

El reciclaje de los plásticos

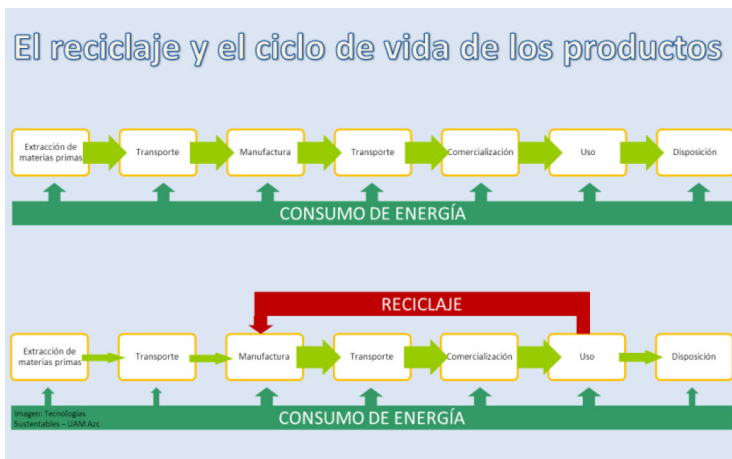
Alethia Vázquez Morillas, Rosa Ma. Espinosa Valdemar,
Margarita Beltrán Villavicencio y Maribel Velasco Pérez

Introducción

La generación de residuos y su manejo adecuado son dos de los grandes retos que enfrentan las sociedades actuales para garantizar su viabilidad y sustentabilidad. Existen diferentes estrategias para manejarlos, que buscan disminuir su cantidad y los impactos que generan en el ambiente. La mejor opción es la reducción, es decir, el modificar los procesos, actividades y patrones de consumo, de forma que se disminuya la generación de residuos. A esta opción le siguen la reutilización, el reciclaje, la valorización energética, el tratamiento y la disposición en rellenos sanitarios.



Cuando se ha disminuido hasta donde es posible la masa de residuos producidos, y ya no es factible reutilizarlos en su estado original, el reciclaje constituye la mejor opción para su manejo. El reciclaje es la transformación de los residuos a través de distintos procesos, que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos [1].



Aunque el reciclaje se considera generalmente como una forma de manejo de residuos, en realidad constituye una actividad que permite modificar todo el ciclo de vida de los productos, pues al reciclar un residuo se disminuye la necesidad de extraer y procesar nuevas materias primas. Con ello, además de evitar el agotamiento de los recursos naturales, se ahorra la gran cantidad de energía y agua requerida para obtenerlos, transportarlos y procesarlos. El reciclaje, además, puede tener importantes beneficios para las economías locales, pues disminuye la dependencia hacia las materias primas que se importan de otros países.

¿Por qué reciclar plásticos?

La presencia de plásticos en los residuos se ha incrementado de forma continua en las últimas décadas. Esto obedece a distintas causas, entre las que destaca su utilización en productos de vida útil corta que son desechados rápidamente por los usuarios; se ha estimado que alrededor del 50% de los plásticos que se producen se destina a aplicaciones de un solo uso, entre 20 y 25% se emplean en la construcción y el resto en la fabricación de otros productos, como electrónicos, muebles y vehículos [2]. Los plásticos con mayor presencia en los residuos son el polietileno y el PET, debido a que representan la mayor proporción en los envases y embalajes [3].

Como la gran mayoría de los plásticos no son degradables, una vez que se desechan se acumulan en los rellenos sanitarios o tiraderos, e incluso en los distintos hábitats que conforman el planeta [2], a los que llegan debido a su mal manejo. En México los plásticos constituyen el 12.88 % de los residuos sólidos urbanos [4], aunque debido a su baja relación masa/volumen, su proporción en el espacio ocupado en los rellenos es hasta 2.5 veces mayor [5]. Su presencia en los residuos contribuye de manera importante a la saturación de los rellenos, lo que a la larga lleva a buscar sitios de disposición cada vez más alejados de los puntos de generación, aumentando el costo del manejo de los residuos.

Además de los problemas asociados a su manejo como residuos, los plásticos generan impactos en el ambiente en otras etapas de su ciclo de vida. Uno de sus efectos más notables es

su contribución al agotamiento de los recursos no renovables, ya que se calcula que 4% del petróleo y gas extraídos se usa como materia prima para la producción de plásticos, y entre 3 y 4% para generar la energía requerida en su manufactura [2].

En este contexto, y gracias a sus características físicas y químicas, el reciclaje de los plásticos constituye una opción viable para disminuir el impacto en el ambiente originado por su uso. Además de disminuir los costos asociados al manejo de residuos, la necesidad de materias primas vírgenes y la energía de su procesamiento, reciclar, en muchos casos, resulta muy atractivo desde el punto de vista económico.

¿Qué plásticos son reciclables?

Los plásticos, en función de su estructura y su comportamiento cuando son expuestos a la temperatura pueden clasificarse en termoplásticos, termofijos y elastómeros. Los termoplásticos, al estar compuestos por cadenas lineales y ramificadas, se funden al ser sometidos al calor y pueden adoptar nuevas formas. Esta propiedad es fundamental para el reciclaje, pues permite recuperar los materiales y volver a utilizarlos mediante procesos físicos simples, como el calentamiento. Dado que aproximadamente el 80% de los plásticos que se producen son termoplásticos [6], puede afirmarse que la gran mayoría de los plásticos son reciclables. Los termoplásticos, a su vez, pueden dividirse en dos grupos [7]:

- *Commodities*: son plásticos de bajo costo que se producen en grandes volúmenes, por lo que son ampliamente empleados en aplicaciones de vida útil corta. Este grupo, que incluye a los polietilenos (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS), polietileno tereftalato (PET) y sus copolímeros, constituye la proporción principal de los plásticos reciclados.
- Plásticos de ingeniería: tienen mejores propiedades mecánicas, resistencia al calor y al impacto, por lo que pueden usarse para reemplazar metales en productos como los automóviles y equipo electrónico. Su costo puede ser entre 2 y 20 veces el de los *commodities*, por lo que se usan generalmente en aplicaciones de mayor vida útil, que se ha estimado en al menos 3 años [3]. Sin embargo, a pesar de que constituyen una proporción menor en los residuos plásticos, su presencia va en aumento debido a factores como la obsolescencia programada de muchos productos. Su reciclaje es complejo, pues comúnmente se encuentran integrados con otros materiales, por lo que requieren varias etapas previas de separación. Cuando el proceso se realiza, generalmente consiste en su trituración para ser usados como cargas.

Los termofijos y elastómeros presentan estructuras más complejas que los termoplásticos, en las que las distintas cadenas de polímeros están unidas entre sí por medio de enlaces químicos, formando redes. Al calentarse no se funden, comienzan a descomponerse y se transforman en otras sustancias. Su reciclaje es, por tanto, similar al de los termoplásticos de ingeniería, pues únicamente se muelen o pulverizan para ser usados como cargas en matrices de otros polímeros.

La necesidad de la separación

La mayoría de los termoplásticos son reciclables. Sin embargo, cuando diferentes tipos de resinas se encuentran mezclados el proceso generalmente no es viable, dado que no son miscibles (no se mezclan al calentarse) y cada una requiere diferentes condiciones de procesamiento. El precio que alcanzan en el mercado las resinas recicladas se encuentra estrechamente ligado a su grado de pureza, pero purificar plásticos es mucho más complejo que purificar metales [5]. Incluso en mezclas del mismo tipo de plástico, en ocasiones hay diferencias de color, peso molecular y presencia de aditivos que pueden afectar las características finales de los productos. A esto hay que añadir la presencia de contaminantes debido a su uso y de etiquetas y otro tipo de materiales con los que puedan estar integrados.

El reciclaje de plásticos mezclados, como el que se realiza para fabricar madera plástica, requiere de aditivos para mejorar la miscibilidad de los plásticos y poder extruirlos en conjunto, y generalmente se aplica en productos de bajo valor agregado.

Los códigos de separación

La separación es un paso básico en cualquier proceso de reciclaje, y de ella depende en gran medida la calidad de los nuevos productos que se fabricarán. Con el fin de que tanto usuarios como recicladores puedan distinguir a los diferentes plásticos con mayor facilidad y los separen mejor, en 1988 la Sociedad de la Industria de los Plásticos (SPI, por su siglas en inglés) propuso un código en el que se asignó a los *commodities* más importantes un número de identificación, en orden decreciente con base en el volumen que se reciclaba en ese entonces de cada uno. El sistema, que fue diseñado para ser usado voluntariamente, ha sido adoptado en todo el mundo, y se aplica a los productos plásticos por medio de impresiones o incluso en el molde en que se fabrica el producto [8].

Inicialmente los códigos estaban formados por el número de identificación de la resina dentro de un triángulo compuesto por las tres flechas que componen el símbolo del reciclaje. Sin embargo, esto daba a muchos usuarios la idea de que el producto que estaba identificado así

sería reciclado, sin tomar en cuenta si el usuario lo separaba o no. Con el fin de evitar esta confusión se decidió eliminar las flechas, y actualmente los códigos se forman simplemente con el código correspondiente contenido en un triángulo.



Métodos de separación

La forma más fácil y eficiente de separación de los plásticos es la separación en la fuente, es decir, la que realiza el usuario directamente al desechar sus residuos. Cuando esto se realiza, además de que la identificación puede realizarse fácilmente a través de los códigos, se evita que los plásticos se mezclen y se contaminen con otros materiales, facilitando todo el proceso posterior de reciclaje. Esta separación puede realizarse tanto a nivel doméstico, separando envases de PET y PE, como a nivel industrial, mediante la separación de la película termoencogible y de otros materiales usados en el embalaje.

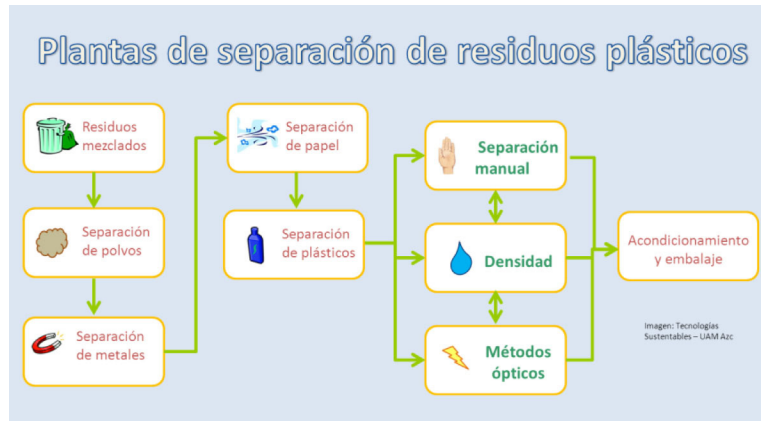
Una vez que los residuos plásticos han sido separados en la fuente, existen dos formas de recolectarlos. La primera es la recolección selectiva, es decir, un proceso en el que en distintos momentos se colectan diferentes materiales. La segunda implica que el usuario lleve sus residuos a un punto de recolección, en ocasiones recibiendo un pago por los mismos. En ambos casos se requiere tanto de la participación de los usuarios como de estructuras e instalaciones que le den soporte a todo el sistema. En el caso de los residuos de origen industrial, es posible que los recicladores, al adquirirlos, se responsabilicen de su recolección.

Por el contrario, cuando los plásticos se colectan mezclados entre sí, con otro tipo de materiales reciclables o con el resto de los residuos es necesario llevarlos a una planta de separación, cuyo diseño depende del tipo y cantidad de residuos que se reciben. Mientras más mezclados

se encuentren los residuos, mayor será el costo y la complejidad de la instalación. Desde el punto de económico estas plantas son atractivas sólo si permiten recuperar grandes volúmenes de materiales reciclables.

Para recuperar los plásticos en una planta estos deben separarse primero de otro tipo de materiales. Los polvos o finos se eliminan en un cilindro rotatorio (trommel) u otro tipo de criba, los metales por medios magnéticos y el papel, dada su ligereza, empleando aire. Una vez que se tiene una mezcla formada sólo por plásticos, estos pueden separarse por distintos métodos:

- Separación manual: es una técnica que se sigue aplicando en todo el mundo, incluso en plantas con alto nivel de automatización, debido a que el ser humano puede entrenarse para separar materiales específicos con una alta eficiencia. Su limitación es el volumen de materiales que pueden separarse, que estarán en función de la duración de las jornadas y el número de operarios.
- Separación por densidad: los distintos plásticos presentan una diferente densidad, y esto puede utilizarse para separarlos en un tanque que tenga un líquido con una densidad específica. Las poliolefinas (PE, PP), por ejemplo, flotan en agua, mientras que el PVC y el PET no. Este método es muy eficiente y se usa para separar las botellas de PET de sus tapas de polipropileno. Su eficiencia puede aumentarse si se combina con un proceso mecánico, como ocurre en los hidrociclones. Al aplicar los procesos de separación basados en la densidad debe ponerse atención en factores como el uso de cargas, pigmentos, forma, porosidad y tamaño de los residuos, pues podrían alterar la flotabilidad de los mismos [6].
- Separación por medios ópticos: dado que distintos plásticos tienen estructuras químicas diferentes, es posible distinguirlos a través de sistemas que combinan la emisión de una señal que llega a los plásticos, un conjunto de sensores que registra la respuesta de los mismos y emite una señal a un control computarizado, y actuadores neumáticos o disparos de aire que se activan en respuesta a esa señal, para separar los plásticos. Las señales que se emiten generalmente son de ondas infrarrojas, UV o rayos X. Estos métodos son altamente eficientes, pueden manejar altos volúmenes y permiten separar plásticos que no se pueden distinguir fácilmente por otros métodos, como el PET y el PVC, o incluso distintos colores del mismo tipo de plástico [9]. Su mayor limitación es el costo.



- Además de los anteriores, existen métodos novedosos como la separación triboeléctrica, en la que se generan cargas eléctricas en los plásticos debido a la frotación y se separan posteriormente por medios magnéticos, o los procesos criogénicos y abrasivos empleados para remover recubrimientos [6].

Clasificación de los procesos de reciclaje

Los procesos de reciclaje pueden clasificarse con base en distintos criterios, que se presentan a continuación:

- En función del origen de los residuos que se van a reciclar, los residuos plásticos pueden clasificarse en post-industriales (o pre-consumo) cuando se generan en las industrias, ya sea en los procesos de producción o derivados de operaciones de envase y embalaje, o post-consumo, cuando son desechados directamente por los usuarios. En el primer caso se generan lotes de residuos limpios, en volúmenes grandes y claramente identificados, lo que vuelve el reciclaje muy costeable. En el caso de los plásticos post-consumo aumenta la necesidad de separación y de organización para la recolección y manejo de los mismos; sin embargo, aunque el proceso es más complejo, debe considerarse que los residuos plásticos post-consumo se generan en un volumen cinco veces mayor que los post-industriales [2].
- Con base en los productos que se generan a partir de los materiales que se reciclan, los procesos pueden ser de *downcycling*, cuando se generan artículos con un valor agregado menor que el de los productos originales, o de *upcycling*, si los productos tienen igual o mayor calidad. Un ejemplo de *downcycling* sería el reciclaje de algún plástico grado alimenticio para elaborar bolsas para basura.

- A partir del proceso que se utiliza para transformar los plásticos, el reciclaje puede ser primario, secundario, terciario o cuaternario. Las características de cada uno se describen en la siguiente sección.

Las distintas formas de reciclaje de plásticos

La clasificación más aceptada de los procesos que se llevan a cabo para reciclar los plásticos los divide en cuatro categorías [6]:

- Reciclaje primario o re-extrusión
- Reciclaje secundario o mecánico
- Reciclaje terciario o químico
- Reciclaje cuaternario o valorización energética

Reciclaje primario o re-extrusión

Este tipo de reciclaje también se conoce como reciclaje *in situ*, de ciclo cerrado o re-procesamiento. Se realiza al reintroducir los residuos, recortes y rebabas (de origen post-industrial), que se generan durante la producción, al proceso de extrusión que se lleva a cabo en el mismo, con el fin de fabricar productos de material similar. Es una práctica común en muchas plantas productoras de artículos de plástico, dado que permite reaprovechar residuos limpios y claramente identificados, disminuyendo la necesidad de materias primas. Aunque el proceso es simple, para aplicarlo es importante realizar pruebas que permitan definir la proporción adecuada de reciclados, de forma que no se afecten las propiedades del producto final.

Reciclaje secundario o mecánico

En esta categoría se agrupan todos los procesos físicos de reciclaje, es decir, aquellos en los que no se modifica la estructura química o la composición de los plásticos. Pueden realizarse a partir de residuos post-industriales o post-consumo, que mediante tratamientos térmicos son transformados nuevamente en pellets, perfiles o madera plástica [10]. Aunque existen variaciones en los procesos, estos generalmente incluyen procesos de corte o molienda, limpieza, extrusión, enfriamiento y almacenaje hasta su posterior comercialización.



En el caso de los plásticos de ingeniería, los termofijos y elastómeros como el poliuretano y las llantas, el reciclaje mecánico se enfoca en procesos de reducción de tamaño a base de cuchillas de alta precisión, métodos criogénicos o molinos de alta eficiencia [6]. Las partículas obtenidas se usan como carga en materiales compuestos.

Reciclaje terciario o químico

A diferencia de lo que ocurre en los procesos físicos, en los químicos los plásticos cambian su estructura y forman nuevas moléculas, que pueden ser similares o diferentes a los monómeros que les dieron origen. Estos nuevos compuestos pueden utilizarse como materias primas para la industria química -para fabricar plásticos u otro tipo de productos - o como combustibles.

Este tipo de reciclaje, que también se conoce como despolimerización, se realiza mediante procesos térmicos en los que se suministra calor a los plásticos y, mediante el control en la cantidad de oxígeno y el uso de catalizadores, se logra la fragmentación de las moléculas. Entre

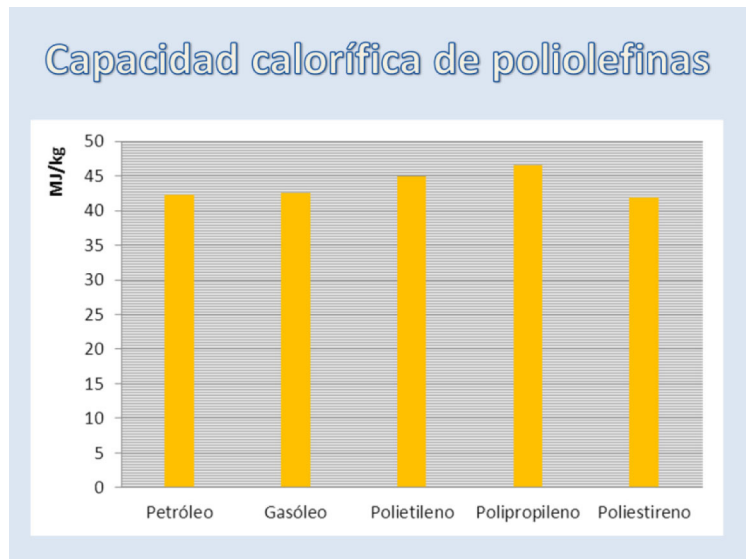
sus distintas modalidades se encuentran la pirólisis, la gasificación, la hidrogenación y el cracking catalítico [6], que dan como resultado la obtención de un gas con una alta capacidad calorífica, de una fase líquida más pesada y de un residuo sólido.

Sus mayores ventajas son la posibilidad de tratar plásticos contaminados y mezclados, sin necesidad de un pretratamiento complejo, así como la posibilidad de obtener productos de alto valor agregado. Entre las desventajas se encuentran el alto requerimiento energético [11], la necesidad de adquirir un equipo costoso que requiere mantenimiento, el cuidado que debe mantenerse para no introducir plásticos clorados (como el PVC) que puedan dar origen a productos contaminantes y la dificultad prever con exactitud las características de los productos que se obtendrán. Esto ha provocado que, a pesar de que existen diferentes plantas que aplican este proceso en el mundo, no se haya generalizado su uso.

Aunque no hay consenso al respecto, algunos autores consideran el composteo de plásticos biodegradables como una forma de reciclaje químico [2], debido a que en el proceso los plásticos se transforman en composta, bióxido de carbono y vapor de agua.

Reciclaje cuaternario o recuperación de energía

Este proceso, también conocido como valorización energética, recupera de forma directa la capacidad calorífica de los residuos plásticos. Los polímeros que forman la base de los plásticos, especialmente en el caso de las poliolefinas, están compuestos principalmente por carbono e hidrógeno. Estos liberan mucha energía cuando reaccionan con el oxígeno durante la combustión, es decir, son muy buenos combustibles, comparables en algunos casos con otros derivados del petróleo [6].



El calor que se libera durante la combustión de los plásticos puede usarse directamente, para calentar, o en algún proceso en el que esa energía haga funcionar una turbina que genere movimiento o electricidad. El proceso puede aplicarse a plásticos mezclados y permite reducir su volumen hasta en un 99%, disminuyendo los requerimientos de rellenos sanitarios. Durante el mismo se destruyen compuestos como los agentes espumantes, pero al mismo tiempo se genera CO₂ que contribuye al calentamiento global.

Dependiendo de las características de los residuos plásticos y las variables del proceso, pueden formarse además otros contaminantes como los óxidos de nitrógeno o de azufre, compuestos volátiles y partículas, que se encuentran regulados en las emisiones debido a su carácter contaminante. El mayor riesgo es el de formación de dioxinas y furanos, un conjunto de compuestos altamente tóxicos que se pueden producir durante la combustión de compuestos que tienen cloro, como el PVC. Por lo anterior, los procesos de valorización energética de residuos plásticos requieren de instalaciones que controlen las emisiones que se generan durante el proceso.

A pesar de las dificultades, la valorización energética concentra una proporción significativa de los residuos plásticos en los países desarrollados. En 2009 se estimaba que en Europa se reciclaba el 22.5% del plástico post-consumo, del cual el 31.5% del mismo se usaba en valorización energética, 4% en reciclaje químico y el resto en reciclaje mecánico [5].

¿Para qué se usan los plásticos reciclados?

La proporción mayor de los plásticos reciclados se destina a la fabricación de envases y embalajes (40%), seguida de aplicaciones en la industria de la construcción (30%). El resto se utiliza para fabricar otros artículos de consumo directo o elementos usados en la manufactura, en productos tan diversos como los textiles y las autopartes. Es común que plásticos que originalmente se utilizaron como envases durante su reciclaje se destinen a otro uso, debido a que en ocasiones no cumplen con los requisitos sanitarios establecidos en la industria alimenticia.

El reciclaje que más se ha desarrollado es el de los envases rígidos, debido a la facilidad de su recuperación. En el caso de las películas, las de origen post-industrial pueden reciclarse fácilmente porque se generan en altos volúmenes facilitando su recolección, son menos diversas (95% son PE o PP) y no requieren separación previa [5]. Sin embargo, las post-consumo presentan mayores complicaciones, pues su composición es más diversa, pueden contener más de una capa de diferentes materiales y generalmente tienen altos niveles de contaminación.

El reciclaje de plásticos en México

¿Cuánto se recicla?

Cuando se habla de porcentajes de materiales que se reciclan es muy importante dejar en claro qué es exactamente lo que se está midiendo. El reciclaje puede contabilizarse en términos de la cantidad total de residuos que se recupera, como un porcentaje de la producción, como una proporción que sustituye a materias primas vírgenes o como la masa de residuos que entra a determinados procesos de reaprovechamiento. Todas ellas son medidas válidas, siempre y cuando se expresen con claridad.

No existe una contabilidad precisa de la masa de plásticos que se reciclan en México, debido principalmente a que una gran parte de los residuos plásticos se separa en actividades de pre-pepena, que no son registradas, y a que una proporción significativa de lo que se colecta se exporta. Sin embargo, en 2011 se estimó que se reciclaba el 11% (465 Mton) de los residuos plásticos post-consumo, y que un 2% (85 Mton) se destinó a la recuperación de energía [12]. Para 2012, INEGI reportó que existían en el país 70,798 centros de acopio para PET y 41,115 para plásticos en general, distribuidos en 195 municipios y delegaciones [13].

Los residuos recuperados permitieron, en 2009, sustituir el 25% de la materia prima virgen en la fabricación de productos de PET y el 20% para el polietileno [14]. En términos globales, se estima que en 2011 se recicló alrededor del 18% de los plásticos con relación al consumo;

aunque es una cifra aún baja, representa un crecimiento importante si se compara con el 2-3% del consumo que se reciclaba en 1990 [12].

La gran mayoría de los plásticos que se reciclan entran a reciclaje secundario, y sólo una pequeña fracción se destina a la valorización energética, específicamente en los procesos de coprocesamiento en los hornos de las cementeras.

¿Qué se recicla?

La mayor proporción de residuos reciclados corresponde a aplicaciones de envase y empaque, tanto de origen post-consumo como post-industrial. Tal como ocurre a nivel mundial, el PET es el plástico que más se recicla en México [14].

El éxito obtenido en el reciclaje del PET se debe a la conjunción de distintos factores. Uno de los más relevantes es la creación, en 2002, de una asociación civil conformada inicialmente por 75 empresas embotelladoras nacionales [15], que generó un plan de manejo a través del cual se establecieron medidas para cubrir las variaciones en el precio del PET recuperado de los residuos. Esto permitió dar estabilidad al mercado nacional de esta resina; con esto se garantizó un suministro estable y creciente de la misma, que dio certeza a las empresas recicladoras y generó un círculo virtuoso en el que vale la pena tanto recuperar el plástico como invertir en opciones para su reaprovechamiento.

Otro factor relevante ha sido la puesta en marcha de procesos de *upcycling*. Actualmente se ubica en el Estado de México la recicladora de PET a resina grado alimenticio más grande del mundo, en la que se procesan anualmente 3,100 millones de botellas al año, para producir hasta 50,000 toneladas anuales de resina reciclada. Se estima que por medio de este proceso se recupera hasta el 70% de los envases de las embotelladoras involucradas en el proyecto, que aspiran a incluir un 40% de reciclado en sus envases para el año 2015 [16].

Sin embargo, debe tomarse en cuenta que aún con estas medidas México exporta un alto porcentaje del PET que recupera, especialmente a China. Esto ocurre también para otros plásticos que se recuperan de los residuos, para los cuales no existe un precio de garantía. El mercado del reciclaje opera a nivel global, por lo que los recicladores nacionales deben competir con la demanda de plásticos por parte de otros países. Esto, aunado a la volatilidad en los precios de algunas resinas (debido a fluctuaciones en los precios del petróleo) y a los constantes cambios en los requisitos fiscales que deben cubrir los recicladores, genera condiciones complejas para el desarrollo de la infraestructura que requeriría el país para aumentar su capacidad de reciclaje.

Normatividad para el reciclaje

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [1] determina la responsabilidad de productores, exportadores, importadores y distribuidores de distintos materiales (entre los cuales figuran los plásticos) de establecer **planes de manejo** que permitan la reducción y valorización de estos residuos. La NOM-161-SEMARNAT-2011 [17] establece las condiciones y la forma en que debe desarrollarse este plan de manejo, que no es sino una evaluación de la forma en que los generadores manejan sus residuos, que conduce a un conjunto de estrategias para su mejor aprovechamiento. Adicionalmente, los productores y consumidores de plásticos deben acatar las medidas de los gobiernos locales orientadas a la recolección selectiva, el fomento del reciclaje o la regulación de las actividades derivadas del mismo.

Además de las disposiciones de manejo de residuos que promueven el reciclaje, existen otras medidas legales que han sido adoptadas para favorecerlo. Un ejemplo es el establecimiento de disposiciones para favorecer las **compras verdes**, como es el caso de los *Lineamientos para la producción y el consumo sustentable de los productos plástico* emitidos en el D.F., que promueve el uso de bolsas de plástico con un 10% mínimo de material reciclado [18].

Aunque aún no se han implementado puede esperarse que en un futuro se generen normas que regulen el manejo de los residuos electrónicos y de los vehículos al final de su vida útil. Esto abriría las puertas al desarrollo de nuevos procesos locales de reciclaje de plástico, enfocados a materiales diferentes a los empleados tradicionalmente en envase y embalaje. Puede esperarse también que en los próximos años se generen normas que regulen el ecoetiquetado de los productos, que permitan clarificar las declaraciones de contenido reciclado en los productos.

Conclusiones

El reciclaje es, sin duda, una de las estrategias de manejo de residuos que permite reducir los impactos ambientales asociados a los mismos, además de que puede constituirse como una actividad económica rentable, que genere empleo y contribuya al desarrollo económico. Sin embargo su desarrollo enfrenta barreras, entre las cuales destacan:

- La percepción, errónea, de que el plástico es un material de poco valor y no es necesario recuperarlo [5], [7]
- Las dificultades logísticas y económicas para el transporte del material, debido principalmente a su baja densidad

- El uso creciente de envases generados a partir de materiales compuestos o multicapas, con menor peso total pero con mayores complicaciones técnicas para su reciclaje [5]
- Las fluctuaciones en la demanda y los precios de las diferentes resinas
- La carencia de estímulos legales y fiscales, así como de una infraestructura sólida y distribuida adecuadamente que de viabilidad a los procesos de reciclaje

El fortalecimiento del reciclaje de plásticos en México requiere de la puesta en marcha de medidas que permitan aumentar su certidumbre y viabilidad económica. La mejora en la recolección, especialmente para los materiales de baja densidad, la generación de mercados y las modificaciones en los sistemas de gestión de residuos, de forma que se regule la entrada de los plásticos a los rellenos y se establezcan cuotas diferenciadas de recolección que promuevan la separación, son algunas de las disposiciones que han sido adoptadas exitosamente en algunos países [19].

Además de las regulaciones y de medidas económicas, se requiere de un cambio en la concepción de los plásticos y la forma en que se manejan a lo largo de su ciclo de vida. Esto implica el desarrollo de programas educativos que permitan a los productores utilizar estrategias de ecodiseño que vuelvan sus productos más reciclables (con menos materiales y bien identificados), a las empresas desarrollar esquemas de responsabilidad extendida, a los usuarios percibir el plástico como un material valioso y participar activamente en su segregación, y a las autoridades generar el marco que sustente todas estas actividades.

Finalmente, es importante recordar que el reciclaje es sólo una de las opciones que permiten manejar de forma más sustentable los recursos finitos del planeta. Su articulación con medidas de minimización y reutilización de materiales debería ser una práctica común no sólo en las empresas, sino en todos los sectores de la sociedad.

Referencias

- [1] Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos, "Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos." 2003.
- [2] J. Hopewell, R. Dvorak, and E. Kosior, "Plastics recycling: challenges and opportunities," *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 364, no. 1526, pp. 2115–2126, 2009.
- [3] P. Subramanian, "Plastics recycling and waste management in the US," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 28, no. 3–4, pp. 253–263, Feb. 2000.
- [4] INECC, "Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos," México, 2012.
- [5] C. Y. Barlow and D. C. Morgan, "Polymer film packaging for food: An environmental assessment," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 78, no. 0, pp. 74–80, 2013.
- [6] S. M. Al-Salem, P. Lettieri, and J. Baeyens, "Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review," *Waste Manag.*, vol. 29, no. 10, pp. 2625–2643, 2009.
- [7] S. G. Howell, "A ten year review of plastics recycling," *J. Hazard. Mater.*, vol. 29, no. 2, pp. 143–164, Jan. 1992.
- [8] M. Alemán de la Vega, "Conocer para actuar: el plástico y su reciclaje," *Órgano Inf. la Asoc. Mex. Envase y Embalaje*, vol. 16, no. 91, pp. 17–21, 2009.
- [9] K. Holmes, "Delivering in the potential sustainability of plastics," *Plast. Eng.*, vol. 70, no. 1, pp. 26–28, 2014.
- [10] D. Briassoulis, M. Hiskakis, and E. Babou, "Technical specifications for mechanical recycling of agricultural plastic waste," *Waste Manag.*, vol. 33, no. 6, pp. 1516–1530, 2013.
- [11] C. Y. Barlow and D. C. Morgan, "Polymer film packaging for food: An environmental assessment," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 78, no. 0, pp. 74–80, 2013.
- [12] M. P. Conde Ortiz, "Presente y futuro de la industria del plástico en México," 2012.
- [13] INEGI, *Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 2011*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2012, p. 155.
- [14] Asociación mexicana de envase y embalaje, "Reciclabilidad y reuso de envases," *Órgano informativo de la Asociación Mexicana de Envase y Embalaje*, pp. 6–8, 2009.
- [15] C. Cortinas, "Reciclaje de plásticos, en el contexto del desarrollo sustentable y humano." p. 21.
- [16] PETSTAR S. A. de C. V., "Video institucional." [Online]. Available: <http://www.petstar.com.mx/>. [Accessed: 28-Jun-2014].
- [17] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, "Norma oficial mexicana NOM 161 SEMARNAT 2011, Que establece los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión de los." 2011.

[18] S. del M. A. del G. del D. Federal, “Acuerdo por el cual se expiden los criterios y normas de producción y consumo sustentable de los productos plásticos.” 2011.

[19] ISWA, “What happened to recycling’s renaissance?,” *Waste Manag. world*, vol. May-june, pp. 27–31, 2014.