



Artículo de divulgación

<https://doi.org/10.61767/mjte.005.1.1226>

García-Domínguez et al., 2026

Recibido: 13-01-2026

Revisado: 20-03-2026

Aceptado: 04-04-2026

Publicado: 30-04-2026

Construyendo un futuro responsable a través de la ingeniería verde y los materiales reciclados

Building a responsible future through green engineering and recycled materials

Giovanni García Domínguez¹, Luis Enrique Francisco Martínez², Joan Reyes Miranda³ y Aristeo Garrido Hernández^{3*}

¹Universidad Tecnológica Fidel Velázquez, Emiliano Zapata S/N, El Trafico, Cdad. Nicolás Romero, Estado de México 54400, Mexico.

²Conalep Coacalco 184, Blvd. del Bosque Central 179, Bosques del Valle, 55717. San Francisco Coacalco, Estado de México, México.

³ Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Departamento de Materiales, Av. San Pablo Xalpa 180, San Martín Xochinahuac, Azcapotzalco, 02128 Ciudad de México, México.

*Correspondencia: agh@azc.uam.mx

Resumen

Este artículo examina el papel de la ingeniería de materiales en el reciclaje y la reutilización de residuos plásticos como estrategias clave para enfrentar la crisis ambiental actual. Se describe la evolución de los materiales en el desarrollo tecnológico y se destaca la importancia de los compuestos reforzados con residuos, los biopolímeros y los metales reciclados como alternativas viables para reducir la contaminación y la dependencia de recursos naturales. Asimismo, se explican de manera accesible los principales procesos de reciclaje; mecánico, químico y termo-mecánico y se presentan ejemplos de innovación desarrollados en México y a nivel internacional, como pavimentos modificados con fibras de tereftalato de polietileno (PET), asfaltos con caucho reciclado y diversos materiales compuestos. Finalmente, se analizan la aceptación social, el marco normativo y la inversión tecnológica como factores determinantes para consolidar estas prácticas y avanzar hacia un modelo de desarrollo más sostenible.

Palabras clave: Ingeniería de materiales, reciclaje de materiales, impacto social, innovación en materiales reciclados, impacto social, innovación.

Abstract

This article examines the role of materials engineering in the recycling and reuse of waste as key strategies to address the current environmental crisis. It describes the evolution of materials in technological development and highlights the importance of waste-reinforced composites,



Artículo de divulgación

García-Domínguez et al., 2026

biopolymers, and recycled metals as viable alternatives to reduce pollution and dependence on natural resources. In addition, the main recycling processes—mechanical, chemical, and thermomechanical—are explained in a clear and concise manner, and examples of innovation developed in Mexico and internationally are presented, including pavements modified with polyethylene terephthalate (PET) fibers, asphalt containing recycled rubber, and various composite materials. Finally, social acceptance, regulatory frameworks, and technological investment are analyzed as determining factors for consolidating these practices and advancing toward a more sustainable development model.

Keywords: Materials engineering, materials recycling, social impact, innovation in recycled materials, social impact, innovation

1. Introducción

La mayoría de los objetos utilizados en la vida cotidiana están elaborados a partir de materiales transformados, es decir, materia que ha pasado por un proceso que modifica sus propiedades para un fin específico. A lo largo de la historia, los materiales han sido un factor determinante en el desarrollo de las civilizaciones: desde el uso de piedra y arcilla en la antigüedad, pasando por el bronce y el hierro, hasta la incorporación del acero, el vidrio, el aluminio, los polímeros y, más recientemente, los materiales compuestos y nanomateriales. Cada avance en este campo ha impulsado transformaciones tecnológicas y sociales profundas. Por ejemplo, la introducción del proceso Bessemer para la producción de acero permitió la construcción de rascacielos y ferrocarriles; el desarrollo de aleaciones de titanio posibilitó la aviación moderna; y la aparición de semiconductores de silicio desencadenó la revolución electrónica.

Los procesos que se utilizan en la transformación de la materia, sumados al cambio climático, han generado retos sin precedentes. Uno de ellos es la atención urgente del calentamiento climático del siglo XXI, el cual superó el incremento promedio de 1.5 °C respecto a niveles preindustriales. En este sentido, se requieren estrategias claras para disminuir la huella de carbono y transitar hacia modelos productivos más sostenibles. El mundo contemporáneo enfrenta además una crisis ambiental caracterizada por el exceso de residuos sólidos, la contaminación de suelos, aire y cuerpos de agua,

así como la explotación intensiva de recursos naturales. Cada año se generan millones de toneladas de desechos, entre ellos plásticos, metales, papel y residuos electrónicos, muchos de los cuales no reciben un manejo adecuado (ONU Medio Ambiente, 2019). Frente a esta situación, el reciclaje tradicional resulta insuficiente, lo que hace necesario desarrollar soluciones innovadoras basadas en los principios de la ciencia e ingeniería de materiales.

En este contexto, surge la necesidad de adoptar enfoques más integrales que permitan gestionar los residuos y reincorporarlos de manera eficiente en los ciclos productivos. Uno de los modelos más relevantes es la economía circular, entendida como un esquema de producción y consumo que busca mantener los materiales y productos en uso durante el mayor tiempo posible mediante estrategias como la reutilización, el reciclaje, la reparación y el rediseño, con el objetivo de reducir la generación de residuos, minimizar el uso de recursos naturales y disminuir el impacto ambiental (Ellen MacArthur Foundation, 2019). Para lograrlo, se requiere el soporte de la ingeniería de materiales, ya que estudia la relación entre estructura, propiedades, procesos y desempeño. Por citar algunos ejemplos se destaca la reutilización de polímeros plásticos para producir fibras empleadas en concreto reforzado, la incorporación de aluminio reciclado en componentes automotrices y aeronáuticos para reducir peso y consumo energético y la obtención de bioplásticos biodegradables a partir de



Artículo de divulgación

García-Domínguez et al., 2026

residuos orgánicos agrícolas (Cao, 2021). Con el estudio de partículas de tamaño nanométrico, surge la posibilidad de desarrollar compuestos híbridos, que combinan materiales reciclados con nanopartículas para mejorar propiedades como la resistencia mecánica, la conductividad eléctrica o la capacidad fotocatalítica para purificar agua (Poole y Owens, 2020).

Para que el uso de materiales reciclados en nuevas aplicaciones sea viable, es fundamental la aceptación social. En países donde existe una cultura consolidada de reciclaje, la adopción de productos elaborados con materiales recuperados es significativamente mayor. Por el contrario, en contextos donde persiste la desconfianza, estos materiales suelen asociarse con menor calidad o durabilidad, lo que limita su implementación (European Commission, 2018).

En este marco, el presente trabajo busca divulgar y analizar el papel de la ingeniería de materiales en el impulso del uso de materiales reciclados para desarrollar productos de alto impacto. A través de ejemplos históricos y avances recientes, se pretende mostrar cómo la ciencia y la sociedad pueden converger para transformar un problema global en una oportunidad de innovación responsable.

2. Evolución y relevancia actual de la ingeniería de materiales en soluciones sostenibles

La evolución histórica de los materiales sin duda ha marcado el desarrollo tecnológico de la humanidad. Durante siglos, la madera, la piedra, los metales y, más recientemente, los plásticos derivados del petróleo fueron la base de la construcción, la manufactura y la vida cotidiana en diversas partes del mundo. Estos materiales convencionales, por su disponibilidad y propiedades, permitieron consolidar modelos de producción que impulsaron el progreso industrial, pero también generaron impactos ambientales y sociales hoy insostenibles, como el agotamiento de recursos, la acumulación de residuos y el aumento de la huella de carbono (Rosales, 2022).

La ingeniería de materiales surgió precisamente para responder a este tipo de desafíos, evolucionando desde la simple transformación de materiales tradicionales hacia el diseño de materiales avanzados, optimizados y adaptados a nuevas necesidades tecnológicas y ambientales. Esta evolución ha permitido crear materiales más ligeros, más resistentes, biodegradables o provenientes de fuentes recicladas, cambiando la forma en que concebimos la producción y el consumo.

En el sector del transporte, la ingeniería de materiales ha impulsado la transición hacia aleaciones ligeras, como las de aluminio y magnesio, cuyo uso permite reducir el consumo energético de vehículos y aeronaves. Paralelamente, la búsqueda de alternativas a los polímeros convencionales ha impulsado el desarrollo de biopolímeros biodegradables, obtenidos a partir de residuos orgánicos o fuentes renovables. Estos materiales, diseñados desde la ingeniería de materiales, ofrecen ventajas claras en términos de reducción de la contaminación por plásticos de un solo uso. Gracias a la optimización de sus propiedades, resistencia mecánica, flexibilidad y estabilidad térmica hoy se utilizan en envases, agricultura, dispositivos médicos y aplicaciones textiles. Todos estos avances están, como se mencionó anteriormente, directamente vinculados con los principios de la economía circular. Es por ello que la ingeniería de materiales es un pilar fundamental de este modelo ya que permite caracterizar residuos, desarrollar nuevos compuestos, mejorar procesos de fabricación (Dhakal et al., 2024).

Diversas organizaciones y empresas se encuentran comprometidas con el desarrollo en la ingeniería de materiales reciclados como VICA Neumáticos y Servicios S.A. quienes practican la ingeniería de nuevos materiales reciclados partiendo de neumáticos; VICA NFU menciona una práctica sustentable para el sector público donde se ha implementado los neumáticos granulados siendo excelentes materias primas para la fabricación de losetas de seguridad (pisos



Artículo de divulgación

García-Domínguez et al., 2026

de goma) para parques infantiles e instalaciones deportivas, dado que, el 90% de sus componentes proceden de neumáticos usados y tienen gran capacidad para absorber altos impactos, son maleables en cuanto a diseños y colores, son elásticos, secan con rapidez, amortiguan los ruidos y no son perjudiciales para la salud (VICA NFU, s.f.)

En los sectores de construcción llegan a ser de gran importancia la implementación de nuevos materiales que mejoren la resistencia de los materiales e incluso logren utilizar materiales reciclados (Figura 1); como el nuevo hormigón reciclados (Figura 1); como el nuevo hormigón NEUCRETE desarrollado por Neusus Urban,

sustituyendo la mayor parte de los áridos por caucho reciclado granulado, procedente de neumáticos fuera de uso (NFU), ligada al uso de aditivos de alto rendimiento, brindando un hormigón de alta resistencia (superior a 40N/mm^2), con una densidad del 40% menor, es decir, 65 NFU por cada m^3 de hormigón. Además, este nuevo hormigón es producido utilizando energía solar y sin emisiones de CO_2 directas, estos datos fueron presentados en la Feria Internacional del Urbanismo y del Medioambiente ((TECMA 2024) (Neusus Urban, 2024).



Figura 1. Aplicación de materiales reciclados en la construcción: ejemplo de hormigón modificado con caucho reciclado proveniente de neumáticos fuera de uso (NFU).



Artículo de divulgación

García-Domínguez et al., 2026

3. Tecnologías y procesos que permiten reutilizar y transformar residuos

La evolución de la ingeniería de materiales aplicada al reciclaje ha transitado desde enfoques básicos de reprocesamiento hasta el desarrollo de materiales avanzados con impacto directo en sectores productivos y sociales. La evolución de la ingeniería de materiales aplicada al reciclaje ha transitado desde enfoques básicos de reprocesamiento hasta el desarrollo de materiales avanzados con impacto directo en sectores productivos y sociales. Para poder entender mejor las técnicas de reciclaje se abordan tres enfoques principales: reciclaje mecánico, químico y termo-mecánico.

En la década de 1990 y principios de los 2000, el reciclaje mecánico se consolidó como la primera solución industrial para el manejo de residuos plásticos. En este periodo se desarrollaron productos como pellets reciclados de polipropileno (PP), polietileno (PE) y tereftalato de polietileno (PET), obtenidos mediante procesos de molienda, lavado, separación y extrusión. Estos materiales se utilizaron principalmente en la fabricación de envases no alimentarios, fibras textiles y productos de bajo valor agregado. El beneficio principal fue la reducción del volumen de residuos plásticos y la disminución del consumo de materia prima virgen. De acuerdo con Plastics Europe (2022), más del 80% del PET reciclado posconsumo se obtiene mediante rutas mecánicas, debido a su bajo costo y menor impacto ambiental.

A partir de 2010, se impulsaron tecnologías de reciclaje químico con el objetivo de recuperar materiales de mayor pureza. En este periodo se lograron avances significativos en la depolimerización del PET mediante procesos como hidrólisis, glicólisis y pirólisis, generando monómeros como el ácido tereftálico y el etilenglicol. Estos desarrollos permitieron la producción de PET grado botella a partir de residuos, ampliando su uso en la industria alimentaria. Empresas como Loop Industries y

Carbios desarrollaron procesos industriales capaces de reciclar plásticos de baja calidad o contaminados, utilizando tanto rutas químicas como enzimáticas (por ejemplo, mediante el uso de enzimas tipo PETasa), lo que permite obtener materiales con propiedades comparables a los vírgenes (Carbios, s. f.; Loop Industries, s. f.). El impacto de estos avances se refleja en la posibilidad de cerrar el ciclo del plástico dentro de un modelo de economía circular.

Entre 2015 y la actualidad, el reciclaje termo-mecánico ha permitido el desarrollo de materiales compuestos de mayor desempeño. En esta etapa se han generado productos como compósitos reforzados con fibras recicladas de PET, nanopartículas cerámicas y fibras de vidrio, mediante procesos que combinan temperatura y deformación sin modificar químicamente el polímero base. Estos materiales se utilizan en aplicaciones estructurales, impresión 3D y elementos de ingeniería civil (Standing et al., 2025). Por ejemplo, la incorporación de fibras de PET reciclado en concreto ha permitido mejorar la resistencia al impacto y la ductilidad, mientras que en mezclas asfálticas incrementa la durabilidad del pavimento (Fraternali et al., 2011; Ochi et al., 2007). Este avance ha beneficiado directamente al sector de la construcción, reduciendo costos de mantenimiento e incrementando la vida útil de la infraestructura.

De manera paralela, entre 2018 y 2025, se han desarrollado aplicaciones específicas con alto impacto social. Proyectos como Reflow y diversas iniciativas universitarias como Reflow y proyectos de universidades europeas han demostrado que es posible imprimir mobiliario urbano (banacas para parques, contenedores de residuos urbanos, señalización vial, módulos prefabricados, sin comprometer su desempeño mecánico (Cruz-Sánchez et al., 2020). Asimismo, el uso de asfaltos modificados con caucho reciclado ha permitido mejorar la resistencia a la deformación plástica y reducir el ruido vehicular en zonas urbanas (Huang et al., 2007). En el campo de materiales funcionales, compósitos de PET reciclado con nanopartículas de dióxido de



Artículo de divulgación

García-Domínguez et al., 2026

titanio (TiO_2) han mostrado mejoras en resistencia a radiación UV y propiedades autolimpiantes (Pivsa-Art et al., 2022).

En el caso del reciclaje mecánico, investigaciones realizadas en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente en el 2019 desarrollaron elementos de concreto reforzados con tiras de PET reciclado. En este trabajo, residuos de botellas fueron recolectados, limpiados y cortados para incorporarse directamente como refuerzo en matrices cementantes. El objetivo fue mejorar la resistencia a flexión del concreto y, al mismo tiempo, valorizar residuos plásticos sin modificar su estructura química (Herrera y González 2019). El impacto de este desarrollo radica en su aplicación en vivienda y autoconstrucción, donde se logra reducir costos y disminuir la acumulación de residuos urbanos.

Respecto al reciclaje químico, en México se han desarrollado investigaciones enfocadas en la modificación y aprovechamiento del PET a nivel molecular. Un ejemplo es el trabajo realizado por Orsua Gaona et al. (2022), donde se aplicó un tratamiento por plasma sobre PET reciclado para modificar su superficie y permitir la inmovilización de enzimas. En este caso, aunque no se lleva a cabo una depolimerización completa, sí existe una transformación química superficial que amplía su funcionalidad. El material resultante se utilizó en el tratamiento de aguas contaminadas con fenoles, mostrando cómo el PET reciclado puede integrarse en aplicaciones ambientales avanzadas. El impacto de este enfoque es significativo al vincular el reciclaje con tecnologías de remediación ambiental.

Por otro lado, en el ámbito del reciclaje termomecánico, investigaciones en México han explorado la incorporación de PET reciclado en matrices poliméricas y cementantes mediante procesos que combinan temperatura y deformación. Estudios reportados por Morales-Guzmán y Ceballos-Vargas (2025) muestran el desarrollo de compósitos donde el PET reciclado se integra en concreto, mejorando propiedades

como la ductilidad y la resistencia al agrietamiento. Este tipo de procesamiento permite obtener materiales con mejores propiedades mecánicas sin necesidad de modificar químicamente el polímero base.

Actualmente, la ingeniería de materiales integra estos avances mediante el uso de técnicas de caracterización como microscopía electrónica y ensayos mecánicos, lo que permite diseñar materiales reciclados con propiedades específicas según su aplicación. Este enfoque ha facilitado la transición hacia un modelo de economía circular, donde los materiales reciclados no solo sustituyen a los vírgenes, sino que en algunos casos mejoran su desempeño. En la Figura 2 se presenta una clasificación del proceso de reciclaje de polímeros.

4. Retos y oportunidades del uso de materiales reciclados en México

El uso de materiales reciclados tiene un impacto directo en la sostenibilidad ambiental, social y económica del país. En México, cada habitante genera en promedio alrededor de 0.85 kg de residuos sólidos urbanos por día, lo que representa más de 108 mil toneladas diarias a nivel nacional (INEGI, 2023) y una proporción importante de estos residuos termina en rellenos sanitarios, tiraderos informales o cuerpos de agua. En este contexto, la valorización de residuos se convierte en una estrategia indispensable para disminuir la presión sobre los ecosistemas y avanzar hacia un modelo de desarrollo responsable.

En el ámbito ambiental, la reutilización de materiales reciclados permite una reducción significativa de residuos sólidos destinados a disposición final y disminuye la emisión de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, el reciclaje de una tonelada de plástico puede evitar entre 1.5 y 3 toneladas de CO_2 equivalente, dependiendo del tipo de polímero y del proceso



Artículo de divulgación

García-Domínguez et al., 2026

utilizado (ONU Medio Ambiente, 2019). En el caso del aluminio, el reciclaje requiere solamente 5% de la energía necesaria para producirlo de manera primaria, lo que implica un ahorro energético del 95% y una reducción considerable de emisiones asociadas con la minería y fundición (International Aluminium Institute, 2021).

La reutilización de plásticos como el PET también reduce la contaminación de ríos, mares y zonas urbanas. Aunque solo 9% del plástico global se recicla, en México el volumen destinado a reciclaje ha crecido, especialmente en sectores como empaques, fibras textiles y materiales

compuestos. Cada kilogramo de PET reciclado evita el uso de petróleo como materia prima y reduce la huella de carbono en aproximadamente 70% respecto al PET virgen. Además, el uso de materiales reciclados en la construcción, como fibras de PET, caucho de llantas trituradas y agregados reciclados, disminuye la demanda de recursos naturales como arena y grava, cuya extracción genera impactos severos como erosión, pérdida de biodiversidad y emisiones por transporte y procesamiento.

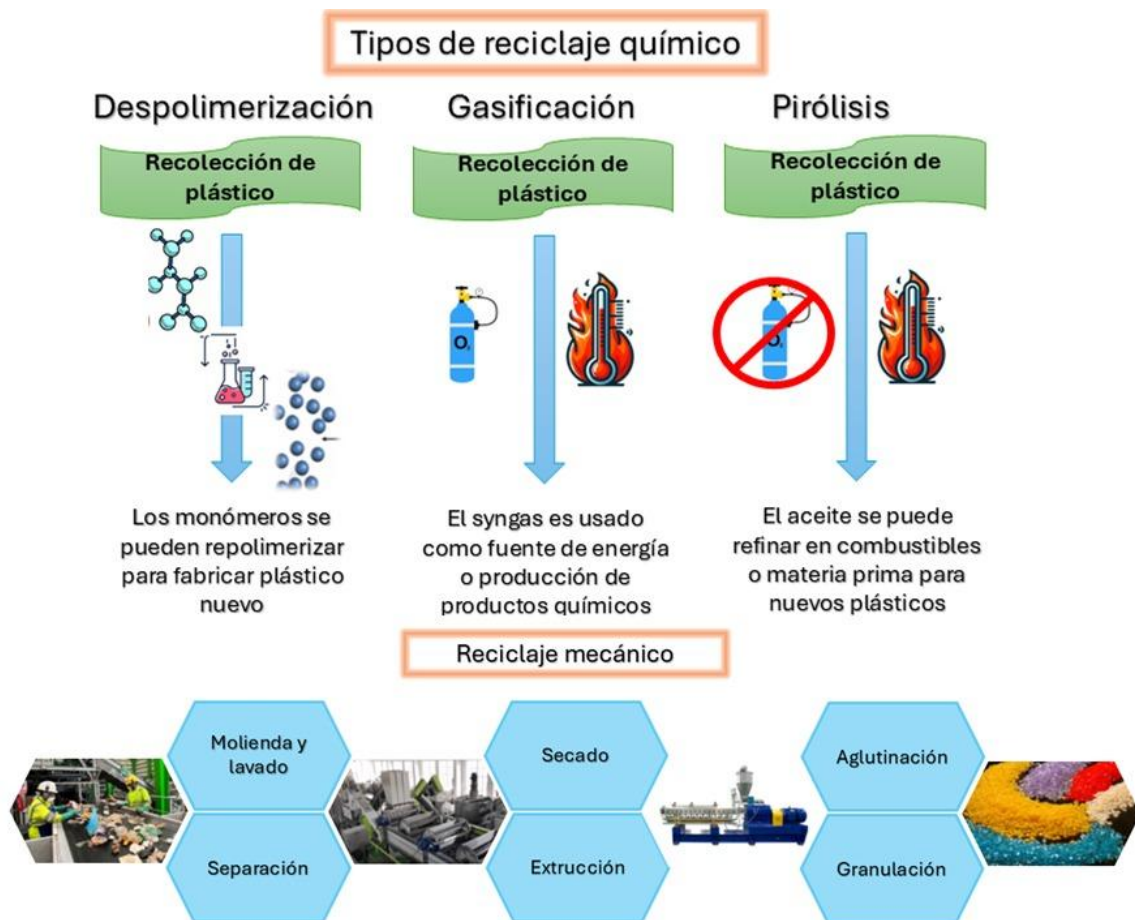


Figura 2. Clasificación de proceso de reciclaje de polímeros químico y mecánico.



Artículo de divulgación

García-Domínguez et al., 2026



Figura 3. Líneas de investigación en materiales reciclados.

Diversos estudios señalan que la formalización de los recicladores comunitarios permite incrementar significativamente el valor económico de los residuos, al integrarlos en cadenas productivas donde pueden transformarse en insumos industriales como polímeros reprocesados, fibras recicladas o materiales secundarios (World Bank, 2018). Sin embargo, el uso de materiales reciclados en México enfrenta barreras significativas. Una de las más importantes es la percepción social, ya

que muchos consumidores continúan asociando los materiales reciclados con menor calidad, estética limitada o reducida durabilidad (European Commission, 2018; OECD, 2020).

Estas percepciones reducen la demanda y limitan la inversión industrial en líneas de producción basadas en materiales reciclados. Para superar estas barreras, se requiere educación ambiental, normas claras y evidencia científica que demuestre que los materiales reciclados pueden



Artículo de divulgación

García-Domínguez et al., 2026

igualar e incluso superar el desempeño de los materiales convencionales.

En cuanto al marco normativo, aunque México cuenta con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), su implementación ha sido desigual entre regiones (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020). En el ámbito tecnológico, los materiales reciclados pueden presentar variabilidad en sus propiedades (Figura 3), degradación por uso previo, contaminación cruzada o mezclas incompatibles, lo que representa un reto para su aprovechamiento. Por ello, en la actualidad se emplean diversas tecnologías como reciclaje químico, pirólisis o procesos de compatibilización para mejorar su desempeño y permitir su reincorporación en aplicaciones industriales (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2020).

ECOCE, una de las principales organizaciones dedicadas al acopio de materiales reciclables en el país, destaca la importancia de fortalecer alternativas para la reutilización de residuos como plásticos y llantas. Gracias a estos esfuerzos, México se ha posicionado como uno de los países líderes en América en el acopio y reciclaje de envases de PET (ECOCE, s.f.).

Asimismo, la SEMARNAT reportó que, en 2020, la composición de los residuos en México estaba conformada principalmente por un 46% de residuos orgánicos, seguido de un 22% de otros materiales (como electrónicos, metales y residuos peligrosos), 12% de plásticos, 10% de papel y cartón, y proporciones menores de vidrio y metales (SEMARNAT, 2020). (Figura 4)



Figura 4. Distribución de residuo sólidos urbanos generados en México. ECOCE y SEMARNAT (2020).



Artículo de divulgación

García-Domínguez et al., 2026

Por otra parte, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía informó, en el marco del Día Mundial del Medio Ambiente, datos recientes sobre la recolección de materiales reciclables en centros de acopio correspondientes a 2023, destacando principalmente el papel y cartón, seguido del PET, vidrio, llantas y metales (INEGI, 2024).

5. Retos y oportunidades del uso de materiales reciclados en México

El uso de materiales reciclados tiene un impacto directo en la sostenibilidad ambiental, social y económica del país por lo que la valorización de residuos se convierte en una estrategia indispensable para disminuir la presión sobre los ecosistemas y avanzar hacia un modelo de desarrollo responsable.

5.1 Retos en el uso de materiales reciclados

Uno de los principales retos es el impacto ambiental asociado a la inadecuada gestión de residuos, lo que contribuye a la contaminación de suelos, ríos y mares, así como a la emisión de gases de efecto invernadero. A pesar de los avances, menos del 10% del plástico global se recicla, lo que refleja la magnitud del problema. En el ámbito social y de mercado, el uso de materiales reciclados en México enfrenta barreras significativas. Una de las más importantes es la percepción social, ya que muchos consumidores continúan asociando lo reciclado con baja calidad, mala estética o poca durabilidad. Estas percepciones reducen la demanda y limitan la inversión industrial en líneas de producción basadas en materiales reciclados.

Desde el punto de vista normativo, aunque México cuenta con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), su implementación ha sido desigual entre regiones (SEMARNAT, 2020), lo que dificulta una gestión eficiente a nivel nacional.

En el ámbito tecnológico, los materiales reciclados pueden presentar variabilidad en propiedades, degradación por uso previo, contaminación cruzada o mezclas incompatibles. Estas limitaciones afectan su desempeño y restringen su aplicación en sectores de mayor exigencia.

De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2020), los residuos sólidos urbanos en México están compuestos principalmente por materia orgánica (46%), seguidos de plásticos (12%), papel y cartón (10%), vidrio (5%), metales (5%) y otros residuos (22%), lo que implica la necesidad de estrategias diferenciadas de manejo y aprovechamiento.

5.2 Oportunidades en el uso e innovación de materiales reciclados

A pesar de estos retos, existen oportunidades claras en el aprovechamiento de residuos como recursos. En el ámbito ambiental, la reutilización de materiales reciclados permite reducir significativamente los residuos sólidos destinados a disposición final y disminuir la emisión de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, el reciclaje de plásticos puede evitar emisiones importantes de CO₂ equivalente, dependiendo del tipo de polímero y del proceso de reciclaje (United Nations Environment Programme, 2019), mientras que en el caso del aluminio se puede ahorrar hasta un 95% de la energía requerida en su producción primaria (International Aluminium Institute, 2021).

El reciclaje de plásticos como el PET también representa una oportunidad relevante, ya que reduce la contaminación en cuerpos de agua y zonas urbanas, además de disminuir la dependencia del petróleo como materia prima. Cada kilogramo de PET reciclado reduce la huella de carbono en aproximadamente 70% respecto al material virgen. En México, el volumen de PET reciclado ha crecido, especialmente en sectores



Artículo de divulgación

García-Domínguez et al., 2026

como empaques, fibras textiles y materiales compuestos.

En el sector de la construcción, el uso de materiales reciclados como fibras de PET, caucho de llantas trituradas y agregados reciclados permite disminuir la extracción de recursos naturales como arena y grava, reduciendo impactos como erosión, pérdida de biodiversidad y emisiones asociadas al transporte y procesamiento. Esto abre la posibilidad de desarrollar materiales compuestos con aplicaciones específicas, impulsando la innovación en ingeniería de materiales.

En el ámbito tecnológico, el desarrollo de procesos avanzados como reciclaje químico, pirólisis, compatibilización y formación de compuestos permite mejorar la calidad de los materiales reciclados y ampliar sus aplicaciones industriales (Babaei et al., 2024).

En México, iniciativas como ECOCE A.C. han fortalecido el acopio de materiales reciclables mediante esquemas de economía circular y colaboración con la industria, contribuyendo de manera significativa a la recuperación de envases de PET y otros materiales. De acuerdo con información institucional, el país se posiciona como uno de los referentes en América en el acopio y valorización de este tipo de residuos (ECOCE, 2025).

Asimismo, datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2025), derivados de estadísticas asociadas al Día Mundial del Medio Ambiente y basados en información disponible para 2023, muestran que en México existe una infraestructura de centros de acopio que reciben distintos tipos de materiales reciclables, entre los que destacan papel y cartón, PET, vidrio, metales ferrosos, llantas y otros residuos. Esta información evidencia avances en la gestión de residuos reciclables en el país, así como un potencial importante para incrementar las tasas

de recuperación y aprovechamiento de materiales.

6. Avances en innovación con materiales reciclados.

En México, la recolección y el reciclaje de residuos han avanzado significativamente en las últimas décadas. Actualmente, numerosas empresas se dedican a recuperar materiales como plásticos, metales, vidrio y papel. No obstante, una gran parte de las pequeñas y medianas empresas continúa limitándose a procesos básicos como lavado, triturado y peletizado en el caso de polímeros, o simplemente la reventa de chatarra metálica a grandes fundidoras para su reprocesamiento. Aunque estas prácticas representan un progreso en materia de gestión de residuos, aún resultan insuficientes para enfrentar el volumen creciente de desechos y la falta de aprovechamiento de materiales con bajo valor comercial, que continúan acumulándose en vertederos y cuerpos de agua. En este contexto, se vuelve indispensable impulsar innovación tecnológica, investigación aplicada y valorización de residuos para consolidar una economía circular real en el país.

Investigaciones recientes han demostrado que la incorporación de nanoarcillas como montmorillonita (MMT) en matrices de PET reciclado puede mejorar la dispersión de fases y la interacción interfacial en materiales poliméricos, con efectos positivos en sus propiedades mecánicas y estructurales, lo que las hace prometedoras para aplicaciones como filamentos o componentes impresos en 3D. Estudios sobre mezclas de PET con MMT han reportado mejoras en el módulo de Young y en el comportamiento a nivel microestructural cuando se emplean arcillas como agente de compatibilización en nanocomposites de PET y otras matrices poliméricas. (Abd Razak et al 2012, Belioka et al 2023)



Artículo de divulgación

García-Domínguez et al., 2026

Investigaciones recientes (Sánchez-Ramírez et al., 2024) han demostrado el potencial del tratamiento químico del PET, particularmente mediante hidrólisis alcalina, para modificar la superficie de las fibras y mejorar su adherencia en compósitos de concreto. Estos avances permiten incrementar la resistencia, la tenacidad y la durabilidad del material, lo que abre la posibilidad de su uso en infraestructura urbana.

En esta misma línea, en la Ciudad de México se desarrolla el proyecto “Desarrollo e implementación de un prototipo de material reciclado (llantas y fibras de PET) para la reparación de baches en condiciones de alta humedad con un enfoque tecnológico de detección temprana”, financiado por la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México. Este proyecto tiene como objetivo diseñar un material compuesto a partir de residuos de llantas y fibras de PET tratadas, optimizando su adherencia y resistencia mecánica en condiciones críticas de servicio. Además, incorpora un enfoque tecnológico para la detección temprana de fallas en pavimentos, integrando ciencia de materiales con soluciones urbanas de alto impacto social. Este tipo de iniciativas representa un claro ejemplo de cómo la investigación aplicada puede traducirse en soluciones reales para problemáticas locales.

Asimismo, en México se han desarrollado alternativas en el uso de biopolímeros obtenidos a partir de residuos agroindustriales, como cáscaras de maíz, fibras de agave y bagazo de caña, los cuales pueden sustituir plásticos convencionales en aplicaciones de un solo uso. Estas investigaciones reflejan una tendencia hacia materiales más sostenibles y con menor impacto ambiental.

En el sector industrial, algunas empresas mexicanas han implementado sistemas de construcción basados en bloques y paneles

elaborados con residuos plásticos reciclados, con aplicaciones en vivienda social. Estos materiales presentan ventajas en términos de aislamiento térmico, resistencia y rapidez de instalación, lo que los posiciona como una alternativa viable frente a materiales tradicionales (González & Pérez, 2021).

A nivel de política pública y financiamiento, programas como los bonos verdes y fondos estatales han comenzado a impulsar proyectos de economía circular, fortaleciendo la vinculación entre academia, industria y gobierno (CIEP, 2023).

7. Conclusiones

El uso de materiales reciclados permite reducir la huella de carbono, disminuir el consumo energético y sustituir materias primas vírgenes en diversos procesos industriales. No obstante, su implementación enfrenta limitaciones técnicas asociadas a la variabilidad de propiedades, la contaminación de residuos y la degradación de polímeros durante el reciclaje. Superar estos desafíos requiere el desarrollo de tecnologías avanzadas, así como marcos regulatorios e incentivos económicos adecuados que favorezcan su adopción.

En el contexto mexicano, el fortalecimiento de la investigación, la innovación industrial y la educación ambiental resulta fundamental para consolidar un modelo de economía circular que transforme los residuos en recursos estratégicos. Este proceso no depende únicamente del avance científico, sino también de factores sociales, económicos y normativos. Por ello, es necesario impulsar una cultura del reciclaje, mejorar los sistemas de separación y valorización, y promover políticas públicas que incentiven la colaboración entre sectores. En México el aprovechamiento de materiales reciclados es un tema de gran relevancia debido a la elevada generación de residuos y las limitaciones en su gestión. Su implementación permite reducir la presión sobre los sitios de disposición final, mitigar impactos ambientales y disminuir la



Artículo de divulgación

García-Domínguez et al., 2026

dependencia de materias primas vírgenes. Asimismo, impulsa el desarrollo de cadenas productivas, la innovación tecnológica y la generación de empleo, consolidándose como una estrategia clave para avanzar hacia un modelo de desarrollo sostenible en el país.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero e institucional de la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTEI) de la Ciudad de México para el desarrollo del proyecto 5234c25, bajo el convenio SECTEI/190/2025. Asimismo, se agradece a la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, por el apoyo en el uso de la infraestructura.

Declaraciones y afirmaciones

Fondos: La investigación de este proyecto es financiada por la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTEI) de la Ciudad de México para el desarrollo del proyecto 5234c25, bajo el convenio SECTEI/190/2025.

Conflicto de interés: Los autores no declaran conflicto de interés.

Aprobación ética: No aplica

Consentimiento para participar: No aplica

Consentimiento para publicar: No aplica

Disponibilidad de los datos: Contactar al autor de correspondencia para solicitar información acerca de este estudio.

Contribución del autor: Giovanni García Domínguez: Investigación, curación de datos, análisis formal, visualización, redacción – borrador original. Luis Enrique Francisco Martínez: metodología, validación, análisis formal, redacción – revisión y edición. Joan Reyes Miranda: Metodología redacción – revisión y edición, validación, apoyo en visualización. Aristeo Garrido Hernández: conceptualización,

metodología, supervisión, administración del proyecto, redacción – revisión y edición, adquisición de financiamiento, administración del proyecto, supervisión.

Los autores leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.

Referencias

1. Abd Razak, M. Z., Arsad, A., Rahmat, A. R., & Hassan, A. (2012). Influencia de la MMT como refuerzo en el comportamiento reológico, propiedades mecánicas y morfológicas de nanocompuestos termoplásticos reciclados de PET/ABS. *Journal of Polymer Engineering*, 32(2), 177–183. <https://doi.org/10.1515/polyeng-2011-0125>
2. Babaei, M., Jalilian, M., & Shahbaz, K. (2024). Reciclaje químico del tereftalato de polietileno: Una mini-revisión. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(3), 112507. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112507>
3. Belioka, M.-P., Markozanne, G., Chrissopoulou, K., & Achilias, D. S. (2023). Reciclaje avanzado de residuos plásticos: Efecto de la arcilla en el comportamiento morfológico y térmico de mezclas sostenibles recicladas PET/PLA. *Polymers*, 15(14), 3145. <https://doi.org/10.3390/polym15143145>
4. Cao, G. (2021). *Nanoestructuras y nanomateriales: Síntesis, propiedades y aplicaciones* (2.a ed.). World Scientific.
5. Carbios. (s. f.). *Reciclaje enzimático: Eliminando las limitaciones de los procesos actuales*. <https://www.carbios.com/en/enzymatic-recycling>
6. Centro de Investigación Económica y Presupuestaria (CIEP). (2023). *Bonos sostenibles en México: Nuevos objetivos y financiamiento público*. <https://ciep.mx>



Artículo de divulgación

García-Domínguez et al., 2026

7. Cruz Sánchez, F. A., Boudaoud, H., Camargo, M., & Pearce, J. M. (2020). Reciclaje de plásticos en manufactura aditiva: Revisión sistemática y oportunidades para la economía circular. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121602>
8. Dhakal, H. N., Khan, S. H., Alnaser, I. A., Karim, M. R., Saifullah, A., & Zhang, Z. (2024). Potencial de fibras de palma datilera como refuerzo sostenible para biocompuestos: Una revisión. *Macromolecular Materials and Engineering*, 309(2), 2400081. <https://doi.org/10.1002/mame.202400081>
9. ECOCE A.C. (2025). *Cifras del reciclaje en México*. <https://ecoce.mx/>
10. ECOCE. (s.f.). *Reciclaje de PET en México y economía circular*. Recuperado de <https://www.ecoce.mx>
11. Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Completando el panorama: Cómo la economía circular aborda el cambio climático*. Ellen MacArthur Foundation.
12. European Commission. (2018). *Attitudes of European citizens towards the environment*. <https://ec.europa.eu>
13. European Commission. (2018). *Attitudes of European citizens towards the environment*. Publications Office of the European Union. <https://ec.europa.eu/comfrontoffice/publicopinion/index.cfm/Survey/getSurveyDetail/instruments/SPECIAL/surveyKy/2156>
14. Fraternali, F., Ciancia, V., Chechile, R., Rizzano, G., Feo, L., & Incarnato, L. (2011). Estudio experimental de las propiedades termomecánicas del concreto reforzado con fibras de PET reciclado. *Composite Structures*, 93(9), 2368–2374. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2011.03.025>
15. Huang, Y., Bird, R. N., & Heidrich, O. (2007). Revisión del uso de residuos sólidos reciclados en pavimentos asfálticos. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(1), 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.02.002>
16. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2023. Módulo de residuos sólidos urbanos. <https://www.inegi.org.mx>
17. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2025). Estadísticas a propósito del Día Mundial del Medio Ambiente (5 de junio). https://www.inegi.org.mx/contenidos/salade prensa/aproposito/2025/EAP_MedioAmb_25.pdf
18. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2024). Estadísticas a propósito del Día Mundial del Medio Ambiente (5 de junio). INEGI. <https://www.inegi.org.mx>
19. International Aluminium Institute. (2021). Aluminium recycling. <https://www.world-aluminium.org>
20. International Aluminium Institute. (2021). Reciclaje de aluminio y cambio climático. <https://international-aluminium.org>
21. Knezevich Yáñez, C. A., Plúa Marcillo, A. J., Murillo Álava, P. F., & Salgado Granda, B. A. (2025). Uso de materiales reciclados en la construcción sostenible. *Revista Social Fronteriza*, 5(2), e638. [https://doi.org/10.59814/resofro.2025.5\(2\)638](https://doi.org/10.59814/resofro.2025.5(2)638)
22. Loop Industries. (s. f.). Tecnología. <https://loopindustries.com/technology/>
23. Martínez, L., & Ortega, R. (2022). Percepciones sociales sobre el consumo de



Artículo de divulgación

García-Domínguez et al., 2026

- productos reciclados: Un análisis comparativo. Revista Iberoamericana de Estudios Ambientales, 18(3), 55–70.
24. Morales-Guzmán, C. C., & Ceballos-Vargas, J. (2025). Propuesta de diseño de una mezcla de concreto PET para utilizarlo en la elaboración de mobiliario urbano. Revista de Arquitectura, 27(1), 45–64. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2025.27.558>
25. Neusus Urban. (2024). Neucrete: hormigón sostenible a partir de neumáticos fuera de uso. Presentado en la Feria Internacional del Urbanismo y del Medioambiente (TECMA 2024).
26. Ochi, T., Okubo, S., & Fukui, K. (2007). Desarrollo de fibras recicladas de PET y su aplicación como refuerzo en concreto. Cement and Concrete Composites, 29(6), 448–455. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.02.002>
27. ONU Medio Ambiente. (2019). Perspectivas del medio ambiente mundial. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
28. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2020). Improving plastics management: Trends, policy responses, and the role of international co-operation. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/efb4b22a-en>
29. Orsua Gaona, R. R. G., Narro Céspedes, R. I., Pérez Aguilar, N. V., Luévanos Escareño, M. P., & Mora Cortés, L. F. R. (2022). Modificación superficial de PET reciclado con plasma para el tratamiento de fenoles en aguas residuales. Cienciaviva, 18(70), 181–211.
30. Pivsa-Art, S., Sunyikhan, N., & Pivsa-Art, W. (2022). Hilos multifilamento bicomponente de PET reciclado para fabricación de alfombras: Efecto del dopaje con nano-TiO₂. Journal of Industrial Textiles. <https://doi.org/10.1177/15280837211011774>
31. Plastics Europe. (2022). *Plásticos: Datos 2022*. <https://plasticseurope.org>
32. Poole, C., & Owens, F. (2020). Introducción a la nanotecnología. John Wiley & Sons.
33. Rosales, G. (2022, septiembre 9). Materiales de construcción acumulan alza de 30% en precios. Real Estate Market y Lifestyle. <https://realestatemarket.com.mx>
34. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/diagnostico-basico-para-la-gestion-integral-de-los-residuos>
35. Silva Herrera, R., & Ochoa González, G. H. (2019). Integración de PET reciclado a flexión en un elemento constructivo de concreto. Vivienda y Comunidades Sustentables. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i6.106>
36. United Nations Environment Programme. (2019). Global environment outlook – GEO-6: Healthy planet, healthy people. Cambridge University Press.
37. VICA NFU. (s.f.). Estos son los mejores usos industriales del NFU reducido y reciclado. Recuperado de <https://vicanfu.com/estos-son-los-mejores-usos-industriales-del-nfu-reducido-y-reciclado/>
38. World Bank. (2018). What Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>