

# El reciclaje de plásticos, un reto para lograr una economía circular

## *Plastic recycling, a challenge to achieve a circular economy*

María José Valarezo-Ulloa<sup>1,\*</sup> y Lazaro Ruiz-Virgen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Análisis Químico, Universidad Nacional de Loja, Ciudadela Guillermo Falconi. Loja, Ecuador

<sup>2</sup> Escuela de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Zacatenco, Gustavo A. Madero. Ciudad de México, México, [esiqie\\_posgrado@ipn.mx](mailto:esiqie_posgrado@ipn.mx)

\* Autor para correspondencia: [laboratorio.quimico@unl.edu.ec](mailto:laboratorio.quimico@unl.edu.ec)

Fecha de recepción del manuscrito: 11/03/2022    Fecha de aceptación del manuscrito: 01/09/2022    Fecha de publicación: 29/12/2022

**Resumen**—La eliminación de la contaminación por plásticos es una de las bases del surgimiento de una economía circular. La alta demanda de este tipo de materiales, el crecimiento per cápita y una falta de conciencia por parte de los consumidores están llevando consigo al planeta a un desastre ambiental, a tal punto que cantidades microscópicas de este material ya se encuentran presentes en las cadenas tróficas del planeta. Se han presentado varias soluciones al problema y aún se desconoce cuáles serían las medidas a seguir si queremos alcanzar la conservación del ambiente y disminuir la crisis por plástico. Esto unido a la falta de políticas públicas, la falta de apoyo de la población y el uso desmedido de plástico en los diferentes sectores industriales hace que su producción y transporte representen una de las mayores fuentes de emisiones de  $CO_2$  a la atmósfera. Ante esta realidad, el reciclaje de plásticos dentro de una economía circular es una alternativa prometedora que llevará consigo la articulación de todos: compañías, recicladores, gobiernos, ONGs y población, para lograr alcanzar un sistema sólido y demostrar que los residuos plásticos tienen un valor y vale la pena el desarrollo de nuevas tecnologías para su reciclaje.

**Palabras clave**—Reciclaje, Plásticos, PET, Economía circular.

**Abstract**—The elimination of plastic pollution is one of the bases for the emergence of a circular economy. The high demand for this type of material, per capita growth and a lack of awareness on consumers are leading the planet to an environmental disaster, to the point that microscopic amounts of this material are already present in food chains of the planet. Several solutions to the problem have been presented but it is unknown what measures to follow if we want to achieve environmental conservation and reduce the plastic crisis. All this, together with the lack of public policies and support from the population, as well as the excessive use of plastic in the different industrial sectors means that its production and transport represent one of the largest sources of  $CO_2$  emissions into the atmosphere. Faced with this reality, the recycling of plastics within a circular economy is a promising alternative that will entail the articulation of all: companies, recyclers, governments, NGOs and the population, in order to achieve a solid system and demonstrate that plastic waste has a value, and it is worth the development of new technologies for its recycling.

**Keywords**—Recycling, Plastics, PET, Circular economy.

## INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento de la producción de plásticos ha sido extraordinario, ubicándose entre los materiales más versátiles hechos por el hombre, junto al cemento y al acero. La demanda global antrópica de este material es enorme, lo que ha determinado que su producción haya aumentado desde los 2 millones de toneladas métricas en 1950 a aproximadamente 831 t en los últimos años (Geyer et al., 2017). De hecho, en los últimos diez años se ha producido más plástico que en toda la historia de la humanidad (Crawford y Quinn, 2017). Según datos de la Organización de Naciones Unidas, el uso del plástico ha aumentado, y no solo por el uso de mascarillas, guantes y desechos médicos, sino por el uso de plásticos de un solo uso: polímeros como el polietileno de

alta densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno (PP) y polietileno tereftalato (PET) utilizados para la elaboración de envases, empaques, botellas, etc. Solo los fabricantes de bebidas producen más de 500 mil millones de botellas de plástico de un solo uso cada año (Samaniego et al., 2021).

Los plásticos de larga duración también representan un rubro importante en las distintas áreas que se emplean, como industria, electrónica, agricultura y comunicación. Alrededor del 25% del total del plástico se destina para este fin en la elaboración de tuberías, cableado eléctrico, paneles, láminas y mueblería. En la industria automotriz el plástico ha venido a reemplazar al acero, volviendo sus partes más livianas y por ende el menor uso de combustible para su movilización. Otro consumidor importante de plástico es el sector de

la construcción, utilizando el 69% del total de producción de policloruro de vinilo (PVC) para tuberías (Geyer et al., 2017).

Si la demanda de plásticos continúa a este ritmo, para el año 2050 habremos superado las 35000 t entre fibras sintéticas, resinas, PE, PP, PET, PVC, poliésteres, HDPE, LDPE, poliamidas y acrílicos. Sin embargo, lo alarmante es que bajo esta misma tendencia y con un modelo de producción económica lineal que ignora las alternativas de uso de residuos plásticos, para el año 2050 se habrán reciclado alrededor de 6000 t y el doble de esta cantidad se habrá incinerado, depositado en rellenos sanitarios y descartados al ambiente (Ecodes, 2019a; Sankaran, 2019).

En el presente artículo se analizan datos sobre la producción de plásticos por región a nivel global, datos de generación de desechos plásticos por países y porcentajes de plástico reciclado a nivel mundial con el fin de tener una visión más clara del ciclo de vida de los plásticos y su disposición final, y cómo podrían incluirse en un sistema cerrado de producción con visión de economía circular.

## CICLO DE PLÁSTICOS A NIVEL GLOBAL

Los plásticos se derivan casi en su totalidad de productos petroquímicos (aceite y gas fósil). El primer paso para crear un producto plástico es la extracción de petróleo crudo o gas metano: se estima que alrededor del 4-8% del petróleo global se utiliza como materia prima para la producción de plástico y más del 6% en su manufactura (Hopewell et al., 2009). Todos los métodos de extracción de combustibles fósiles imponen costos masivos y contaminación para las comunidades cercanas. En el 2015 la producción de plásticos emitió alrededor de 1,7 gigatoneladas de  $CO_2$  y se proyecta que para el 2050 esta cifra se triplique a aproximadamente 6,5 gigatoneladas, un 15% del presupuesto mundial de carbono (Crawford y Quinn, 2017).

Después de la extracción de combustibles fósiles, las materias primas se envían a una refinería. Los objetivos del refinamiento son derivar los componentes básicos para la producción de plástico: etano del petróleo crudo y propano del gas natural. En una planta de craqueo, el etano y el propano se descomponen químicamente en etileno y propileno y a través de procesos de polimerización catalizada se producen resinas o plásticos premanufacturados. A estos se agregan aditivos, retardantes de calor, plastificantes y estabilizadores para finalmente tener un producto plásticos terminado para las distintas áreas de empleo (Zhen y Suh, 2019).

Los plásticos terminados se dirigen a los distintos nichos de mercado donde permanecen dependiendo de su tiempo de vida útil, que podría ir de un año como materiales para empaque a 50 años como en el caso de plásticos para la construcción y áreas afines. El tiempo de vida útil se determina por el tipo de polímero empleado y el estrés que soporta el material plástico. Al terminar su vida útil estos son manejados de diferentes formas a nivel particular, organizacional, empresarial o gubernamental; o desechados ya sea en vertederos municipales, rellenos sanitarios, incinerados o reciclados (Wang et al., 2021). En la Figura 1 se esquematiza el ciclo de vida útil de un plástico.

El ciclo de vida del plástico ha sido un sistema de producción lineal, donde los desechos no se consideran en su mayor

parte como materias primas para el comienzo de un nuevo ciclo. Además, se ha reportado (Wang et al., 2021) que sus eslabones de producción generan una cantidad considerable de residuos durante su manufactura y estos se sumarían a la etapa final de disposición de estos materiales.

Asia es la región con mayor producción de plásticos, siendo responsable de la mitad de la producción (51% del total) como se muestra en la Figura 2, seguido por América del Norte con un 18% y Europa con un 17% (Mena, 2021a).

Se estima que alrededor de 2500 t de plástico se encuentran actualmente en uso y que alrededor de 6300 t de desechos plásticos se están produciendo. De esta cantidad más del 50% de desechos se descartan y se encuentran dispersos en el ambiente (Haward, 2018; Zhen y Suh, 2019).

Debido a la creciente demanda sobre el manejo de los desechos plásticos, más de 88 países y regiones han introducido políticas o medidas económicas regulatorias para mejorar la gestión de desechos, promover el reciclaje, reducir el uso de ciertos productos plásticos, imponer impuestos, generar prohibiciones sobre plásticos de un solo uso y disminuir importaciones de bolsas y residuos plásticos (Wang et al., 2021). Gracias a estos esfuerzos, el descarte de desechos plásticos bajó alrededor de un 50% en 2015 (Geyer et al., 2017). Sin embargo, hasta el 80% de los desechos plásticos aún no se gestionan adecuadamente, especialmente en economías emergentes y en desarrollo como China, Sri Lanka, Filipinas y Vietnam (Wang et al., 2021).

El problema de los plásticos es que las mismas propiedades que los vuelven tan versátiles como resistencia, durabilidad y permeabilidad, son las que hacen que su descomposición en la naturaleza se vuelva tan difícil. Esto, unido a la falta de estrategias claras para la manipulación de desechos plásticos provocan que el manejo final de estos residuos sea un tema de preocupación actual. Se necesita una variedad de datos para caracterizar las existencias y flujos de plásticos a lo largo del espacio, el tiempo y el ciclo de vida, y poder desarrollar estrategias que permitan abordar el desafío de una producción sostenible de plásticos y un mejor manejo de sus desechos.

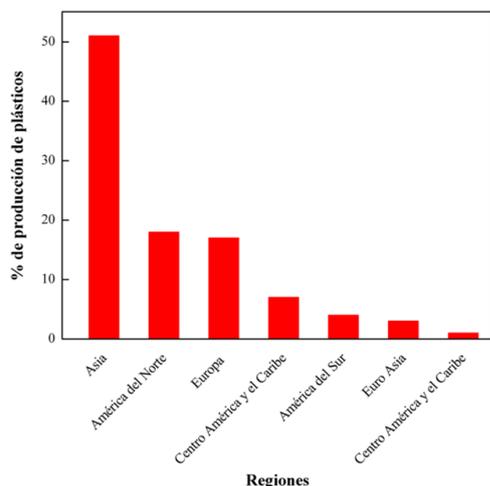
Los dos países que generan la mayor cantidad de desechos a nivel global son China e India, produciendo alrededor del 50% de los residuos plásticos (Fig. 3). Estos países a pesar de ser los más poblados del mundo presentan una cantidad de plástico desechado por persona que varía notablemente entre ellos. En India una persona genera alrededor de 4 kilos de desechos, mientras que en China cada persona produce alrededor de 18 kilos. Debido a esto China se ha convertido en uno de los mayores exportadores de desechos plásticos a nivel global cuyo transporte genera emisiones de  $CO_2$  que restan calidad al ambiente. India por su parte aún presenta un sistema de recolección de desechos muy precario (Our World in data, 2019; Mena, 2021b).

## DISPOSICIÓN FINAL DE LOS PLÁSTICOS

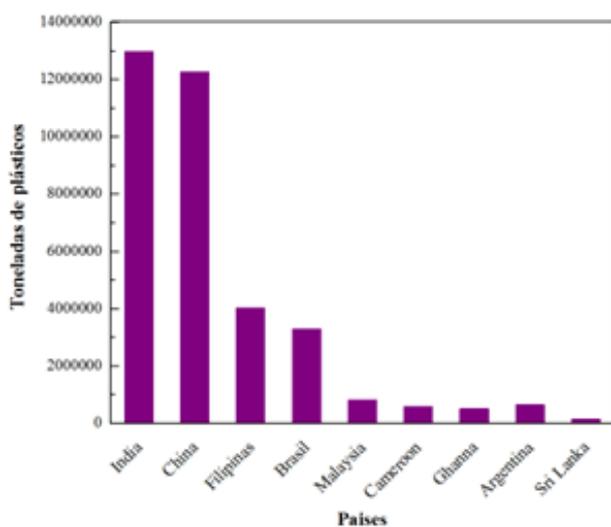
De todos los sectores en los que el plástico es necesario, la industria del embalaje y empaque constituye el porcentaje más representativo a nivel global, teniendo como excepción China e India que presentan un porcentaje de producción de plástico mayor en el sector de la construcción y mueblería respectivamente (Wang et al., 2021). Sin embargo, aún en la



**Fig. 1:** Ciclo de vida de los plásticos según artículo de Wang et al. (2021).



**Fig. 2:** Distribución Global de la Producción de Plástico según datos de Plastics Europe (2021).



**Fig. 3:** Plásticos desechados a nivel mundial, según datos de Our World in data (2019).

actualidad la recolección de cifras exactas sobre la cantidad de plásticos y desechos es insuficiente, esto debido a que las cantidades varían de una organización a otra o de un país a otro, haciendo más difícil su cuantificación.

La cantidad de desechos que se generan también dependerá del tiempo de vida útil de cada plástico, es decir, para qué fue diseñado. Por ejemplo, las fundas plásticas tienen un tiempo de vida útil estimado de un año, mientras que los materiales para la construcción, industria, agricultura o mueblería tienen un tiempo de vida útil de uno hasta 50 años (Sankaran, 2019).

En la naturaleza, ninguno de los plásticos de origen fósil

(cadenas poliméricas carbono-carbono) se degradan de manera significativa, sus vías y productos de degradación dependerán del tipo de polímero empleado para su fabricación, que por acción de rayos ultravioleta y oxígeno se debilitan y las cadenas poliméricas se rompen, fragmentando el material en pequeños pedazos de plástico que pueden desintegrarse en millones de microplásticos que presentan cadenas de polímeros más cortas, susceptibles a biodegradarse o incorporarse dentro de las cadenas tróficas en forma de monómeros, oligómeros y nuevos grupos de ácidos carboxílicos (Gewert et al., 2015). Se ha reportado que ingresan alrededor de 8 t de macroplásticos y 1,5 t de plásticos primarios a los océanos. (Geyer et al., 2017; Lau et al., 2020; Ding et al., 2022). Sin embargo, la contaminación en tierra es aún mucho mayor representando más del 95,3% (>516,9 millones de toneladas métricas) de la cantidad de plásticos que se desecha a nivel mundial (Atsuhiko & Shinsuke, 2022).

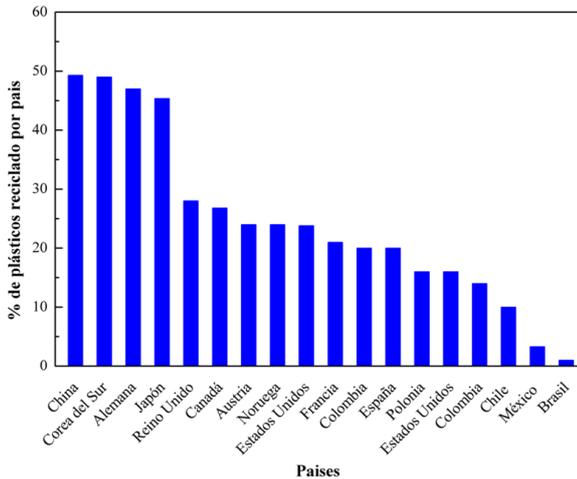
Estos pequeños fragmentos de plástico (>100 nm) ingresan al ambiente a través de ríos, deslizamientos, viento, desechos, carga perdida, artículos de pesca, desperdicios de construcción, fibras, etc, y dependiendo de la composición química de los polímeros que los constituyen, pH y temperatura, estos podrán liberar en la fauna y flora componentes nocivos, como aditivos, plastificantes, retardadores de flama y otros agentes químicos que se derivan de su manufactura (Law & Thompson, 2014). A pesar de este hecho, lo más impactante es que de la totalidad del plástico producido hasta hoy desde el inicio de su producción masiva, alrededor de 9000 t, únicamente se ha reciclado alrededor de un 9% (Ecodes, 2019b).

Los bioplásticos se han vuelto un rubro importante dentro de la disposición final de desechos. Existen tres tipos de bioplásticos: de origen biológico y biodegradables (PLA, PHAs y TPS), de origen biológico y no biodegradables (bio-PET y bio-PE) y de recursos fósiles y biodegradables, lo cual hace que la disposición final sea distinta y que su proceso de degradación dependa de las condiciones de su entorno como temperatura, exposición a la luz ultravioleta y oxígeno, derivándose procesos de compostaje industrial, dentro de los hogares, en el suelo o en el mar. Además, ciertos tipos de bioplástico necesitan de microorganismos apropiados para que el proceso de degradación se lleve a cabo (Hopewell et al., 2009; Ahmed et al., 2022).

El uso de bioplásticos no solucionará por completo la crisis que provoca la contaminación por plástico, sin embargo, se ha reportado que su producción sí permitiría que las emisiones de CO<sup>2</sup> disminuyan comparadas con las generadas por plásticos de origen fósil. Se estima que si se substituye más de la mitad de la producción de plásticos de origen fósil por bioplásticos, se evitarían alrededor de 100 t de CO<sup>2</sup>. (Rosenboom et al., 2022; Sankaran, 2019).

## RECICLAJE DE MATERIALES PLÁSTICOS

Desde que inició el reciclaje en 1970, la cantidad de plástico reciclado varía geográficamente dependiendo del tipo de plástico y la aplicación. Actualmente, China y Corea del Sur ganan los primeros lugares a nivel mundial, al reciclar alrededor del 50% de desechos plásticos. Van seguidos de Alemania y Japón, reciclando un 47% y Reino Unido y Canadá con un porcentaje de 28 y 26%, respectivamente (Figura 4).



**Fig. 4:** Porcentaje de plástico reciclado por países, según datos de Waste Atlas (2022).

Dado todos los recursos y la energía utilizada para producir cada producto plástico, es importante que se use y deseche de manera responsable cualquier tipo de este material. Existen tres formas de manejar los desechos plásticos. La primera de ellas es por procesos de reciclaje o reutilización, omitiendo el destino final para el que fue hecho el plástico, dándole un nuevo uso mediante procesos físicos de termoformado. La segunda forma es la destrucción térmica o descomposición química, en la que el aspecto primordial es el control de las emisiones gaseosas nocivas; actualmente se están introduciendo procesos de pirólisis para obtener un mayor provecho de este proceso y la fabricación de biodiesel. Y la tercera forma es la acumulación en rellenos sanitarios, en vertederos a cielo abierto o depositados en el ambiente natural (Chidepatil et al., 2020).

No todos los plásticos que nos rodean pueden ser reciclados o reutilizados. De manera general, los plásticos se clasifican en termoplásticos y termoestables dependiendo de su comportamiento al cambiar su temperatura. El primero puede fundirse, volviéndose más flexible al aumentar su temperatura, mientras que el segundo combustiona.

Los termoplásticos representan alrededor del 85% de toda la producción de plásticos a nivel mundial y son los que mayormente se utilizan para proceso de reciclaje. Los termoplásticos incluyen PE, PP, PS, PVC, PET y poliestireno expandido (EPS). Este tipo de polímeros son la materia prima para plásticos de diferentes sectores como la construcción, industria, transporte, mobiliario, alimentos, embalaje, instrumentos médicos, textiles, envases y bebidas que pueden ser reutilizados (Khalid et al., 2022).

Lau et al. (2020) ha reportado que a través de un sistema sólido de reciclaje se podría llegar a disminuir la contaminación producida por este tipo de plásticos hasta en un 78%,

sin embargo, también reporta que alrededor de 710 t estarían aun descargándose en los océanos y ecosistemas terrestres. Por ello, para lograr disminuir la acumulación de residuos plásticos, además de un sistema sólido de reciclaje, se debe enfatizar en un menor consumo de plásticos, la reutilización de artículos de uso masivo, la generación de un sistema de eliminación seguro de residuos tóxicos y la innovación en la cadena de valor del plástico dentro de una economía circular. El mismo autor reporta que al disminuir la producción de alrededor de 1 t de plástico virgen, se reduciría un promedio de 0,0088 t de desechos plásticos a los océanos. Además, al no procesar nuevas cantidades de plástico virgen o en forma de resina, Zheng y Suh (2019) manifiestan que mediante procesos de reciclaje las emisiones de  $CO_2$  disminuirían alrededor de un 25% sobre la línea base.

Dentro del reciclaje de plásticos, existen cuatro categorías: la primera de ellas es el reciclaje primario o de ciclo cerrado, en el que se obtienen plásticos de la misma calidad del desecho reciclado, la segunda corresponde al reciclaje secundario o degradado que involucra la elaboración de plásticos de menor calidad que sus predecesores, la tercera es la que involucra procesos químicos de polimerización y la cuarta es la que tiene como objetivo final la obtención de energía o biodiesel (Ellis et al., 2021).

Actualmente existen en el mundo diferentes sistemas de reciclaje, por ejemplo los sistemas de depósito por la devolución de los envases para botellas de PET en Alemania, recolección de botellas de refrescos en Sudáfrica, así como modelos que prevén la participación financiera de la industria y el comercio en la recolección de envases plásticos, sin embargo el objetivo del reciclaje de plásticos va más allá. La clasificación de los residuos plásticos en los hogares de las distintas ciudades representa un núcleo de reciclaje que aún deja mucho que desear, lo que dificulta el proceso de reciclaje y por ende la demanda de mayores recursos económicos (Lett, 2014; Lau et al., 2020).

En cuanto a la cantidad de residuos plásticos que se importan y exportan a nivel mundial no se presentan datos exactos, se estima que fue alrededor de 2 t a 4 t en el año 2019, sin embargo, se observa que si la cantidad de residuos que importa un país es igual a la cantidad que exportó el país procedente, la cantidad de flujo de residuos plásticos a nivel global sería cero. Es por ello que el principio de responsabilidad compartida entre gobierno, industria y sociedad constituye la pieza clave, además de tener la idea clara de reducir el consumo de este tipo de material (Lau et al., 2020).

## RECICLAJE DE PLÁSTICOS Y ECONOMÍA CIRCULAR

El reciclaje de materiales de residuos plásticos obedece el principio de la química o chemia que significa mezcla o fusión, y al de los antiguos griegos en que un compuesto se puede transformar en otro (Demets et al., 2021). A este concepto también se apega el significado de economía circular, al enfocarse en un ciclo de vida de transformación cerrado específico de cada tipo de material plástico durante su manufactura, vida útil y disposición final, donde se integran actividades circulares de diseño, uso, reutilización y reciclaje en las cadenas de valor de los plásticos, mostrando una visión, donde el plástico nunca se convierte en desperdicio (Brias-

soulis et al., 2021; Shamsuyeva & Endres, 2021).

La Estrategia de la Unión Europea para el plástico en una economía circular, lanzada en enero de 2018, es el primer marco político que adopta un enfoque que contribuye a la transición hacia una economía circular y a la consecución de los objetivos 12 y 13 de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (Ecodes, 2019b; ONU, 2018):

*Objetivo 12. Producción y consumo responsable. Meta 12.5. De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización. Objetivo 13. Acción por el clima. Meta 13.2 Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana (Ecodes, 2019c, p. 14-15)*

En el mismo año 2018, más de 250 organizaciones, entre las que se incluyen algunos de los mayores productores de envases plásticos del mundo, compañías, recicladores, gobiernos y ONGs firmaron un acuerdo, el Compromiso Global por la nueva Economía de los Plásticos (New Plastics Economy Global Commitment), para hacer frente a los desechos plásticos y erradicar la contaminación en su origen (Ecodes, 2019d).

Sin embargo, para lograr estos objetivos el sistema de reciclaje debe ser optimizado, ya que de momento no existe ningún rincón del planeta donde el reciclaje esté en pleno desarrollo. La falta de integración de tecnologías que permitan limpiar, clasificar, triturar y volver a transformar los desechos plásticos, ha ocasionado un déficit de vinculación entre los procesos de recolección, reciclaje y producción del sector empresarial y de gobierno, al desconocer qué cantidades de plástico reciclado puede obtener y las ganancias del proceso. Esto junto a la desinformación que tiene la población en cuanto a cómo puede separar sus residuos plásticos, hace que el sistema de reciclado presente un camino difícil, mas no imposible.

Entonces, ¿cuáles serían los plásticos claves para reducir la contaminación ambiental y lograr una economía circular? Plásticos elaborados a partir de polímeros termoplásticos como PET, PE y PP, todos ellos tienen un alto potencial para ser mecánicamente reciclados. Por otro lado, polímeros termoestables como poliésteres y resinas pueden ser triturados y utilizados como materiales de relleno (Costa et al., 2021).

Actualmente, algunos países están viviendo la transición de pasar de una economía de producción lineal de plásticos por un modelo mas sostenible. El modelo lineal sigue un camino unidireccional de extracción de materias primas, “fabricar, usar y desechar”, mientras que en un modelo de economía circular, los materiales plásticos se utilizan el mayor tiempo posible y después se recuperan y se regeneran nuevos materiales. Un modelo de producción económico circular representa un forma de mejorar la competitividad y la eficiencia de materia prima disponible.

Existen varias opciones dentro de un marco de economía circular que se pueden enfatizar para lograr este objetivo: mejorar los sistemas de recolección de desechos plásticos, desarrollar nuevas tecnologías de innovación, disminuir el área de rellenos sanitarios, diseñar nuevos productos, incluir opciones de ecodiseño, disminuir el consumo de materiales fósiles, disminuir las emisiones de  $CO_2$  y aprovechar mejor el biogas. Este sistema podría ser aplicable incluso en países

donde los sistemas de recolección de desechos son deficientes, ya que representa una opción motivadora para aumentar la cadena de valor de los desechos plásticos a nivel mundial, a la par que se pondría freno al uso desmedido de plásticos y a la contaminación generada por su consumo.

## CONCLUSIONES

Tras la recopilación de datos del presente artículo se ha podido concluir que la integración de la energía, el reciclado y la disminución de la huella de carbono son pilares para lograr una economía circular sostenible. El crecimiento acelerado de la población y el poder adquisitivo son factores que han hecho del plástico un material ubicuo, sin contar con las ventajas que este tipo de material presenta, su uso desmedido y una baja preocupación por parte de la población ha llevado a hacer un llamado de atención oportuno para salvaguardar la integridad del planeta.

En teoría es posible obtener un ciclo cerrado de reciclaje de la gran mayoría de plásticos, sin embargo, debido a la amplia gama de diferentes tipos de polímeros y otros materiales como metales, pigmentos, tintas o adhesivos, el proceso se vuelve difícil. El objetivo de un ciclo cerrado de reciclaje dentro de una economía circular solo se logrará si existe una mejor clasificación de los materiales plásticos y una optimización de los procesos que involucran el reciclaje como la reducción de tamaño y triturado de los materiales y la optimización de los procesos de lavado.

Lamentablemente se puede encontrar información completa sobre la producción, ciclo de vida y disposición final de los plásticos solo de los grandes productores a nivel mundial como China, Japón, Noruega, el grupo del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, Turquía y Brasil, y para el resto de países la información se encuentra incompleta o desactualizada. Además, mucha de la información difiere de una fuente a otra, incluso dentro del mismo país, lo que llega a enfatizar que la mayoría de países no tiene un sistema sólido de manejo de desechos plásticos, perdiendo la oportunidad de reintegrarlos en un ciclo cerrado de economía circular.

No hay que olvidar que el objetivo principal es proteger el ambiente al tiempo que se sientan las bases sólidas de una nueva economía del plástico, en la que la producción y el diseño respeten las necesidades de reutilización, reparación y reciclaje con la elaboración de materiales de calidad y más sostenibles. Los sistemas de reciclaje de plásticos deben ser sólidos y garantizar la participación de todas las partes involucradas y necesarias para lograr un proceso de reciclaje sustentable. Por lo tanto, queda como meta el reducir el consumo de plásticos de un solo uso y si esta idea aún es muy lejana, apostar por las nuevas tecnologías de reciclaje, para lograr el máximo desarrollo de una economía circular.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores queremos agradecer al apoyo institucional brindado por el Laboratorio de Análisis Químico de la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional de Loja y la Escuela de Ingeniería Química e Industrias Extractivas ESQIE del Instituto Politécnico Nacional.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: MJVU y LRV; metodología: MJVU; análisis formal: MJVU; investigación: MJVU y LRV; recursos: MJVU; curación de datos: MJVU y LRV; redacción — preparación del borrador original: MJVU; redacción — revisión y edición: MJVU y LRV; visualización: MJVU; supervisión: MJVU y LRV; administración de proyecto: MJVU; adquisición de financiamiento para la investigación: MJVU. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

María José Valarezo-Ulloa: MJVU. Lazaro Ruiz-Virgen: LRV

## FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por la Universidad Nacional de Loja, bajo el número de proyecto 13-DI-FARNR-2021 Evaluación del uso de plásticos reciclados para la obtención de materiales útiles para la construcción y la industria.

## REFERENCIAS

- Ahmed, R., Hamid, A. K., Krebsbach, A.S., Wang, D. (2022). Critical review of microplastics removal from the environment. *Chemosphere*, 1335557 (293).
- Atsuhiko I. y Shinsuke I. (2022). The fate of missing ocean plastics: Are they just a marine environmental problem?. *Science of the Total Environment*, 153935 (825).
- Briassoulis, D., Hiskakis, A. y Hiskakis, M. (2021). Organic recycling of post-consumer /industrial bio-based plastics through industrial aerobic composting and anaerobic digestion - Techno-economic sustainability criteria and indicators. *Polymer Degradation and Stability*, 109642, (190).
- Chidepatil, A., Bindra, P., Kulkarni, D., Qazi, M., Kshirsagar, M., & Sankaran, K. (2020). From Trash to Cash: How Blockchain and Multi-Sensor-Driven Artificial Intelligence Can Transform Circular Economy of Plastic Waste?. *Administrative. Sciences*. Volumen 10, 23.
- Costa, M.E., Grandera, G., Ferreira da Silvaa, J. y Gonzalez, E. (2021). Innovation projects of packaging recycling to a circular economy. *Sustainable Operations and Computers*, (2), 115-121.
- Crawford, C. B. y Quinn, B. (2017). The contemporary history of plastics. *Microplastic Pollutants*. Editorial ELSEVIER. pp. 19-37.
- Demets, R., Kets, K. V., Huysveld, S., Dewulf, J., Meester, S. D. y Ragaerta, K. (2021). Addressing the complex challenge of understanding and quantifying substitutability for recycled plastics. *Resources, Conservation & Recycling*, 105826 (171), 1-13.
- Ding, J., Sun, C., He, C., Zheng, L., Dai, D., Li, F. (2022). Atmospheric microplastics in the Northwestern Pacific Ocean: Distribution, source, and deposition. *Science of The Total Environment*. 154337
- Ecodes. (2019a). Contaminación por plásticos. Uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI. pp. 8,9.
- Ecodes. (2019b). ¿Son Los Bioplásticos La Solución A La Contaminación?. Contaminación por plásticos. Uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI. pp. 26-31.
- Ecodes. (2019c). Una estrategia europea para el plástico en una economía circular. Contaminación por plásticos. Uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI. pp. 105-107.
- Ecodes. (2019d). Grandes alianza que fomentan la economía circular de los plásticos. Contaminación por plásticos. Uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI. pp. 108-110.
- Ellis, L., Rorrer, N.R., Sullivan, K.P., Maiké, M., McGeehan, J., Román-Leshkov, Y., Wierckx, N. & Beckham, G.T. (2021). Chemical and biological catalysis for plastics recycling and upcycling. *Nature Catalysis* volume 4, 539–556.
- Gewert, B., Plassmann, M., Macleod, M. (2015) Pathways for degradation of plastics polymers floating in the marine environment. *Royal Society of Chemistry*.
- Geyer, R., Jambeck, J., Law, K. (2017) Production use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*. 3 (7)
- Haward, M. (2018). Plastic pollution of the world's seas and oceans as a contemporary challenge in ocean governance. *Nat Commun* 9, (667).
- Hopewell, J., Dvorack, R. y Kosior E. (2009) Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions Royal Society Biological Sciences*. 364.
- Khalid, M. Y., Arif, Z. U., Ahmed, W. y Arshad, H. (2022). Recent trends in recycling and reusing techniques of different plastic polymers and their composite materials. *Sustainable Materials and Technologies*, e00382 (31).
- Lau, W., Shiran, Y., Baile, R., Cook, E., Stuchtey, M., Stuchtey, M., Koskella, J., Velis, C., Godfrey, L., Boucher, J., Murphy, M., Thomson, R., Jankowska, E., Castilla, A., Pildith, T., Pilditch, T. (2020). Evaluating scenarios toward zero plastic pollution. *Science*. 6510, 369.
- Law, K. L y Thompson, R. C. (2014) Microplastics in the seas. *Science*. 345, 144.
- Lett, L.A. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Revista Argentina de Microbiología*, 46 (1), 1-2.
- Mena M. (2021a) La producción de plástico en el mundo.
- Mena, M. (2021b) ¿Qué países generan más residuos de plástico de un solo uso?.
- ONU. (2018) Organización de Naciones Unidas. Agenda 2030: 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- Our Word in data (2019). Mismatched plastic waste.
- Plastics Europe (2021). Enabling a sustainable future. *Plastics-the facts*. An analysis of European plastics production demand and waste data.
- Rosenboom, J. G, Langer, R., Traverso, G. (2022). Bioplastics for a circular economy. *Nature Reviews | Materials*. Volumen 7, 117- 137
- Sankaran, K. (2019). Carbon Emission and Plastic Pollution: How Circular Economy, Blockchain, and Artificial Intelligence Support Energy Transition? *Journal of Innovation Management*. Volumen 7, 4, 7-13
- Samaniego, J.L. Salina, C., Ruetter, J.A., Sanguinetti, J.P. y Allen, M.L. (2021) Trazabilidad y contabilidad del plás-

tico mediante el sistema A.P.A. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas.

- Shamsuyeva, M. y Endres, H.J. (2021). Plastics in the context of the circular economy and sustainable plastics recycling: Comprehensive review on research development, standardization and market. *Composites Part C: Open Access*. 100168 (6), 1-16
- Wang, Ch., Lui, Y., Chen, Wei-Qiang., Zhu, B., Qu, S. (2021) Critical review of global plastics stock and flow data. *Journal Industrial. Ecology*, 1-18. *Waste Atlas (2022)*. Recycling rate per country.
- Zheng, J. y Suh, S. (2019) Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics. *Nature climate change*. 9 374-478.