinos (Fundación Aquae, s.f.). También se han encontrado en pulmones y heces humanas, así como en el agua potable (Cox et al., 2019; Schwabl et al., 2019; Orb Media, 2017 en Rhodes, 2018), aunque sus efectos sobre la salud humana aún no son concluyentes y su incorporación en las redes tróficas no ha sido plenamente confirmada.

Hacia una economía circular: reciclaje de plásticos

Dada la importancia económica de los plásticos y su impacto ambiental, su gestión debe



alinearse con los principios de la economía circular. Para ello, es fundamental incrementar la recolección y el reciclaje, y reducir el uso de plástico virgen, que se considera la opción más sostenible para enfrentar la problemática de los residuos plásticos (Al-Salem et al., 2009).

Los principales métodos de reciclaje son el mecánico, químico, biológico y térmico (Figura 2). El reciclaje mecánico implica la trituración o molienda del plástico para producir pellets, escamas o láminas (Hopewell et al., 2009; Fletcher, 2023). Este proceso reduce el consumo energético, evita emisiones de gases carcinógenos y de efecto invernadero (Jiang & Bateer, 2025), y disminuye tanto el volumen enviado a rellenos sanitarios como la dispersión ambiental, además de ahorrar recursos fósiles (Fletcher, 2023; Geyer et al., 2017). También genera empleo y reduce costos para la industria (Plastics Europe, 2024). No obstante, requiere una clasificación previa por tipo, sólo aplica a termoplásticos y, con el tiempo, el material pierde calidad y puede contaminarse con otros residuos. El reciclaje químico utiliza reactivos y/o catalizadores para despolimerizar el plástico en monómeros u oligómeros reutilizables (Rahimi & García, 2017). Aunque permite tratar plásticos no reciclables mecánicamente, demanda una cuidadosa clasificación, es un proceso complejo y puede generar subproductos no deseados. El reciclaje

Figura 2. Diagrama del reciclado, incluyendo pretratamiento y procesos.
Modificado Jiang & Bateer, 2025



biológico emplea enzimas o microorganismos para degradar, principalmente, plásticos biodegradables, que transforma principalmente en biomasa, dióxido de carbono y metano (Zeller et al., 2021). Sus desventajas incluyen que es un proceso lento, requiere condiciones específicas de operación y los productos finales tienen un bajo aprovechamiento.

Finalmente, los procesos térmicos, como la pirólisis y la gasificación, operan en atmósfera reductora con baja o nula presencia de oxígeno, y transforman los plásticos en hidrocarburos: gases, líquidos similares al petróleo o carbón, que pueden servir como materias primas (Aguado et al., 2008; Benavides et al., 2017; García-Núñez et al., 2023). Su implementación requiere un estricto control operativo y relativamente altas inversiones.

Debido a que, con excepción de los térmicos, los métodos de reciclado antes descritos requieren una clasificación previa de los residuos, -actividad compleja y costosa-, se están desarrollando robots de selección o sistemas de visión artificial. En la Tabla 1 se presentan los diferentes procesos de reciclado, indicando el tipo de plásticos a los que se pueden aplicar, así como sus fortalezas y debilidades, de acuerdo a los análisis de ciclos de vida, que se basan en uno o más de los siguientes conceptos: gasto de energía para molienda, lavado o calentamiento; uso reactivos químicos, y generación de subproductos y/o residuos, (Gahane et al., 2022). De acuerdo a Ouedraogo et al., (2021) son los rellenos sanitarios los que generan más impactos negativos por emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y lixiviados. Respecto a la producción de plásticos a partir de compuestos

(*) HDPE polietileno de alta densidad; LDPE polietileno de baja densidad; PA poliamida; PE polietileno; PET politerftalato de etileno; PHA polihidroxialcanoato; PP polipropileno; PS polietireno; PU poliuretano; PLA ácido poliláctico; PBS succinato de polibutileno; PBAT adipato treftalato de polibutileno

TABLA 1. TIPOS DE TRATAMIENTO PARA RECICLADO DE RESIDUOS PLÁSTICOS Y PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

TRATAMIENTO	TIPOS DE PLÁSTICOS TRATABLES (*)	FORTALEZAS	DEBILIDADES	CITAS
Tratamiento mecánico	PET	Bajo gasto energético	Limitado a ciertos plásticos	Hamad et al. 2023; Hopewell et al., 2009; Hopewell et al., 2009; Singh et al., 2017; Ragaert et al. 2017; OECD, 2022
	HDPE	Alta estabilidad	Requiere una separación y lavado eficiente	
	LDPE		Genera aguas residuales con sustancias tóxicas y microplásticos	
	PP	Facilmente escalable	Durante la molienda produce microplásticos	
	PS		No genera plásticos para aplicaciones técnicas o industriales exigentes	
Pirólisis	Mezcla de plásticos	Produce combustibles y carbón, y recupera energía	Requiere una atmósfera inerte (nitrógeno, argón) o un sistema cerrado con control estricto del oxígeno y otras emisiones	Dai et al., 2022, Lopez et al., 2017, Ragaert et al. 2017, Yadav et al., 2023, Benavides 2021, Sharuddin et al., 2016; UNEP (2021); Garcia-Jeswani et al (2020), Zeller et al., 2021
	PS	Permite el tratamiento de residuos plásticos no reciclables mecánicamente,	Se están desarrollando equipos que producen materias primas que directamente pueden entrar al proceso de producción de plásticos	
	PET	Maneja mezcla de plásticos		
	PP	Reduce la generación de gases invernadero dependiendo de las condiciones y cantidad de carbón generado	Se lleva a cabo a temperaturas de 300-700 oC que, generalmente, se logra consumiendo parte de los combustibles que produce	
Gasificación	Mezcla de plásticos	Produce gas combustible principalmente gas de síntesis	Se lleva a cabo entre 800 a 1200oC	Lopez et al., 2017; Yadav et al., 2023; Arena (2012); Ragaert et al., 2017; UNEP 2021, OECD 2022 a y b;; Benavides, et al. (2021); Hamad et al., 2013; Qureshi 2020 y 2022
	Envases multicapa con metales	Maneja mezclas de plásticos	Requiere de altos controles de los gases generados	
		Bien operado no produce dióxinas	No ayuda a reducir gases invernadero y el manejo de los suproducidos es complejo	
			Es un proceso costoso y más caro que la pirólisis	
Reciclado Químico	PET	Recupera monómeros para producir plástico	Proceso caro y complejo	Chanda, 2021; Qureshi, 2022; Ragaert, et al. 2017; Meys et al. 2021; Jehanno et al. 2018
	PA	Permite fabricar polímeros de ingeniería	Los reactivos utilizados representan riesgos potenciales	
	PU	Permite reciclar los monómeros en el mismo producto o aplicación original, sin pérdida de calidad.	Puede ser alto en gasto energético, dependiendo la escala y tipo de proceso	
	Epoxy, plástico de ingenierías y otros			
Reciclado Biológico	PLA	Ecológicamente amigable	Proceso en desarrollo todavía económicamente no escalables	Wei & Zimmermann, 2017; Tokiwa et al., 2008; Shah et al., 2008; Haider, et al., 2019; Emadian, et al., 2017; Rujni-Sokele et al., 2017; Koshiti et al. 2018; Soong et al. 2022
	PET	Bajo consumo energía	Sólo tratan algunos plásticos	
	PHA	Permite tratar plásticos que son resistentes a otros procesos	Se consideran con muy variable eficiencia de la mineralización y su persistencia en el ambiente puede ser alta	
	PBS		Requiere de condiciones controladas	
	PBAT	Si se gestiona correctamente menor huella de carbono	Alto costo de producción y puede afectar la disponibilidad de alimentos	

vírgenes, el reciclaje (mecánico, químico y térmico) representan una alternativa superior (Fu Gu et al., 2017). Por ejemplo, con base en GEI, la pirolización de residuos mixtos produce un impacto 50% menor que la incineración (Jeswani et al., 2021); y el reciclado mecánico mantiene los materiales en circulación y no muestra diferencias estadísticas significativas con la incineración (Martín-Lara et al., 2022).

La pirólisis de residuos bioplásticos es considerada ecológica ya que genera combustibles que sustituyen fuentes fósiles, pero el gasto de la electricidad contribuye negativamente al control del efecto invernadero (Gahane et al., 2022). Alcazar-Ruiz et al. (2022) compararon la pirólisis con la gasificación y concluyeron que la pirólisis es más respetuosa con el medio ambiente debido a la menor emisión de GEI. Jiang et al. (2023) compararon la despolimerización química con el reciclaje mecánico, concluyendo que el primero ofrece mayores beneficios respecto al agotamiento de recursos abióticos, GEI, toxicidad y agotamiento de la capa de ozono. Wang et al. (2021) reportaron que la descomposición anaerobia controlada de ciertos plásticos, aún en proceso de experimentación, genera menor impacto ambiental que el resto de los métodos. Hay que considerar que factores como la región geográfica, la combinación energética del sistema, la calidad del reciclado obtenido, entre otros pueden influir de manera significativa en los resultados e impactar la interpretación ambiental del proceso (Zhao et al. 2024, Barber et al. 2022), lo que explica algunas discrepancias reportadas.

Respecto al análisis económico, es necesario incluir los costos de inversión inicial, los costos operativos y administrativos, y los ingresos. En general, se consideran, separadamente, los costos operativos directos (consumos de energía y agua, materias primas auxiliares, mantenimiento y mano de obra involucrada en la operación del proceso); y por el otro, los costos indirectos (gastos administrativos, costo de mano de obra no operativa, seguros, licencias y depreciación de los equipos). Los ingresos potenciales se estiman considerando la venta de productos reciclados y los créditos por reducción de emisiones o ahorros en disposición final. El resultado del análisis permite calcular indicadores económicos

como el costo unitario de producción, el punto de equilibrio, el retorno de inversión (ROI) o el valor presente neto (VPN), fundamentales para decidir la factibilidad del proyecto.

Panorama de los plásticos en México

México produce entre 4 y 5 millones de toneladas de resinas plásticas al año e importa un volumen similar, aunque en valor monetario importa más de lo que fabrica. Las principales resinas son PE, PP, PET y PVC, empleadas en envases, construcción, automotriz y otros sectores. El consumo anual es de aproximadamente 8.58 millones de toneladas, equivalente a 66 kg por persona (Vázquez et al., 2023). De esta cantidad, se generan entre 5.6 y 7.7 millones de toneladas/año de residuos plásticos (41 a 59 kg/persona), es decir, entre 65.3 % y 89 % del plástico consumido termina como residuo (Tabla 2). Se recuperan entre 1.7 y 1.9 millones de toneladas, mientras que el 58 % se confina —con o sin control— o se dispersa en el ambiente (Martínez, 2022). La fuga de residuos plásticos al entorno se estima en hasta 15 % (Vázquez et al., 2023).

México, destaca por el alto porcentaje de reciclaje de PET. En 2023, se utilizaron aproximadamente 860,000 toneladas de envases de PET, de las cuales alrededor del 63 % se gestionó mediante estrategias de economía circular (TecScience, s/f). El Consejo Coordinador Empresarial (2021) reportó que el sector privado eliminó 70 mil toneladas de plásticos a través de diversas acciones: 24 % por reducción o eliminación directa, 23 % por rediseño de envases, 18 % por sustitución de materiales y 13 % mediante reciclaje directo. Además, se registró una tasa de acopio del 40 % para materiales plásticos, con una recuperación destacada de PET (49 %), seguida de PVC (41 %), PEBD (32 %) y PEAD (22 %). Según ANIPAC (2021), los plásticos más reciclados en México son PET, PVC y poliestireno.

En cuanto al aprovechamiento energético, se incineran unas 0.11 millones de toneladas de residuos plásticos al año, principalmente residuos médicos. Por su parte, CEMEX (2020) coprocesó 2.7 millones de toneladas de residuos, incluidos

TABLA 2. INFORMACIÓN SOBRE LA GENERACIÓN DE PLÁSTICOS, RESIDUOS Y % DE RECICLADO EN MÉXICO

CONCEPTO	UNIDAD	INTERVALO REPORTADO		REFERENCIA
Total de habitantes de México	millones	130	130	Estimado para el periodo de 2021-2025
Consumo anual de plásticos por habitante	kg	66	66	Semarnat/PNUMA México (2023).
Generación anual de residuos plásticos por habitante	kg	43	59	
% de residuos plásticos sin control adecuado	%(m/m)	38	58	
Consumo anual total en México	millones de toneladas	8.58	8.58	Calculado con base en datos reportados por Semarnat/PNUMA México (2023)
Generación anual de residuos plásticos en México	millones de toneladas	5.59	7.67	Calculado con base en datos reportados por Semarnat/PNUMA México (2023)
% de generación de residuos plásticos respecto al consumo anual	% (m/m)	89.2	65.2	Calculado con base en datos reportados por Semarnat/PNUMA México (2023)
Residuos sin control adecuado	millones de toneladas	3.2	4.5	Calculado con base en datos reportados por Semarnat/PNUMA México (2023)
% de residuos plásticos que se fugan al ambiente	%	15	15	GIZ (2023)
Total de residuos plásticos que se fugan anualmente al ambiente	millones de toneladas	0.84	1.15	Calculado con base en datos GIZ (2023)
Producción de PET	millones de toneladas	0.86	0.86	TecScience (s/f).
% de PET respecto al total de plásticos producidos	% (m/m)	0.1	0.1	Calculado con base en datos TecScience (s/f) y Semarnat/PNUMA México (2023)
% de PET reciclado respecto a su producción	%	63	63	TecScience (s/f).
PET reciclado anualmente	millones de toneladas	0.54	0.54	Calculado con base en datos TecScience (s/f)
Total de plásticos reciclado anualmente (2021)	millones de toneladas	1.7	1.9	2o informe del Acuerdo Nacional para la nueva economía del plástico del Consejo Coordinador Empresarial 2021; y Martínez, O. (2022).
% de plástico reciclado respecto al total de residuos generados anualmente	%(m/m)	34	25	Calculado con base en datos de Martínez (2023) y Semarnat/PNUMA México (2023)



residuos sólidos urbanos (RSU), que contienen alrededor de 10 % de plásticos. En el país existen dos plantas que reciclan plásticos mediante pirólisis. La empresa Petgas, en Boca del Río, Veracruz, trata 72 toneladas/año y produce 70.4 m³ de combustibles, con impacto local (Aleman y Márquez, 2025); y en Cuautla, Morelos, Nestlé y Greenback inauguraron en 2023 una planta de pirólisis con microondas que procesa 2,000 toneladas/año de empaques plásticos flexibles. Este sistema permite recuperar aluminio y generar aceite pirolítico, que puede usarse como materia prima para nuevos envases alimentarios (Alliance to End Plastic Waste, 2023).

Estudio de caso: reciclado de RSU con plásticos

Un grupo de científicos, tecnólogos y empresarios organizaron una startup tecnológica en 1995 y presentaron al municipio de la ciudad de Oaxaca, un proyecto de manejo integral de basura mezclada, para el aprovechamiento y reciclado de la mayor parte de los desechos, entre ellos los plásticos. El proyecto fue evaluado por las autoridades y por el Eximbank quienes revisaron exhaustivamente la información técnica y económica. Inclusive el presidente municipal junto con asesores visitó la planta donde operaba el equipo principal: un pirolizador de Conrad Industries, Inc., fabricado por Kleenair Products Company, autorizado por la EPA para tratar

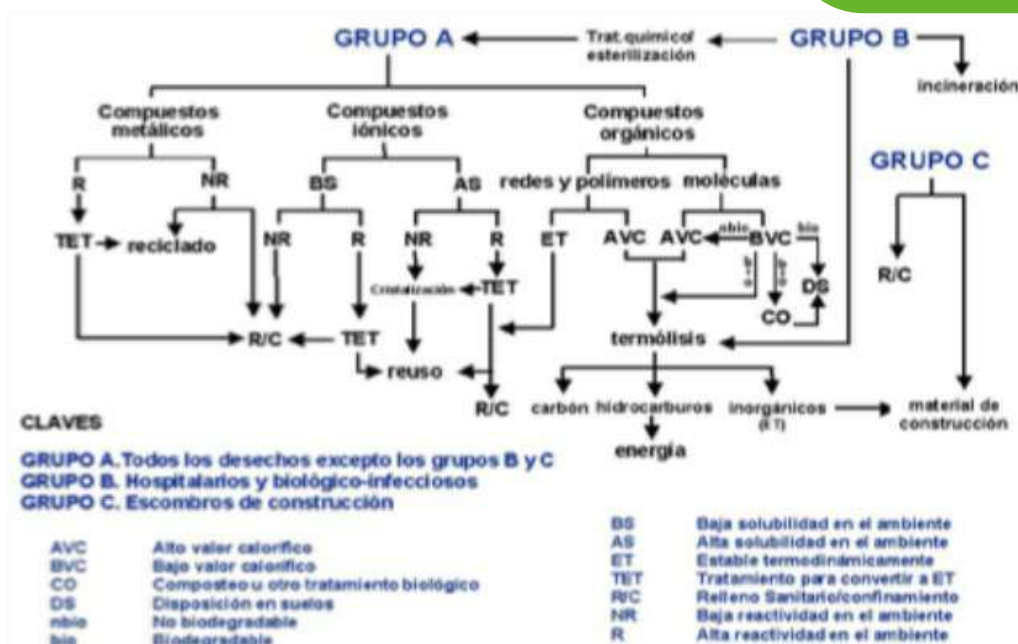
residuos plásticos y llantas que producen carbón sólido (char), aceite y gas pirolíticos. La empresa había colaborado con el American Plastics Council realizando estudios para demostrar la viabilidad de convertir plásticos post-consumo en combustibles líquidos.

El proyecto fue aprobado por el Eximbank y por el municipio en 1996. Sin embargo, el día de la firma del convenio se informó que no se autorizaba la interconexión eléctrica, indispensable para generar y vender energía. En consecuencia, el proyecto fue cancelado. Esta decisión privó a la ciudad de implementar una tecnología avanzada, la cual probablemente se debió a su carácter novedoso y poco comprendido del modelo, además el Banco Mundial impulsaba en ese momento proyectos de relleno sanitario como solución óptima para el manejo de los residuos sólidos urbanos (RSU), y apenas ese año se había autorizado la participación privada en la generación de electricidad en México, y no se había autorizado otros proyectos. A pesar de ello, entonces y actualmente el modelo de gestión constituye un prototipo de economía circular en la gestión de residuos. Su propuesta, especialmente la clasificación basada en la composición química de los residuos en lugar de su origen (Figura 3), sigue siendo totalmente aplicable.

La Figura 3 resume las bases del modelo. Los residuos se dividen en tres grupos:

- **Grupo A:** compuestos químicos orgánicos e inorgánicos presentes en residuos urbanos e industriales, con sus respectivas opciones de tratamiento
- **Grupo B:** residuos médicos, que pueden ser incinerados, esterilizados o paralizados
- **Grupo C:** residuos de la construcción, compuestos por minerales inorgánicos no solubles, que pueden valorizarse como materiales de construcción reutilizables (Gutiérrez Ruiz & Macías, 1999)

Figura 3. Diagrama conceptual del modelo para el manejo de los residuos por composición química (Gutiérrez Ruiz y Macías Guzmán, 1999).



La aplicación del modelo considera las condiciones reales del país: baja recolección, disposición no controlada en barrancas o terrenos inadecuados, separación limitada a los materiales con valor comercial, y deficiente operación de los rellenos sanitarios debido a ingresos insuficientes y problemas administrativos y logísticos. Las condiciones que imperaban en la ciudad de Oaxaca, en 1995 —y posiblemente aún hoy— no eran muy diferentes. El sistema se diseñó para manejar residuos domésticos y de servicio que contenían residuos especiales, plásticos de hospitales y otros insumos médicos, y algunos desechos peligrosos (pilas, disolventes, pinturas, plaguicidas, etc.), y que se requería remediar el basurero a cielo abierto.

El modelo conceptual para el manejo de residuos mezclados, adaptado a estas condiciones, se muestra en la Figura 4. El Grupo A incluye residuos de alto poder calorífico, como llantas, plásticos y desechos de talleres (disolventes, pinturas, etc.), así como materiales biodegradables de bajo poder

calorífico, de hogares, mercados, restaurantes y lodos. Los residuos mezclados de alta energía se identificaron como la materia prima prioritaria para el pirolizador, motivo por el cual se realizaron pruebas piloto con mezclas similares. Cabe destacar que la selección del equipo de pirólisis se llevó a cabo con gran rigor, pues a pesar de su versatilidad, el tratamiento de residuos mezclados exige un control operativo estricto, especialmente en lo referente a temperatura, tiempo de residencia y atmósfera del proceso.

En resumen, se planeó que el pirolizador se alimentara con residuos sólidos urbanos (RSU) y materiales recuperados del basurero, ricos en poder calorífico, ya que los biodegradables se habían descompuesto generando lixiviados y biogás que se habían dispersado. Los residuos especiales, como los de construcción, después de molerlos y tamizarlos se enviaban a la planta de materiales de construcción, junto con las cenizas del pirolizador libres de metales tóxicos.

Figura 4. Modelo conceptual para el reciclado de los residuos de la Ciudad de Oaxaca, incluyendo plásticos (Modificado de Gutiérrez Ruiz y Macías Guzmán, 1999)

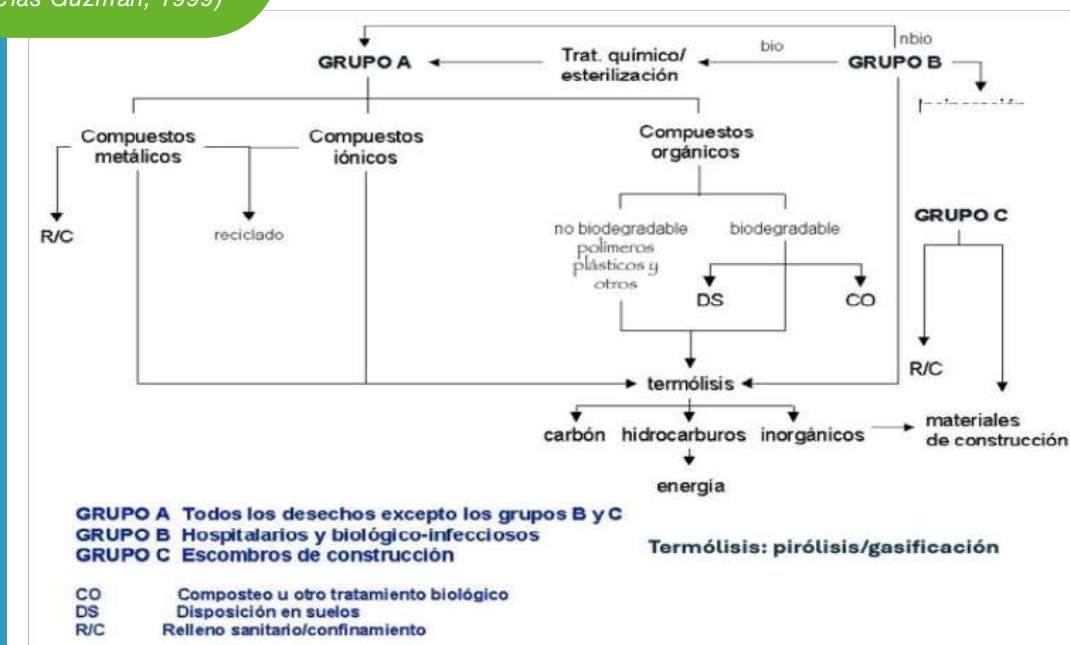
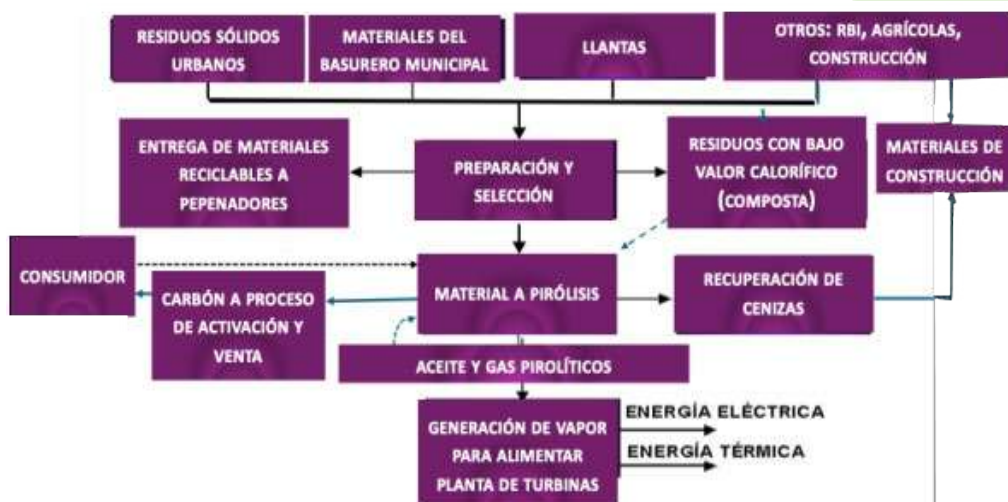


Figura 5. Diagrama de bloques del proceso de manejo integral de RSU mezclados para la Ciudad de Oaxaca. (Modificado de Gutiérrez Ruiz y Macías Guzmán, 1999).

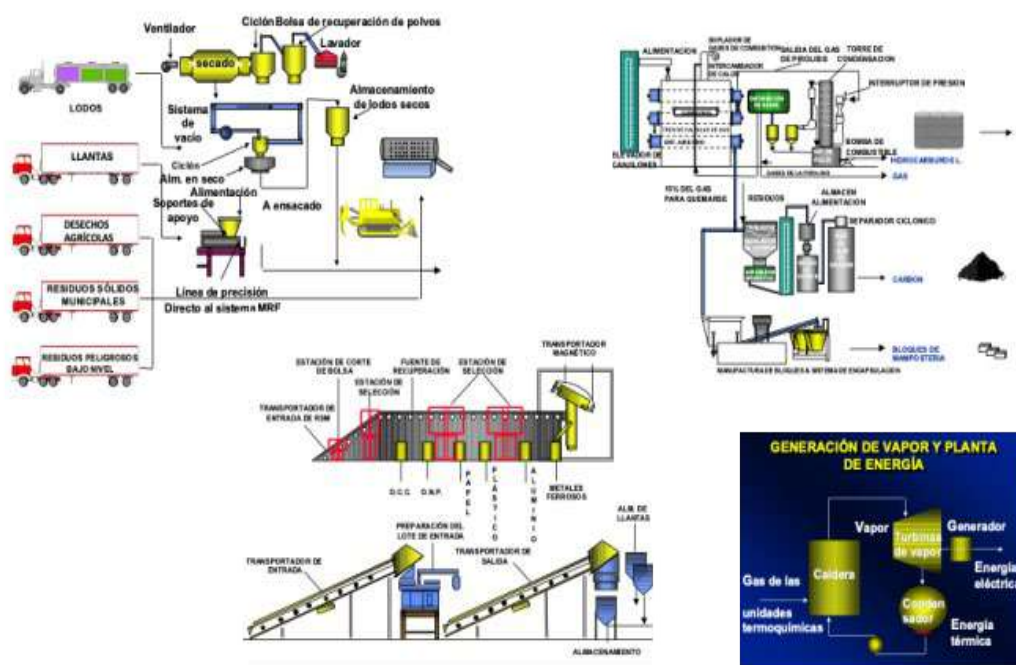


Los residuos biodegradables de bajo poder calorífico, pero con calidad adecuada, se destinaban a la planta de compostaje; el resto se mezclaba con residuos de alto poder calorífico para su tratamiento mediante pirólisis. El carbón resultante, libre de metales tóxicos, se incorporaba a la planta de composta, aunque en una segunda etapa se proyectaba activarlo para su comercialización y reutilización continua en el sistema de pirólisis (Figura 5).

La ingeniería incluía una unidad de pirólisis, plataformas de recepción y salida, un laboratorio de control, un área para oficinas y servicios, y plantas de fabricación de materiales de construcción y de composta. La zona de tratamiento térmico constaba de un condensador, un ciclón, una tolva de alimentación y la unidad pirolítica que al inicio consumía combustible externo. El tubo reactor se calentaba

hasta una temperatura suficiente para lograr una rápida y completa descomposición térmica del material, con control analítico automatizado de los gases formados. El sistema se alimentaba mediante un transportador. Se utilizaba un sistema de aire a presión para su control. El material alimentado era volatilizado y la fracción que no se gasificaba, básicamente carbón fijo, era llevado nuevamente a volatilizar. El carbón y sólidos remanentes eran enviados a una tolva de almacenamiento ubicada fuera del reactor. Los gases a temperaturas entre 900-1000°C salían del tubo reactor y se transportaban al condensador, donde las moléculas más pesadas formaban el aceite de pirólisis; y los gases se destilaban en sus diferentes componentes para eliminar los contaminantes y después eran enviados a una cámara de niebla para remover los líquidos presentes. Una parte del gas se utilizaba para mantener el sistema funcionando y el resto para generar vapor que movían las turbinas del generador de electricidad (Figura 6).

Figura 6. Diagrama de las operaciones de la planta de manejo integral de residuos mezclados con alto contenido de plásticos (Modificado de Conrad Industries).



CONCLUSIONES

Existen diversas opciones para reciclar plásticos dentro de un enfoque de economía circular, que permiten utilizar estos materiales sin prescindir de sus beneficios esenciales. Para lograrlo en México, es urgente valorizar económicamente los residuos plásticos no reciclados, para incentivar su separación y generar oportunidades de negocio, priorizando tecnologías de bajo impacto ambiental.

Dado que no es realista esperar una recolección y separación total de los plásticos, una solución viable y complementaria es la de implementar centros integrales para el manejo de residuos mezclados, incluyendo algunos clasificados como peligrosos de uso común y los existentes en los basureros originales. Los centros

deben diseñarse considerando la cultura local, orientándolos a generar supproductos de consumo a nivel regional.

La pirólisis representa una alternativa viable para el tratamiento de plásticos mezclados, en estos centros, siempre que se cuente con equipos eficientes y una operación rigurosamente controlada que elimine la formación de gases tóxicos y minimice los GEI.

Finalmente, es crucial sensibilizar tanto a las autoridades como a la población sobre los beneficios de este tipo de iniciativas, para no seguir desaprovechando oportunidades, como la representada por el visionario proyecto de manejo de residuos mezclados.

La composición del material y la temperatura utilizada en el horno determinaban la cantidad de gas o aceite obtenido y su calidad energética, ya que los BTUs de los combustibles dependen de la proporción de enlaces carbono-hidrógeno por su alta energía interna.

Por último, cabe enfatizar que el centro integral fue diseñado bajo el principio de autosuficiencia económica, sin considerar los ingresos por la venta de materiales tradicionalmente reciclables, ya que estos constituían la fuente de sustento para los recicladores locales. Los ingresos del sistema se planeaban obtener a través de la venta de energía eléctrica y, en menor medida, por la comercialización de subproductos, en particular carbón activado y materiales de construcción.

Referencias

Aguado, J., Serrano, D. P., & Escola, J. M. (2008). Fuels from waste plastics by thermal and catalytic processes: A review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 47(21), 7982–7992. <https://doi.org/10.1021/ie800541q>

Al-Salem, S.M., Lettieri, P., and Baeyens, J. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (psw): a review. *Waste Manage* 29: 2625–2643. doi:10.1016/j.wasman.2009.06.004.

Alcazar-Ruiz, A., Ortiz, M. L., Dorado, F., & Sanchez-Silva, L. (2022). Gasification versus fast pyrolysis bio-oil production: A life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 336, 130373. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144483>

Alemán Alba y Félix Márquez (2025). Mexican startup tackles plastic waste by converting it to fuel. *Los Ángeles times*. <https://apnews.com/article/mexico-plastic-pollution-fuel-startup-eafe7b665638df5c361064e2c5a58f0d>

Allen, S., Allen, D., Phoenix, V. R., Le Roux, G., Jiménez, P., Johnson, T., Obrist, D., Domergue, A., Wängberg, I., Bergknut, D., Jalkanen, L., & Rautio, P. (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountainous catchment. *Nature Geoscience*, 12(5), 339–344. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5>

Alliance to End Plastic Waste (2023). Greenback closes the loop with its first advanced plastic recycling plant [Nota de prensa 29 de mayo] <https://www.endplasticwaste.org/insights/news/greenback-closes-the-loop-with-its-first-advanced-plastic-recycling-plant>



ANIPAC (2021). W4 Research, & Sergio Lamanna Comunicación Integral. (2021). Primer Estudio Cuantitativo de la Industria del Reciclaje de Plásticos en México. Asociación Nacional de Industrias del Plástico (ANIPAC).

Arena, U. (2012). Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. *Waste management*, 32(4), 625-639. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.025>.

Barber, M., Ruwona, W., & Kaur, H. (2022). The capabilities and deficiencies of life cycle assessment to address plastic waste. *Frontiers in Sustainability*, 3, 1007060. <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.1007060>.

Benavides, P. T., Sun, P., Han, J., Dunn, J. B., & Wang, M. (2017). Life-cycle analysis of fuels from post-use non-recycled plastics. *Fuel*, 203, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.04.070>.

Bergmann, M., Mützel, S., Primpke, S., Tekman, M. B., Trachsel, J., & Gerdt, G. (2019). White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic. *Science advances*, 5(8), eaax1157. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax1157>

CEMEX (2020), integrated report. <https://www.cemex.com/documents/d/cemex/IntegratedReport2020>

Chanda, M. (2021). Aspectos químicos del reciclaje de polímeros. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 4 (3), 133-150. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2021.06.002>

Consejo Coordinador Empresarial (2021). 2º Informe del Acuerdo Nacional para la Nueva Economía del Plástico en México. <https://anipac.org.mx/wp-content/uploads/2021/12/2o-INFORME-Acuerdo-Nal-Plasticos-6-12-21.pdf>

Cox, K. D., Covernton, G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F., & Dudas, S. E. (2019). Human consumption of microplastics. *Environmental science & technology*, 53(12), 7068-7074. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01517>

Dai, L., Zhou, N., Lv, Y., Wu, Q., Wang, Y., & Liu, Y. (2022). Pyrolysis technology for plastic waste recycling: A state-of-the-art review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 93, 101026. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2022.101026>

Emadian, SM, Onay, TT y Demirel, B. (2017). Biodegradación de bioplásticos en entornos naturales. *Waste Management*, 59, 526-536. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.006>

Fletcher, S., A. March, K. Roberts, et al. 2023. Turning Off the Tap: How the World Can End Plastic Pollution and Create a Circular Economy. United Nations Environment Programme.

(PDF) Remote Sensing for Monitoring Macroplastics in Rivers: A Review. Available from: https://www.researchgate.net/publication/390052010_Remote_Sensing_for_Monitoring_Macroplastics_in_Rivers_A_Review

Fu Gu, Jianfeng Guo , Wujie Zhang , Peter A Summers, Philip Hall (2017). From waste plastics to industrial raw materials: A life cycle assessment of mechanical plastic recycling practice based on a real-world case study. *Sci Total Environ*. 1:601-602:1192-1207. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.278.

Fundación Aquae. (s.f.). Tipos de microplásticos en el agua. <https://www.fundacionaquae.org/tipos-microplasticos-agua/>

Gahane, D., Biswal, D., & Mandavgane, S. A. (2022). Life cycle assessment of biomass pyrolysis. *BioEnergy Research*, 15(3), 1387-1406. <https://doi.org/10.1007/s12155-022-10390-9>

García-Núñez, J. A., Bedevian, C., & Chen, W. (2023). Plastic waste as pyrolysis feedstock for plastic oil production: A review. *Science of the Total Environment*, 887, 164822. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164822>

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

GIZ (2023). Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit Procep: Plastic recycling and environmental protection [Ficha técnica]. <https://www.giz.de/en/downloads/giz2023-es-facsheet-PROCEP.pdf>. Fecha de consulta 20 julio 2025.

Gutiérrez Ruiz, Margarita E. & Macías Guzmán, Paloma, (1999). "Sistemas Integrales de Valorización de Desechos". *Rev. Panorama Ambiental*, Vol. 4, No. 1, AIDIS-Puerto Rico. pp. 21-27.

Haider, T. P., Völker, C., Kramm, J., Landfester, K., & Wurm, F. R. (2019). Plastics of the future? The impact of biodegradable polymers on the environment and on society. *Angewandte Chemie International Edition*, 58(1), 50-62. <https://doi.org/10.1002/anie.201805766>.

Hamad, K., Kaseem, M., & Deri, F. (2013). Recycling of waste from polymer materials: An overview of the recent works. *Polymer degradation and stability*, 98(12), 2801-2812. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.09.025>.

Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115-2126. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>.

IUCN (2024). International Union for Conservation of Nature Plastic pollution: Issues brief (May 2024 update). <https://www.iucn.org/sites/default/files/2024-05/plastic-pollution-issues-brief-may-2024-update.pdf>

Jehanno, C., Pérez-Madrugal, M. M., Demarteau, J., Sardon, H., & Dove, A. P. (2019). Organocatalysis for depolymerisation. *Polymer Chemistry*, 10(2), 172-186. <https://doi.org/10.1039/C8PY01284A>,

Jeswani, H., Krüger, C., Russ, M., Horlacher, M., Antony, F., Hann, S., & Azapagic, A. (2021). Life cycle environmental impacts of chemical recycling via pyrolysis of mixed plastic waste in comparison with mechanical recycling and energy recovery. *Science of the Total Environment*, 769, 144483. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144483>.

Jiang, L., Wang, C. G., Chee, P. L., Qu, C., Fok, A. Z., Yong, F. H., ... & Kai, D. (2023). Strategies for lignin depolymerization and reconstruction towards functional polymers. *Sustainable Energy & Fuels*, 7(13), 2953-2973. <https://doi.org/10.1039/D3SE00173C>

Jiang, X., & Bateer, B. (2025). A systematic review of plastic recycling: technology, environmental impact and economic evaluation. *Waste Management & Research*. <https://doi.org/10.1177/0734242X241310658>.

Koshti, R., Mehta, L., & Samarth, N. (2018). Biological recycling of polyethylene terephthalate: a mini-review. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(8), 3520-3529. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1214-7>.

Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F., Sainte-Rose, B., Aitken, J., Marthouse, R., Hajbane, S., Cunsolo, S., Schwarz, A., Levivier, A., Calvert, K., Woodall, D. W., De Vries, M., Lebreton, F., Debrije, E., & Hearn, R. (2018). Evidencia de que la Gran Isla de Basura del Pacífico acumula plástico rápidamente. *Scientific Reports*, 8, 4666. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>

Lopez, G., Artetxe, M., Amutio, M., Bilbao, J., & Olazar, M. (2017). Thermochemical routes for the valorization of waste polyolefinic plastics to produce fuels and chemicals. A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73(C), 346-368. DOI: 10.1016/j.rser.2017.01.142.

Martín-Lara, M. A., Moreno, J. A., Garcia-Garcia, G., Arjandas, S., & Calero, M. (2022). Life cycle assessment of mechanical recycling of post-consumer polyethylene flexible films based on a real case in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 365, 132625. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132625>.

Martínez, O. (2022). México en el reciclaje de plásticos. En *Reciclaje de plásticos*. Grupo Quimisor. Recuperado de <https://quimisor.com.mx/mexico-en-el-reciclaje-de-plasticos/>

Meys, R., Kätelhön, A., Bachmann, M., Fallasch, F., Suh, S., & Bardow, A. (2021). Achieving net-zero greenhouse gas

emissions in plastics through a circular carbon economy. *Science*, 374(6563), 71-76. <https://doi.org/10.1126/science.abg9853>

OECD (2022). Organisation for Economic Co-operation and Development. *Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/de747aef-en>.

Ouedraogo, A. S., Frazier, R. S., & Kumar, A. (2021). Comparative life cycle assessment of gasification and landfilling for disposal of municipal solid wastes. *Energies*, 14(21), 7032. <https://doi.org/10.3390/en14217032>.

Plastics Europe (2024). Plastics – the fast facts 2024. *PlasticsEurope*. https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2024/11/PE_TheFacts_24_digital-1pager.pdf.

Qureshi, J. (2022). A review of recycling methods for fibre reinforced polymer composites. *Sustainability*, 14(24), 16855. <https://doi.org/10.3390/su142416855>.

Qureshi, M. S., Oasmaa, A., Pihkola, H., Deviatkin, I., Tenhunen, A., Mannila, J., Minkinen, H., Pohjakallio, M., & Laine-Ylijoki, J. (2020). Pyrolysis of plastic waste: Opportunities and challenges. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 152, 104804. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104804>.

Ragaert, K., Delva, L., & Van Geem, K. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, 69, 24-58. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044>

Rahimi, A., & García, J. M. (2017). Chemical recycling of waste plastics for new materials production. *Nature Reviews Chemistry*, 1, 0046. <https://doi.org/10.1038/s41570-017-0046>.

Rhodes, C. J. (2018). Plastic pollution and potential solutions. *Science progress*, 101(3), 207-260. <https://doi.org/10.3184/003685018X15294876706211>

Rujni -Sokele, M., & Pilipovi, A. (2017). Challenges and opportunities of biodegradable plastics: A mini review. *Waste Management & Research*, 35(2), 132-140. <https://doi.org/10.1177/0734242X16683272>.

Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsecs, T., Trauner, M., Reiberger, T., & Liebmann, B. (2019). Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series. *Annals of internal medicine*, 171(7), 453-457. <https://doi.org/10.7326/M19-0618>

Semarnat/PNUMA México (2023). *Inventario Nacional de Fuentes de Contaminación Plástica. Resumen Ejecutivo*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/817333/INFCP_RE_2023.pdf.

Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A., & Ahmed, S. (2008). Biological degradation of plastics: a comprehensive review. *Biotechnology advances*, 26(3), 246-265. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.005>.

Sharuddin, S. D. A., Abnisa, F., Daud, W. M. A. W., & Aroua, M. K. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management*, 115, 308–326. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037>

Singh, N., Hui, D., Singh, R., Ahuja, I. P. S., Feo, L., & Fraternali, F. (2017). Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. *Composites Part B: Engineering*, 115, 409–422. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.013>.

Soong, Y.-H.V., Sobkowicz, MJ y Xie, D. (2022). Avances recientes en el reciclaje biológico de residuos plásticos de tereftalato de polietileno (PET). *Bioingeniería*, 9 (3), 98. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9030098>

TecScience (s/f). Reinventing PET: Mexican Science Gives Plastic a Second Life. Climate and sustainability. Tecnológico de Monterrey. https://tecscience.tec.mx/en/climate-and-sustainability/circular-pet-for-textile-fiber-production/?utm_source=chatgpt.com. Fecha de acceso 20 julio 2025.

Tokiwa, Y., Calabia, BP, Ugwu, CU y Aiba, S. (2009). Biodegradabilidad de los Plásticos. *Revista Internacional de Ciencias Moleculares*, 10 (9), 3722-3742. <https://doi.org/10.3390/ijms10093722>.

U.S. International Trade Administration. (2023). Mexico – plastics and resins. U.S. Department of Commerce. <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/mexico-plastics-and-resins>.

U.S. International Trade Administration. (2023). Mexico – plastics and resins. U.S. Department of Commerce. <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/mexico-plastics-and-resins>.

UNEP (2021). United Nations Environment Programme. Single-use plastics: A roadmap for sustainability (2nd ed.). Nairobi: UNEP. <https://www.unep.org/resources/report/single-use-plastics-roadmap-sustainability>.

Vazquez Alethia, Carolina, Salvador, Arely Areanely Cruz Salas, Rosa María Espinosa Valdemar (2023). Inventario nacional de fuentes de contaminación plástica. ANEXOS. Informe técnico. Semarnat. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. DOI: 10.13140/RG.2.2.32721.71526.

Wang, W., Theddy, K., Xu, C., Lee, Y. Y., & Trinh, C. T. (2021). Anaerobic digestion of bioplastics: A review. *Bioresource Technology*, 321, 124413. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124413>.

Wei, R., & Zimmermann, W. (2017). Microbial enzymes for the recycling of recalcitrant petroleum based plastics: how far are we?. *Microbial biotechnology*, 10(6), 1308-1322. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12710>

Yadav, G., et al. (2023). Techno-economic analysis and life cycle assessment for catalytic fast pyrolysis of mixed plastic waste. *Energy & Environmental Science*, 16(12), 3638–3653. <https://doi.org/10.1039/D3EE00749A>.

Zeller, M., Netsch, N., Richter, F., Leibold, H., & Stapf, D. (2021). Chemical recycling of mixed plastic wastes by pyrolysis–pilot scale investigations. *Chemie Ingenieur Technik*, 93(11), 1763-1770. <https://doi.org/10.1002/cite.202100102>.

Zhao, H., Geng, Y., Sarkis, J., & Bleischwitz, R. (2024). A critical review on plastic waste life cycle assessment and its implications for circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 425, 139341. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139341>.



“Desafíos y estrategias en el cumplimiento de Tratados y Acuerdos ambientales”



CONVOCATORIA

Te extendemos una cordial invitación a participar en el 5° Congreso Nacional de Impacto Ambiental presentando un trabajo en modalidad de ponencia o a través de un cartel.

¡Conoce las subtemas y contribuye con tu conocimiento y experiencia!

¡PARTICIPA EN LAS MESAS TÉCNICAS O CON UN CARTEL!

www.congresoamia.org.mx

RESIDUOS QUE NO SE VEN: LA OTRA CARA DEL SECTOR AGRÍCOLA



in

**Por Jessica
Labra Granados**

Abogada especialista en Derecho Ambiental. Actualmente es asociada en la firma ECIJA. Tiene experiencia en impacto ambiental, gestión de residuos y cumplimiento normativo. Se ha desempeñado en PROFEPA, GDT Ambiental y GRA, destacándose en auditorías, salvaguardas ambientales y coordinación de procesos de gestión ambiental.

Resumen

La agricultura moderna depende ampliamente del uso de plásticos, especialmente en envases de agroquímicos, cuya gestión inadecuada genera impactos ambientales y sanitarios invisibles pero significativos.

Ante esta problemática, el Programa Nacional de Recolección de Envases Vacíos de Agroquímicos y Afines, promovido por SENASICA y operado técnicamente por Amocali A.C.- Campo Limpio, ha logrado consolidar una red nacional de Centros de Acopio Primarios (CAP), Centros de Acopio Temporales (CAT) y recicladoras autorizadas, articulada mediante herramientas como la plataforma SIGA-Mex. Campo Limpio ha permitido recolectar más de 15 mil toneladas de envases entre 2020 y 2024, evitando su disposición inadecuada. No obstante, enfrenta retos como brechas regionales, escaso financiamiento y baja sensibilización. El artículo concluye que, aunque el programa aún no alcanza su máximo potencial, representa una de las pocas políticas nacionales sostenidas en la gestión de residuos agrícolas peligrosos. Su fortalecimiento permitiría extender su modelo a otros residuos plásticos del agro que hoy carecen de solución estructural.



En nuestro día a día, nos alimentamos con productos agrícolas que, aunque parecen naturales, están respaldados por procesos intensivos donde el plástico tiene un papel central pero invisible, desde las mangueras de polietileno en sistemas de riego hasta las mallas sombra y, sobre todo, los envases de agroquímicos. La agricultura moderna se ha vuelto profundamente dependiente de materiales plásticos. Al finalizar su vida útil, muchos de estos residuos terminan abandonados, enterrados o quemados, generando impactos ambientales y riesgos sanitarios silenciosos.

La mayoría de los plásticos involucrados en los procesos agrícolas no son reciclados, ya sea por degradación, contaminación química, falta de acopio o mezcla de polímeros; esto los convierte en una fuente de residuos persistentes que frecuentemente son gestionados de forma inadecuada ya que algunos de ellos se queman a cielo abierto, se entierran, o incluso se reutilizan en el hogar de los trabajadores del campo, para almacenar agua o alimentos. Este escenario pone de relieve la urgencia de contar con programas estructurados que respondan no solo al volumen de residuos generados, sino a su carácter de residuos peligroso.

En razón de esta problemática, caracterizada por la alta generación de residuos plásticos en el sector agrícola y su disposición inadecuada en suelos, caminos y cuerpos de agua, en 2009 el

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) instituyó el Programa Nacional de Recolección de Envases Vacíos de Agroquímicos y Afines (PNREVAA), como parte de sus acciones en los Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación (SRRR). Este programa se implementa a nivel nacional a través de los 32 Comités Estatales de Sanidad Vegetal (CESAVE).

A partir de 2013, se consolidó su ejecución operativa con el respaldo técnico de la Asociación Mexicana de la Industria de Protección de Cultivos, A.C. (Amocali), organización sin fines de lucro integrada por más de 250 empresas del sector, que coordina actualmente la infraestructura, la trazabilidad y la corresponsabilidad con productores y gobiernos estatales. Esta articulación entre autoridad sanitaria y sector industrial permitió transformar una necesidad ambiental en una red nacional funcional y con sustento legal. Esta sinergia se sustenta también en el Plan de Manejo aprobado por la SEMARNAT, que cumple con la normatividad ambiental nacional en materia de residuos peligrosos y peligrosidad por características químicas (NOM-052-SEMARNAT-2005), y que articula operativamente las acciones del PNREVAA promovido por SENASICA.

Su operación se articula mediante una red estructurada en distintos niveles, que permite atender tanto zonas con infraestructura consolidada como aquellas con presencia intermitente de productores:

- **Centros de Acopio Primarios (CAP):** Son instalaciones permanentes con infraestructura adecuada para el almacenamiento seguro de envases vacíos, ya limpios y perforados. Cuentan con autorización ambiental y sanitaria, y operan como nodos logísticos regionales. En estos centros, los residuos se reciben, pesan, clasifican, resguardan bajo condiciones controladas y se preparan para su envío a reciclaje o disposición final. Su gestión suele estar a cargo de asociaciones de productores, gobiernos locales o alianzas público-privadas, convirtiéndolos en pilares clave del programa.
- **Centros de Acopio Temporales (CAT):** Operan en comunidades rurales, zonas agrícolas remotas o ejidos donde no existen condiciones para establecer CAP. Su función es permitir el acopio temporal de los envases recolectados por los

productores, quienes los entregan tras realizar el triple lavado y la perforación obligatoria. Aunque no tienen infraestructura permanente ni autorización como instalaciones de disposición final, los CAT son fundamentales para garantizar el acceso equitativo al programa y reducir los costos logísticos en territorios dispersos.

- **Empresas recicladoras autorizadas:** Son las responsables de dar destino final a los residuos recolectados. En el caso del reciclaje, los plásticos que reúnan las características de reciclaje pueden reincorporarse como materia prima en nuevas cadenas productivas.

Para asegurar el funcionamiento de la red, Amocali funge como operador técnico del plan, coordinando con autoridades ambientales y agrícolas, así como con asociaciones de productores y gobiernos estatales. A esta infraestructura se suman herramientas como la “App SIGA-Mex”, un sistema digital desarrollado para el registro, geolocalización y trazabilidad de los envases recolectados. A través de esta aplicación móvil, los productores, centros de acopio y transportistas pueden documentar en tiempo real las entregas, movimientos y cantidades de residuos recolectados, lo que

permite generar reportes automáticos y mejorar la transparencia del sistema. Esta herramienta ha facilitado también la planeación logística y la supervisión del cumplimiento de metas estatales, convirtiéndose en un componente clave para fortalecer la trazabilidad ambiental del programa.

A más de una década de su implementación, el **Programa Campo Limpio** ha logrado posicionarse como una de las iniciativas más consolidadas de corresponsabilidad ambiental en el sector agroindustrial mexicano. Sus resultados son tangibles: entre 2020 y 2024, se recolectaron y canalizaron para disposición final adecuada más de **15 mil toneladas de envases vacíos de agroquímicos**, provenientes de todos los estados del país. Este esfuerzo ha evitado que residuos peligrosos contaminen suelos, cuerpos de agua y cultivos, y ha contribuido a reducir riesgos sanitarios asociados al manejo inadecuado de estos materiales.

Muestra de ello es que, en el 2024, el Programa reportó una recuperación de más de 3,100 toneladas de envases, equivalente al 47% de los generados a nivel nacional, por lo que, con más de 13,000 entregas anuales, y el involucramiento de cerca de 200,000 productores, **Campo Limpio** se ha convertido en un eje operativo de corresponsabilidad ambiental.



Además del volumen recuperado, uno de los principales logros del programa es la construcción de una red nacional de más de 1,100 Centros de Acopio Primarios (CAP) y más de 45 Centros de Acopio Temporales (CAT), que permiten alcanzar a pequeños y medianos productores en zonas remotas. A esto se suma la implementación de SIGA-Mex, que ha profesionalizado la trazabilidad, el control logístico y la generación de reportes operativos, brindando transparencia y eficiencia al sistema.

Sin embargo, el programa enfrenta desafíos estructurales que aún limitan su cobertura y eficacia. Uno de ellos es la asimetría en la participación estatal: mientras entidades como Jalisco, Michoacán y Sinaloa reportan niveles de recuperación cercanos al 60% de los envases generados, otras como Guerrero, Oaxaca y Chiapas no alcanzan el 25%, debido a factores como falta de coordinación local, dispersión geográfica y menor inversión institucional. Esta brecha territorial impide que los beneficios del programa se reflejen de manera homogénea a nivel nacional.

Otro reto clave es el desconocimiento o desinterés de parte del sector productor, especialmente entre pequeños agricultores que no siempre reconocen el riesgo ambiental y sanitario del mal manejo de envases. A pesar de campañas y materiales



formativos, sigue siendo frecuente la quema, el entierro o la reutilización doméstica de estos residuos, lo que evidencia la necesidad de mayor capacitación y sensibilización desde un enfoque intercultural y territorializado.

Finalmente, es de precisar que, el Programa Campo Limpio enfrenta limitaciones presupuestales que restringen el alcance de sus acciones ya que el sostenimiento de los centros de acopio, el transporte de residuos a larga distancia y la inversión en infraestructura dependen de esquemas de coinversión que no siempre se concretan con gobiernos locales o asociaciones agrícolas.

Así, mientras los logros del programa son indiscutibles, también lo son los desafíos que enfrenta para consolidar su impacto. Alcanzar mayores niveles de cobertura, fortalecer la corresponsabilidad de los productores y garantizar un financiamiento estable serán piezas clave para que Campo Limpio no solo sea un referente, sino un estándar nacional de gestión ambiental en el agro.

Los residuos plásticos agrícolas rara vez figuran en los discursos públicos sobre contaminación. Sin embargo, están ahí: invisibles, silenciosos, acumulándose en el campo, filtrándose en los suelos donde manos mexicanas cultivan nuestros alimentos y afectando a quienes trabajan la tierra. Frente a esta realidad, el Programa Campo Limpio ha demostrado que es posible construir soluciones desde la corresponsabilidad, combinando regulación, tecnología, alianzas y trabajo comunitario; su ejemplo confirma que, aun sin resolver todo el problema, se puede avanzar con base en una estructura clara, una estrategia nacional y una red de actores comprometidos.

Aunque Campo Limpio se enfoca en los envases vacíos de agroquímicos, su relevancia es aún mayor si se entiende que estos constituyen solo una parte del total de residuos plásticos generados por el sector agrícola tales como bolsas de fertilizantes, cintillas de riego, plásticos para acolchado, mallas sombra y recubrimientos de invernadero, forman parte de un universo creciente de materiales que, hasta ahora, carecen de una solución estructurada para su recuperación y disposición final.



Es por ello que la necesidad de replicar modelos como Campo Limpio se vuelve doble: no solo por los avances que representa, sino por el horizonte más amplio que podría abarcar si se le brinda el apoyo institucional, normativo y financiero necesario para extender su alcance a otros tipos de residuos del sector agrícola.

El programa es perfeccionable y se considera que aún no ha alcanzado su máximo potencial debido a las brechas regionales, limitaciones presupuestales y la falta de sensibilización en sectores clave siguen presentes, sin embargo, Campo Limpio representa una de las pocas políticas sostenidas y de alcance nacional orientadas a la gestión de residuos peligrosos en la agricultura.

Su consolidación futura dependerá de que las instituciones, los productores y la ciudadanía asumamos que los plásticos del sector agrícola no son residuos lejanos ni ajenos, sino parte del sistema que sostiene nuestro día a día a través de los alimentos que consumimos.

Bibliografía

- Amocali. (2023). *Programa Campo Limpio: Resultados y avances*. Asociación Mexicana de la Industria de Protección de Cultivos, A.C.
- Campo Limpio. (2024). *Reporte de actividades anuales 2020–2024*. Programa Nacional de Manejo de Envases Vacíos. Recuperado de <https://campolimpio.org.mx>
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [LGPGIR].
- SEMARNAT. (2020). *Plan de Manejo de Envases Vacíos de Agroquímicos y Afines*.
- SEMARNAT. (2023). *Inventario Nacional de Residuos Plásticos*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT & INECC. (2022). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos 2022*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales / Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- SIGA-Mex. (2024). *Sistema de Gestión Ambiental de Envases Agrícolas*. Plataforma digital de trazabilidad. Recuperado de <https://siga-mex.campolimpio.org.mx>



La Academia Mexicana de Impacto Ambiental, A.C. (AMIA),
te invita a participar en el:



Desafíos y estrategias en el cumplimiento de
Tratados y Acuerdos ambientales

Actividades del Congreso

- Conferencias magistrales
- Mesas técnicas
- Mesas de análisis
- Exposición de carteles
- Cursos



Informes e inscripciones

☎ (55) 5688-1014

✉ congresoamia@amia.org.mx

www.congresoamia.org.mx



LA AMENAZA SILENCIOSA A LA VIDA.

ASPECTOS JURÍDICOS DE LOS PLÁSTICOS, MICRO- Y NANO- PLÁSTICOS EN MÉXICO



**Por Héctor
Sánchez Rodríguez**

Abogado especializado en asuntos regulatorios de energía y medio ambiente. Actualmente, asociado en la práctica de Energía y Recursos Naturales del despacho de Von Wobeser y Sierra, S.C.

Resumen

Este ensayo redefine la contaminación por plásticos como una amenaza al ambiente y a la vida humana, detallando cómo los micro y nanoplasticos actúan como vectores de toxinas que se acumulan en el cuerpo. Ante la imposibilidad práctica de asignar responsabilidad legal por daños individuales debido al problema de la causalidad, el texto propone un marco de responsabilidad compartida (Estado, industria, sociedad) enfocado en la prevención.

Para México, urge a adoptar el principio precautorio para actuar sin necesidad de estudios nacionales definitivos. Propone acciones pragmáticas como la modificación de la NOM-001 para el monitoreo de descargas de aguas residuales y analiza las lecciones de la prohibición en la CDMX para concluir que se requieren soluciones integrales que abarquen todo el ciclo de vida del plástico, y no solo medidas aisladas.

Principio del Canto

"Canto a la vida,
al hombre y a la naturaleza,
a la madre tierra; porque la
vida es flor y es canto, es,
en fin: flor y canto"

-Natalio Flores

I. El problema de la contaminación por plásticos

Cuando pensamos en contaminación, lo asociamos primeramente con los efectos nocivos al planeta derivados de las emisiones de CO₂ producidas por los automóviles o industrias. De manera intuitiva, asociamos el concepto de "contaminación" con los gases de efecto invernadero y los daños en nuestros pulmones, las enfermedades respiratorias, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y enfermedades cardiovasculares causadas por el aire que respiramos.

Durante décadas, la conversación sobre la crisis ambiental ha estado dominada por el calentamiento global, el efecto invernadero y sus consecuencias directas: la mala calidad del aire, la afectación a los ecosistemas por el cambio climático y los efectos adversos en la salud humana, como las enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Esta preocupación ha escalado a nivel global, materializándose en tratados internacionales como es el caso del Acuerdo de París y promoviendo una incesante innovación y adopción de alternativas como son los autos eléctricos y la generación de energía eólica y solar.

Sin embargo, en los últimos años, un nuevo agente contaminante ha surgido con una fuerza devastadora, uno que es más silencioso, persistente y que ha infiltrado los rincones más profundos del planeta.¹ Me refiero a la contaminación por

plásticos, principalmente en los cuerpos de agua como mares, lagos y ríos.²

La magnitud del problema es abrumadora: de los 300 millones de toneladas de plástico que se producen anualmente a nivel global,³ se estima que 13 millones terminan en los océanos cada año,⁴ lo que representa más del 80% de la basura marina.⁵ México, en particular, juega un papel significativo en esta crisis, al ocupar el lugar 12 en consumo y el 11 en producción de plásticos a nivel mundial.⁶

La contaminación por plásticos se ha vuelto un problema que afecta los ecosistemas marinos en diversos aspectos, desde la degradación del paisaje y el impacto económico en el turismo, hasta la vida misma de las especies, que sufren por enmallamiento y asfixia. Sin embargo, como es bien sabido, la contaminación por plásticos no conoce fronteras.⁷ Debido a la interrelación de los ecosistemas, lo que inicia como basura en los océanos se transforma en una amenaza directa y sistémica a la salud e incluso a la vida de los seres humanos.

Lo anterior es así porque los plásticos que llegan a los cuerpos de agua se fragmentan en (i) microplásticos (partículas menores a 5 mm); y (ii) nanoplásticos (partículas menores a 1 µm). Estas partículas son prácticamente imposibles de eliminar y se vuelven omnipresentes en prácticamente todos los ambientes del planeta, llegando a implantarse y asentarse en nuestro torrente sanguíneo y en distintos órganos de nuestro cuerpo.

II. La amenaza de los micro- y nanoplásticos en el cuerpo humano

Así las cosas, el plástico se ha convertido en un contaminante emergente que, no solamente está llenando los espacios en la Tierra, sino también en nuestro torrente sanguíneo para almacenarse en diversos órganos de nuestro cuerpo.⁸ Aún y cuando se ha detectado presencia de microplásticos en el cerebro, testículos, placenta, e incluso en las heces de los bebés,⁹ las investigaciones en torno a sus efectos nocivos para la salud y la vida aún no son concluyentes ni definitivas.

No obstante, existe una línea de evidencia que establece una doble vía para los plásticos una vez que ingresan al cuerpo de un ser vivo. Por un lado, una porción de los microplásticos, especialmente los de mayor tamaño, son *bioquímicamente inertes*¹⁰ y atraviesan el tracto digestivo para ser expulsados de forma natural a través de las heces, ya que los organismos no poseen las enzimas para digerirlos. Sin embargo, el riesgo más grave reside en las partículas más pequeñas (microplásticos y nanoplásticos).

Existen pruebas contundentes de que los microplásticos de menor tamaño y, en particular los nanoplásticos, pueden atravesar las barreras biológicas como la pared intestinal y tejidos en un proceso llamado *translocación*.¹¹ Una vez que logran pasar, se incorporan al torrente, lo que les permite viajar por todo el cuerpo para finalmente acumularse en diversos órganos del cuerpo.

Aunado a lo anterior y al peligro que ya representa esta acumulación física de partículas, los daños a la salud se agravan por los componentes químicos añadidos a dichos plásticos para darles propiedades. El riesgo a largo plazo radica en que estas partículas actúan como vectores, liberando lentamente aditivos tóxicos añadidos durante su fabricación, como los ftalatos (en inglés “plasticizers” o plastificantes, que le dan propiedades de flexibilidad al plástico) o el bisfenol A (BPA).¹²

Dichas sustancias son conocidas por ser disruptores endocrinos y su efecto crónico y acumulativo en el cuerpo está asociado a una serie de patologías, que incluyen, problemas de salud reproductiva, trastornos hormonales (cáncer de tiroides) y afectaciones al neurodesarrollo (p. ej., Trastorno por Defecto de Atención e Hiperactividad “TDAH”).¹³

Las vías por las que los seres humanos estamos expuestos a los microplásticos y nanoplásticos son diversas. Si bien existe evidencia de que respiramos estas partículas (se han encontrado concentraciones de microplásticos suspendidas en el aire, especialmente en espacios interiores), los datos apuntan a que la principal fuente de exposición es la ingestión a través de lo que comemos y bebemos.

La presencia de plásticos en los integrantes de la cadena alimenticia marina es un factor clave. El proceso es directo: el plancton consume las partículas, a su vez, los peces y moluscos se alimentan de él, para que finalmente, estos “frutos del mar” lleguen a nuestra mesa. Sin embargo, sería un error pensar que el problema se limita al consumo de productos marinos. La contaminación por plásticos está presente en alimentos y bebidas que consideramos completamente seguros.

Investigaciones realizadas por Burhan Basaran, Zehra Özçifçi *et. al* (2024), han encontrado microplásticos en productos tan comunes como la sal de mesa, la



cerveza e incluso, la miel.¹⁴ Una de las fuentes más significativas es el agua potable, sobre todo el agua embotellada; mucha de esta contaminación proviene directamente de la fragmentación de los propios envases y tapas de plástico, convirtiendo el empaque en una fuente directa de exposición.¹⁵

III. Y luego, ¿quién(es) es (son) el (los) responsable(s)?

Con la evidencia científica a la vista, que confirma los severos daños de la contaminación por plásticos tanto al medio ambiente como a la salud humana, es ineludible realizar un análisis sucinto sobre la responsabilidad. Lo anterior, es fundamental para determinar cómo se deben asignar las cargas para remediar el daño existente y, fundamentalmente, para prevenir que la crisis se agrave.

La doble dimensión de la responsabilidad: remediación y prevención

La evidencia científica sobre los daños por contaminación por plásticos nos obliga (al menos a los abogados) a explorar y analizar el tema de la responsabilidad. Este ejercicio no es meramente académico (aunque también es fundamental la participación de este sector); es una reflexión

crítica sobre cómo una sociedad asigna las cargas ante una crisis ambiental y sanitaria global.

Para ello, considero que el problema puede abordarse desde dos perspectivas complementarias pero distintas: (i) la responsabilidad por el daño ya causado; y, (ii) la responsabilidad para evitar la contaminación futura.

(i) La dimensión de la remediación

Desde la perspectiva de la “remediación”, surgen dos preguntas de naturaleza distinta. La primera, de dimensión colectiva, es: ¿quién debe hacerse cargo de los millones de toneladas de plástico que ya contaminan nuestros océanos y de sus costos económicos y sanitarios asociados? La respuesta, hasta ahora más aceptada en el derecho ambiental internacional es el principio de “*quien contamina paga*”, materializado en principios como la Responsabilidad Extendida del Productor (REP).¹⁶

Teóricamente, este principio obliga a las empresas a financiar la gestión de los residuos de sus productos. Sin embargo, su efectividad es debatible. El informe del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (“PNUMA”) señala que estos esquemas a menudo no cubren la totalidad de los costos y no siempre incentivan un rediseño ecológico, por lo que no son una solución mágica,¹⁷ y yo diría, aunado a la resistencia de las grandes industrias para su implementación y adopción.

La segunda pregunta que surge, considero que tiene un reto mayor en el sentido de que, es más complejo de encontrar una respuesta única: ¿quién es responsable de las enfermedades que un individuo pueda desarrollar por la acumulación de micro y nanoplásticos en su cuerpo? Y aquí, es cuando se abre la caja de pandora; la respuesta se vuelve difusa y muy compleja de desarrollar que, seguramente pudiera ser material para un estudio completo.

En principio, podríamos argumentar que el Estado falló al no garantizar el derecho humano al medio ambiente sano o el derecho a la salud; que “X” productor del plástico es responsable; o, incluso “Y” comercializador del producto final tiene cierto



grado de responsabilidad. Pudiéramos teorizar con un sinfín de respuestas. Supongamos que llegamos a una respuesta teórica más o menos aceptada; sin embargo, el problema se acrecienta cuando pensamos en las implicaciones prácticas.

Cualquier intento de acción legal directa se enfrenta al problema de la **causalidad**. ¿Cómo puede un individuo demostrar que su cáncer de tiroides fue causado por los ftalatos de una botella de agua específica, cuando los informes confirman que estamos expuestos a miles de fuentes de microplásticos a diario, desde la sal de mesa hasta el aire que respiramos?

En la era de la contaminación por plásticos (masiva y dispersa), uno de los desafíos más grandes para la justicia ambiental es la responsabilidad por el daño individual a la salud. El obstáculo fundamental es la imposibilidad práctica de trazar un nexo causal directo entre un contaminador específico y la persona afectada.

(ii) La dimensión de la prevención

Para abordar la prevención de la contaminación futura por plásticos, es indispensable partir de un esquema de responsabilidad compartida, pero diferenciada. Si bien todos los actores tienen un rol, la carga principal y el deber primigenio recaen sobre el Estado, cuya existencia fundamental es garantizar, proteger y hacer respetar el derecho humano a un medio ambiente sano y a la salud.

Lo anterior, no solamente debe entenderse como una “declaración de buenas intenciones”, sino que debe ser la base sobre la cual debe construirse todo el andamiaje legal y de políticas públicas. En este sentido, la tarea del Estado es crear un marco regulatorio robusto y vinculante que obligue a los demás actores a modificar su comportamiento.

Lo anterior incluye la implementación de políticas públicas como p. ej., la prohibición de plásticos de un solo uso, la creación de incentivos fiscales que hagan el reciclaje económicamente viable y la inversión en infraestructura para la gestión de residuos.



De manera crucial, y como lo subraya el informe del PNUMA, los gobiernos tienen la responsabilidad de impulsar y ratificar un tratado global vinculante que armonice los esfuerzos, ya que la contaminación por plásticos es un problema transfronterizo que ninguna nación puede resolver por sí sola.¹⁸

Por su parte, la industria y las empresas productoras tienen la responsabilidad de transformar sus modelos de negocio. Su deber es transitar hacia una economía circular, eliminar los aditivos peligrosos y desarrollar materiales alternativos que sean seguros. Sin embargo, dejar esta transición exclusivamente en el campo de la “ética empresarial” es inviable.

La realidad, muestra que las fallas del mercado, el bajo costo del plástico virgen y las tasas de reciclaje inferiores al 10% demuestran que las iniciativas voluntarias son insuficientes.¹⁹ La responsabilidad de las empresas no puede ser opcional; debe ser una obligación legalmente exigible, impulsada por la regulación del Estado, con sanciones severas.

Finalmente, la sociedad civil, que incluye a la comunidad científica, la academia y las Organizaciones No Gubernamentales (ONG's), tienen un rol fundamental como contrapeso. Sobre la comunidad científica recae el deber de seguir

investigando tener certeza y bases científicas sobre, p. ej., los efectos negativos a largo plazo y la estandarización de métodos de detección.²⁰

Por su parte, el rol de las ONGs y la ciudadanía en general son indispensables para ejercer presión política, auditar y exponer al escarnio público a las marcas contaminantes y movilizar a la sociedad, asegurando que tanto el Estado como la industria cumplan con su parte de la responsabilidad.

IV. Los retos legales y regulatorios en México

El consenso científico global es claro: los microplásticos y nanoplásticos, así como los aditivos plásticos suponen un grave riesgo para el medio ambiente y, finalmente para la salud. Ante esto, el gobierno mexicano tiene dos opciones: esperar décadas por estudios epidemiológicos locales, con costos o inversiones inmensas, o actuar ahora.

Existe una interrelación entre el derecho a un medio ambiente sano y el derecho a la salud; uno no puede existir plenamente sin el otro. Frente a una amenaza como la contaminación por plásticos,

cuyo impacto en ambas esferas está cada vez más documentado, considero que el derecho ambiental ofrece una ruta de acción clara y pertinente: operar bajo el principio precautorio.

Este principio, consagrado en la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, es fundamental, pues establece que cuando haya peligro de un daño grave o irreversible, la “falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces”.²¹ La contaminación por plásticos encaja perfectamente en esta definición. La evidencia del “daño grave” ya es abrumadora como se precisó a lo largo del presente.

El problema es muy grande, y requiere la coordinación entre los tres órdenes del gobierno: Federal, Estatal y Municipal. En principio, pudiera parecer que el “problema” es de los municipios, pues son quienes tienen la obligación de gestionar los residuos sólidos urbanos; sin embargo, si no tienen la capacidad financiera ni técnica para hacerle frente al problema, es imposible exigirles resultados. Por tanto, se requiere de una estrategia nacional que considere mecanismos de financiamiento y asistencia técnica que hagan posible que la política se convierta en realidad.



Ahora bien, en el orden federal, considero que la ruta más pragmática para iniciar es la modificación de la NOM-001-SEMARNAT-2021. El objetivo sería integrar un nuevo requisito: el monitoreo obligatorio de microplásticos en las descargas de aguas residuales en cuerpos de jurisdicción federal. Para que sea viable, esta obligación debe implementarse por fases, iniciando con los grandes puntos de descarga industriales y urbanos, que son fuentes clave de contaminación. La finalidad fundamental sería recolectar sistemáticamente los datos que hoy no existen.

Esta información que se recolecte deberá centrarse en saber qué industrias, qué ciudades y qué tipo de plásticos son los principales contribuyentes. Así, con esta base se podrán diseñar, ahora sí, regulaciones futuras y normas específicas que sean técnica y económicamente viables, y no solo reacciones bien intencionadas pero carentes de un diagnóstico preciso.

En el orden estatal, considero que el caso de la prohibición de comercialización, distribución y entrega de bolsas de plástico al consumidor, en los puntos de venta de la Ciudad de México es un estudio de caso.²² Hay que reconocer que, de un día para otro, puso el tema sobre la mesa generando paulatinamente una conciencia pública de disminuir el uso de plásticos.

Sin embargo, es preciso mencionar que, esta “solución” atacó un síntoma, pero no la enfermedad, pues vimos de inmediato que se creó un mercado que reemplazó a las “bolsas prohibidas” por otras más gruesas, vendidas como “reutilizables”, que no necesariamente son “sustentables” o “verdes”.

Referencias citadas

1. Vid. Flores, Javier, Encuentran restos de plástico en el punto más profundo del océano, National Geographic, 3 enero 2023. Disponible en https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/encuentran-restos-plastico-punto-mas-profundo-océano_14257
2. En este artículo, centramos la discusión sobre la contaminación en cuerpos de agua sin desconocer que, los plásticos también se encuentran en el suelo y el aire.
3. Cfr. Aranda, Dalila, (2022). Contaminación por microplásticos. Ciencia: Revista de la Academia Mexicana de Ciencias, vol. 73, no. 2, p. 6.
4. Cfr. Aranda, Dalila, et. Al, (2022) El Caribe y su contaminación por plásticos. Ciencia..., p. 9.

Al final, la experiencia de la Ciudad de México dejó una lección: las prohibiciones son una herramienta indispensable para iniciar la conversación y forzar un cambio (sobre todo si es rápido), pero se quedan cortas si no forman parte de una estrategia integral y comprehensiva.

5. Ídem.

6. Cfr. Acosta González, Gilberto, et. Al., (2022). “Microplásticos en agua y en organismos”... p. 16.

7. Vid. Cozar Cabañas, Andrés, Migrating plastics: Even the Arctic is not immune, The Circle, WWF Arctic Program, Magazine No. 2, 2019. Disponible en: <https://www.arcticwwf.org/magazine-issues/2019/arctic-check-up/>

8. Vid. Nihart, A.J., Garcia, M.A., El Hayek, E. et al., Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains, Nat Med 31, 1114–1119 (2025). Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03453-1>

En dicho artículo científico publicado en la revista “Nature Medicine”, se realiza un estudio a diversas pruebas y análisis post mortem a cuerpos humanos de 28 personas que fallecieron en 2016 y 24 en 2024, en donde se logran identificar restos de micro y nanoplasticos en órganos como riñones, hígado y, con mayores concentraciones en el cerebro.

9. Vid. Simon, Matt, Baby Poop Is Loaded With Microplastics, sept-2022. Disponible en: <https://www.wired.com/story/baby-poop-is-loaded-with-microplastics/>

En dicha nota, se especifica que, debido a la exposición de los infantes (bebés) a telas sintéticas (microfibras), se han detectado la presencia de dichas microfibras en sus heces.

10. Por bioquímicamente inertes nos referimos a que, el plástico, per se, no reacciona al cuerpo como sí lo haría una sustancia tóxica, p. ej., el cianuro.

11. Cfr. Zambrano, Andrea, (2022) El impacto de microplásticos en organismos marinos. Revista..., p.60

12. Vid. United Nations Environment Programme (2021). From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution. Nairobi., p. 26 y 32.

13. Ibídem, pp. 32, 37.

14. Vid. Burhan Basaran, Zehra Özçifçi, et. al., Microplastics in honey from Türkiye: Occurrence, characteristic, human exposure, and risk assessment, Journal of Food Composition and Analysis, Volume 135, 2024, 106646.



Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S088915752400680X?via%3Dihub>

15. Vid: (i) Drinks in glass bottles contain more microplastics than those in other containers. Disponible en: <https://www.anses.fr/en/content/drinks-glass-bottles-contain-more-microplastics-those-other-containers>

(ii) Hallan más microplásticos en botellas de vidrio que en las de plástico, La Jornada, 2025.

Disponible en: <https://www.jornada.com.mx/noticia/2025/06/20/ciencias/hallan-mas-microplasticos-en-botellas-de-vidrio-que-en-las-de-plastico>

16. Vid. Gómez López, Ruby, Martínez-Moscote, Andrés "La responsabilidad extendida del productor en México: A la Luz Del Derecho Internacional Ambiental y Comparado"; 20 de noviembre de 2022, Actualidad Jurídica Ambiental, n. 139 Sección "Comentarios". Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9207827>

17. A major challenge in using EPR for marine litter is that it has become clear after a number of years that producer responsibility organizations managing the process do not assume the entire cost of managing the corresponding waste flows (Forrest et al. 2019), and therefore public administrations continue to sustain part of the costs that should be borne by producers and potentially included in the prices paid by consumers. En United Nations Environment Programme (2021). From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution. Nairobi, p. 95.

"At the same time, it is estimated that less than 10 per cent of the plastics ever produced have been recycled (Dauvergne 2018; Zheng and Suh 2019; Geyer 2020)", en Ibídem, p. 99, 104.

18. Vid. <https://www.unep.org/inc-plastic-pollution>

Los gobiernos tienen la responsabilidad de impulsar y ratificar un tratado global vinculante que armonice los esfuerzos, ya que la contaminación por plásticos es un problema transfronterizo. Sin embargo, el camino para materializar un tratado global ha demostrado

la enorme complejidad de su negociación y ha expuesto los intereses profundamente divergentes de los Estados. La propia resolución de la ONU (5/14. End plastic pollution: towards an international legally binding instrument: resolution / adopted by the United Nations Environment Assembly) que mandata la creación del tratado global es un reconocimiento de que, décadas de esfuerzos fracasaron.

Las divisiones no son menores: por un lado, un bloque de países "ambiciosos" abogan por un tratado robusto que incluya límites a la producción de plástico virgen, atacando el problema desde su origen. Por otro, un grupo de naciones productoras de plásticos y petroquímicos se resiste a estas medidas, buscando que el instrumento se centre exclusivamente en la gestión de residuos y el reciclaje.

19. United Nations Environment Programme (2021) ... p. 16.

20. Uno de los problemas principales en torno a la identificación de microplásticos, y un obstáculo para evaluar la verdadera magnitud de la crisis, es la falta de estandarización en los métodos para su análisis. Como señalan tanto el informe del PNUMA como la revista "Ciencia", la utilización de diferentes metodologías provoca que los resultados de las investigaciones a menudo no sean comparables entre sí, lo que dificulta la creación de un panorama global coherente. En este sentido: "Distintos grupos de investigación han analizado la contaminación por residuos en las playas; sin embargo, es difícil comparar los resultados porque se emplearon métodos diferentes para recolectar, clasificar y cuantificar los residuos", en Cruz Salas, Arely Areanely, et. Al., Microplásticos en playas: realidad y percepción. Ciencia... p. 39

21. Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

Principio 15. Con el fin de proteger el medio ambiente, los Estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución conforme a sus capacidades. Cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente.

22. Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal.

MESA DIRECTIVA BIENIO 2024-2026

Academia Mexicana de Impacto Ambiental, A.C.



Carlos del Razo
Presidente



Alfonso Flores
Primer Vicepresidente



Raúl Arriaga
Segundo Vicepresidente



Héctor Lesser
Tesorero



Mario Ramírez
Primer Secretario



Jessica Labra
Segunda Secretaria



Magdalena Colunga
Primer Vocal



Arnoldo Fimbres
Segundo Vocal



Alma Escamilla
Tercer Vocal



Alejandro Loera
Cuarto Vocal



Carlos Rábago
Presidente del Consejo
Técnico Asesor

Síguenos en nuestras redes sociales:



CONTACTO:

(55) 5688-1014
amia@amia.org.mx
www.amia.org.mx



www.amia.org.mx