

Midiendo la economía circular en México

Measuring the Circular Economy in Mexico

Edgar Sandoval-García, Guadalupe Graciela Ramos Rodríguez y Adrián Correa Torres*

* Tecnológico Nacional de México/ITES de Cuautitlán Izcalli, edgar.sg@cuautitlan.tecnm.mx, guadalupe.rr@cuautitlan.tecnm.mx y 193138024@cuautitlan.tecnm.mx, respectivamente.



Promoción del reciclaje/IS BioGeo/Stock

En una economía circular, la recuperación y valorización de los residuos permite reutilizar los materiales en la cadena de suministro, promoviendo así la desvinculación del crecimiento económico de las pérdidas medioambientales. Ante la pregunta de investigación, ¿qué tan circular es México?, el objetivo de esta propuesta es el de estimar la tasa de circularidad del país utilizando el marco de Indicadores de Transición Circular propuesto por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible. Dados los supuestos y limitantes descritas en el texto, se obtiene una primera aproximación del Porcentaje de Circularidad en México de 15.14 %, 5.51 puntos por encima del valor actual de residuos sólidos urbanos reciclados de 9.63 por ciento. Hace falta ampliar la búsqueda de información para elevar la precisión de los cálculos y complementarla con técnicas cualitativas para poder desarrollar un ejercicio de procesamiento de datos más robusto.

Palabras clave: economía circular; Porcentaje de Circularidad; México; medición.

Recibido: 28 de junio de 2022.

Aceptado: 23 de septiembre de 2022.

Introducción

En una economía lineal tradicional, los procesos industriales se caracterizan por un flujo unidireccional de materiales, con materias primas que se transforman en un producto final y, por último, en un elemento desechable. En el nuevo concepto de economía circular (EC), la recuperación y valorización de los residuos permite reutilizar los materiales en la cadena de suministro, desvinculando finalmente el crecimiento económico de las pérdidas medioambientales (Ghisellini *et al.*, 2016).

La propuesta innovadora de la EC se fundamenta en la metodología 6Rs basada en múltiples sistemas de ciclos de vida de los productos (ver diagrama 1), la cual comprende:

1. Reducir: se enfoca en la disminución de recursos en la premanufactura, además de la reducción tanto en el uso de energía, mate-

In a circular economy, the recovery and valorization of waste allows the reuse of materials in the supply chain, thus promoting the decoupling of economic growth from environmental losses. Given the research question of How circular is Mexico? the objective of this proposal is to estimate the circularity rate of Mexico using the Circular Transition Indicators framework proposed by the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Given the assumptions and limitations described in the text, a first approximation of the value of Percentage of Circularity in Mexico of 15.14% is obtained, 5.51 percentage points above the current percentage value of recycled Urban Solid Waste of 9.63%. It is necessary to broaden the search for information to increase the precision of the calculations and to complement it with qualitative techniques in order to develop a more robust data processing exercise.

Key words: circular economy; % Circularity; Mexico; measurement.

riales y otros recursos durante la manufactura como de emisiones y desperdicios en la etapa de uso/consumo.

2. Reusar: se refiere al uso del producto en su totalidad, o sus componentes, después de su primer ciclo de vida, promoviendo nuevos ciclos, evitando así el requerimiento de materiales vírgenes para la producción de nuevos productos y componentes.
3. Reciclar: involucra el proceso de convertir insumos que de otra forma se considerarían como basura en nuevos materiales y productos.
4. Recuperar: proceso de recolección de productos al final de su etapa de uso y su posterior desmontaje, clasificación y limpieza para su utilización en posteriores ciclos de vida.
5. Rediseñar: actividad que implica diseñar la próxima generación de productos, permitiendo un uso más eficiente de componentes, materiales y recursos recuperados del ciclo de vida anterior o de la anterior producción.

6. Remanufacturar: implica el reprocesar productos ya utilizados para su restauración a un estado original o como un nuevo modelo a través de la reutilización de la mayor cantidad de partes como sea posible sin pérdida de funcionalidad (Jawahir y Bradley, 2016).

De acuerdo con la economía circular, el primer paso para cerrar los ciclos es repensar los modelos de negocio, el rediseño y la reducción de recursos, buscando que desde la creación de los productos se piense en la circularidad de sus componentes; después, se debe tomar en cuenta la recuperación al concluir su uso y tomar la decisión de reutilizar o remanufacturar, siguiendo el reciclado; y, finalmente, para los productos que no puedan ser recuperados, realizar la degradación mediante composta industrial controlada.

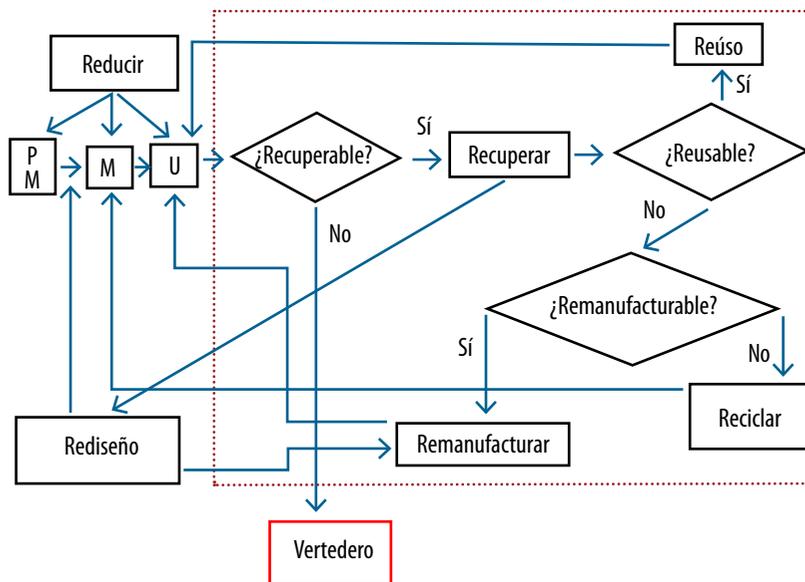
Conforme al *Circularity Gap Report* (CGR, 2022a), en solo 50 años, el uso global de materiales casi se ha cuadruplicado, superando el crecimiento de la población. En 1972, cuando se publicó el informe

Los límites del crecimiento del Club de Roma, el mundo consumía 28 600 millones de toneladas; para el 2000, este había aumentado a 54 900 millones y, a partir del 2019, superó los 100 mil millones. El aumento de los niveles de residuos acompaña a la rápida aceleración del consumo: en última instancia, más de 90 % de todos los materiales extraídos y utilizados se desechan; o, por otro lado, solo 8.6 % se reintegra a la economía. Y está empeorando: en solo dos años, la circularidad global se contrajo de 9.1 % en el 2018 a 8.6 % en el 2020.

A nivel mundial, Países Bajos es la nación líder en la carrera hacia la EC con una métrica de circularidad de 24.5 %, al consumir cada año 221 millones de toneladas de materiales (minerales, combustibles fósiles, metales y biomasa), faltando reincorporar a la economía 167 millones de toneladas. A corto y mediano plazo, el gobierno holandés ostenta metas ambiciosas: una economía que sea 50 % circular para el 2030 y 100 % para el 2050 (CGR, 2022b).

Diagrama 1

Aplicación de la metodología 6Rs en el ciclo de vida del producto



PM = premanufactura, M = manufactura, U = uso.

Fuente: elaboración propia con base en propuesta de Jawahir y Bradley (2016).

Ejercicios previos, prácticas existentes y conocimiento acumulado demuestran que, en México, la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) debe ser una prioridad para la estrategia de implementación de la EC (Muñoz *et al.*, 2021). De hecho, en el país se generan diariamente 102 895 toneladas de estos, de los cuales se recolectan solo 83.93 % y se disponen en sitios de disposición final 78.54 %, reciclando únicamente 9.63 % de los RSU generados (SEMARNAT, 2017).

Otros objetivos adicionales para complementar las estrategias de EC, acorde con Muñoz *et al.* (2021), deben considerar los desechos tanto agrícolas como electrónicos y los plásticos de un solo uso, de los cuales su producción crece a un ritmo acelerado y donde es necesario un análisis más detallado para derivar planes de gestión y explotación. Existe una subclasificación adicional de desechos que también requieren atención, como los peligrosos y los de manipulación especial (en particular, los de construcción y demolición de edificios), esto es, todos los flujos que podrían impactar la salud pública o conducir al país hacia caminos más sostenibles, resilientes e inclusivos.

Acorde con estimaciones de la Asociación Nacional de Industrias del Plástico (ANIPAC), mencionado por Sánchez (2019), el mercado nacional de reciclaje tiene un valor superior a los 3 mil millones de dólares —80 % del costo del nuevo Aeropuerto Felipe Ángeles (Arellano, 2022)—; asimismo, en el 2019 se estimaba una producción de alrededor de 14.9 millones de toneladas de residuos sólidos que pueden reutilizarse, de los cuales 39 % corresponden a papel, cartón y similares; 30.7 %, a plásticos; y 16.6 %, a vidrio; y el nivel de reciclaje era del orden de 56 % del papel y cartón desechado, 50 % en plásticos, pero solo 12 % del vidrio.

Uno de los mayores beneficios de promover la EC es que al utilizar material reciclado en lugar de virgen se gasta menos energía porque se reintroduce el material de nuevo en un ciclo de vida, evitando su valorización energética (por ejemplo, en plantas termo-valorizadoras-incineradoras, menos efectivas) y/o también su disposición final, por

ejemplo, en rellenos sanitarios. Asimismo, al incorporar la metodología 6Rs se disminuye el gasto de energía asociado a la obtención y el procesamiento de material virgen, entre otros cobeneficios, además de que, al reducir la demanda energética, se mitigan emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (INECC, 2020).

La historia moderna del reciclaje en México, tal como lo señalan Lugo *et al.* (2019), inició por un producto que *per se* requiere un manejo especial: los acumuladores LTH. En 1990, esa compañía inauguró una nueva planta destinada a cerrar el círculo ecológico en materia de reciclaje en el municipio de Ciénega de Flores, Nuevo León, la cual tuvo por nombre Transformadora de Materiales, S. A. (TRAMASA).

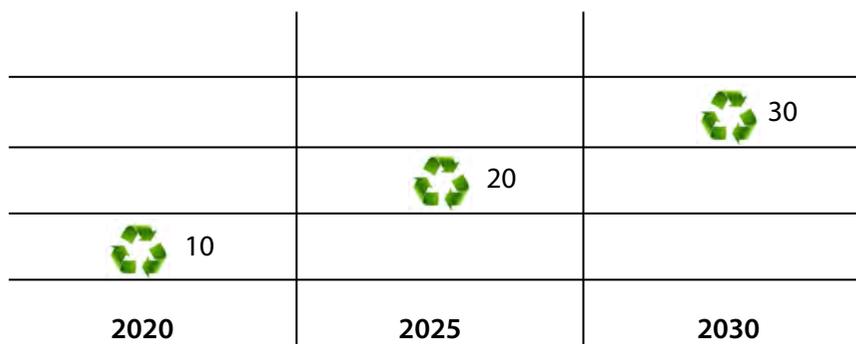
En la actualidad, a nivel nacional se encuentran registradas 4 528 empresas recicladoras, 284 que reutilizan, 121 que recuperan y 71 que reducen y reparan (INEGI, 2022).

Recientemente, en el país se decretó la *Ley General de Economía Circular* (Cámara de Senadores, 2021), la cual pretende reducir el impacto ambiental derivado de las actividades económicas, minimizar el desperdicio de materiales y disminuir el consumo de materias vírgenes a través de la reutilización, el reciclaje y el rediseño. Un principal antecedente a la Ley fue el *Acuerdo nacional para la nueva economía del plástico en México* elaborado en el 2020 por 74 empresas del giro industrial con el objetivo principal de identificar acciones para eliminar envases y empaques innecesarios para el 2030 (CESPEDES, 2020).

Conforme al acuerdo antes mencionado, el sector industrial se compromete a que los envases y empaques deberán incrementar del actual 10 % de material reciclado a 20 % al 2025 y para el 2030 alcanzar 30 % (ver diagrama 2).

Ante la pregunta de investigación, ¿qué tan circular es México?, el objetivo de la propuesta de este trabajo es el de estimar la tasa de circularidad del país utilizando un conjunto de métricas cuanti-

Porcentaje de contenido de material reciclado



Fuente: Elaboración propia con base en CESPEDES (2020).

tativas, reconociendo los riesgos lineales asociados y las oportunidades circulares.

La metodología utilizada se basa en la aplicación del marco de Indicadores de Transición Circular (ITC) propuesta por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, por sus siglas en inglés).

En este trabajo se propone la evaluación del Porcentaje de Circularidad (%Ci) a nivel país.

Metodología

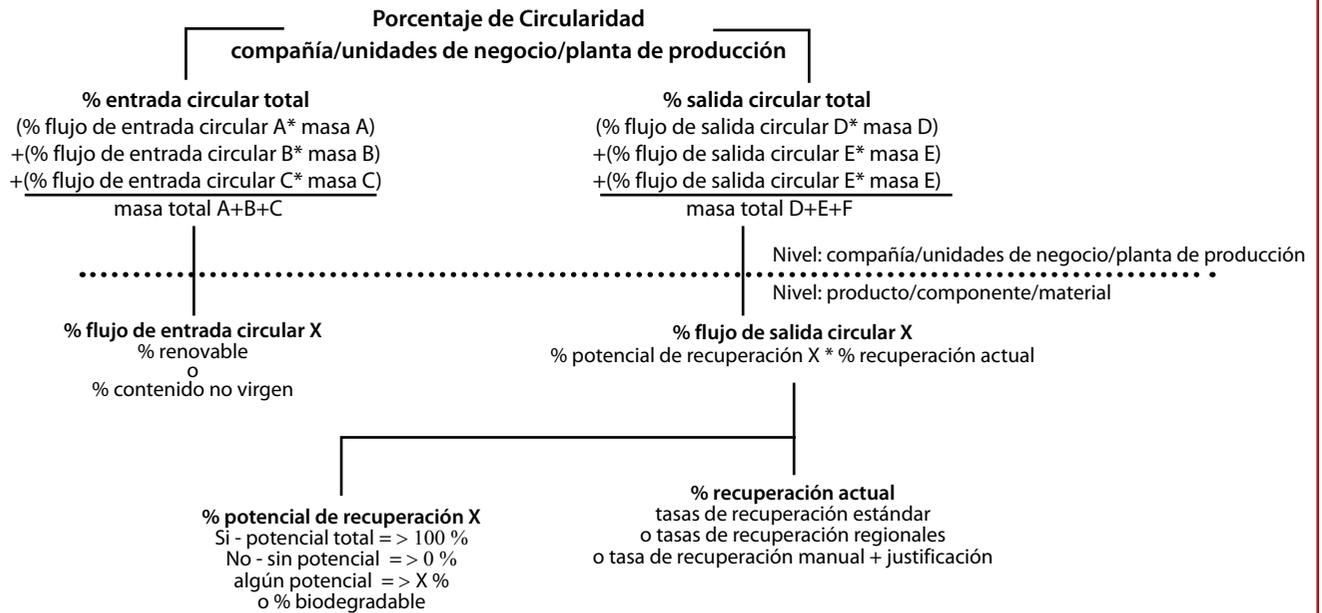
Con base en la propuesta del WBCSD, la aplicación del marco de ITC se basa en una evaluación de los flujos de materiales dentro de los límites de la empresa, combinados con indicadores adicionales sobre la eficiencia y eficacia de los recursos, así como el valor agregado por el negocio circular.

El marco ITC fue diseñado para ser de fácil implementación y de alcance versátil, permitiendo a las empresas medir la circularidad en cualquier nivel, desde el de producto hasta el negocio completo, dándoles la posibilidad de poder usar los indicadores al nivel que mejor se adapte a su negocio.

El desempeño de una empresa respecto al cierre de ciclos se expresa cómo %Ci, que es el promedio ponderado entre el porcentaje de entrada circular y el de salida, como se describe en la estructura de la fórmula que se muestra en el diagrama 3. A su vez, el porcentaje de entrada circular está determinado por el de contenido no virgen y el de contenido renovable (fuentes de base biológica cultivadas de forma sostenible). El porcentaje de flujo de salida circular está determinado por el de recuperación potencial (centrado en el diseño) y la recuperación real. Estos tres pilares abordan diferentes aspectos del negocio: adquisición para el flujo de entrada, diseño para la recuperación potencial e innovación del modelo de negocio (WBCSD, 2022).

Dada la complejidad de los diferentes materiales, productos, plantas de producción, unidades de negocio y compañías que se localizan en el territorio nacional, en esta investigación se plantea evaluar el %Ci a nivel país calculándolo a partir de aquellos productos de la industria manufacturera que más demanda energética requieren para su obtención (y que se pueda), dado que el ahorro energético es uno de los principales beneficios de la implementación de la EC y las externalidades positivas que se derivan.

Estructura de fórmula de %Ci



Fuente: elaboración propia con base en WBCSD (2022).

Para la obtención de los datos requeridos, se consultaron diferentes publicaciones de carácter académico y de negocios, así como bases de datos gubernamentales y de cámaras industriales representativas.

Revisión de la literatura

Acorde con el informe publicado por la Fundación Ellen MacArthur (2019), cuando se aplican las estrategias de EC a cuatro materiales industriales clave (cemento, acero, plástico y aluminio) sería posible coadyuvar a reducir las emisiones de GEI en 40 % hacia el 2050. En el sistema alimentario, la disminución podría llegar a 49 % el mismo año. De manera general, estas reducciones podrían acercar las emisiones de esas áreas 45 % más a las metas de emisiones netas cero.

Otros beneficios directos están asociados a la ganancia en competitividad que las industrias y sectores pueden lograr al reducir la dependencia en materias primas vírgenes (con volatilidad de precios en muchos mercados), así como al dismi-

nuir los desperdicios o desechos que usualmente demandan recursos adicionales para su gestión y disposición final. De igual manera, estas industrias se favorecen al revalorizar los insumos que se intercambian comercialmente en mercados de materias primas recuperadas o componentes de segunda mano (INECC, 2021).

En cuanto a la importancia de contar con políticas de reciclaje y gestión de desechos, Reike *et al.* (2018) mencionan una amplia comparación geopolítica entre países asiáticos, europeos y los Estados Unidos de América (EE. UU.), que describen los objetivos establecidos y las tasas reales de recuperación y reciclaje. Para los EE. UU., se planteaba un objetivo de recuperación de 44 % para los desechos municipales al 2001 y la ambición de elevarlo a 51 % en el 2008. Los datos disponibles en línea del 2016 por parte de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) muestran que el reciclaje aumentó a niveles de solo 34 % en el 2013, mientras que 53 % de los residuos sólidos municipales aún se depositaban en vertederos. En un estudio detallado que incluye estimaciones de incertidumbre se mostró que, en el periodo de

1980 al 2010, la tasa de recuperación del final de la vida útil del aluminio se encontraba entre 38 y 65 % y el reciclaje real variaba entre 34 y 61 % con una tendencia creciente y el pico que se produjo en el 2008.

En el caso de Japón, acorde con los autores antes mencionados, el reciclaje de residuos municipales alcanzaba 20 % en el 2006, con una meta de 24 % para el 2015; algunos de los objetivos de reciclaje japoneses en el 2010 para materiales específicos eran mucho más altos: 91 % vidrio, 62 % papel, 50-70 % diversos electrodomésticos y 40-85 % diversas formas de desperdicio de alimentos; el propósito más ambicioso en ese país fue el de residuos de la construcción: 95-98 % para los diversos materiales en el 2012. Se pueden encontrar políticas aún más ambiciosas en Corea del Sur, con un objetivo de reducción general de 61 % en el 2012. Respecto a Europa, el mejor ejemplo está basado en las políticas holandesas, las cuales, en el 2015, dieron como resultado tasas de reciclaje para varios flujos de residuos entre 85 y 97 % (83 % vidrio, 85 % papel, 97 % automóviles, > 95 % neumáticos, 95 % metal —doméstico—, 97 % de construcción) y tasas más bajas para algunos otros flujos de materiales (alrededor de 45 % en madera y de 51 % de los residuos plásticos domésticos), pero en todos los casos significativamente más altos que hace 25 años. Sin embargo, estas altas tasas de circularidad ocultan que el *downcycling* (ocuparse al final de la vida útil del producto) sigue siendo la regla en lugar de la mejora. Si bien los documentos de política holandeses piden explícitamente opciones de ciclo más corto, aún faltan objetivos nacionales más allá del *reciclaje* y la *recuperación*.

Respecto a las materias primas consideradas críticas, Gaustad *et al.* (2018) las definen por tener: problemas potenciales en su suministro, sustitutos limitados y aplicaciones de importancia, tal como en energía limpia, defensa, atención médica y electrónica. Las interrupciones en el suministro de materiales críticos pueden tener graves repercusiones negativas para las empresas, los consumidores y las economías. Un conjunto potencial de estrategias de mitigación para las compañías que se enfrentan

a problemas de *críticidad* es la implementación de principios de economía circular en su cadena de suministro, operaciones y gestión del final de la vida útil. Los resultados indican el potencial de reducción de riesgos que podría obtenerse de la implementación de estrategias integradoras de circularidad; en específico, el reciclaje, por ejemplo, puede proporcionar una fuente en el corto plazo, horas (para chatarra rápida o de fabricación), o al menos una fuente doméstica (para chatarra posconsumo) para materiales críticos; hasta 24 % para el caso del uso del indio en China.

En cuanto a las estrategias de EC que influyen en mayor medida en el modelo de negocio, estas se basan en el desarrollo de alianzas estratégicas para la circularidad y la participación de las partes interesadas a lo largo de la cadena de valor, así como la implementación de tecnologías digitales (por ejemplo, Industria 4.0) que permitan la circularidad. Los componentes básicos más influenciados por la EC son la segmentación de clientes, las relaciones con los clientes y las asociaciones clave (Salvador *et al.*, 2021).

En un sector específico, el médico, la revisión de las prácticas actuales de economía circular realizada por Kane *et al.* (2018) mostró que ya existe cierta circulación de productos y materiales en este, en varias formas diferentes y niveles de madurez. Por ejemplo, la renovación de equipos complejos ya se realiza en la práctica hasta cierto punto, con pautas de diseño bien documentadas. Por el contrario, la recuperación higiénica de dispositivos de alta *críticidad* y valores de medio a alto, aunque es una práctica generalizada, a menudo se hace de manera deficiente y, por lo general, no se tiene en cuenta en el diseño del equipo, y muchos de estos dispositivos se venden innecesariamente como *de un solo uso*. Se ha demostrado que las oportunidades de recuperación en el sector médico dependen, sobre todo, de la *críticidad* higiénica, el valor del producto y la estructura de soporte ambiental, lo que afecta los requisitos de control de infecciones por un lado y los recursos para reparación, renovación y reciclaje por el otro. Tales parámetros han derivado en las siguientes estrategias de diseño:

- a) En el caso de dispositivos de alto valor y alta *críticidad*: diseño para recuperación higiénica, ciclos fijos, confiabilidad y de productos híbridos.
- b) Para artículos de bajo valor y baja *críticidad*: diseño para la separación, la gestión de desechos y el reciclaje.
- c) Para artículos de alto valor y alta *críticidad*: diseño para la gestión de desechos infecciosos o *diseños alternativos* que es el diseño fuera de la necesidad primaria de tal producto.
- d) Los dispositivos de alto valor y baja *críticidad* se identificaron como alineados con las estrategias circulares existentes para equipos complejos de larga duración.

Las ciudades son motores de crecimiento que requieren seguimiento y control. Estas son la principal causa del cambio climático y representan hasta 76 % de todas las emisiones de carbono. A pesar de ocupar menos de 2 % del área de la Tierra, significan 75 % del uso mundial de recursos naturales y 50 % de la generación global de basura. En términos de soluciones, las urbes atraen talento creativo y así permiten transformaciones sociales hacia la sostenibilidad tanto en el sector público como en el comercial. Los asentamientos humanos se encuentran entre las entidades más poderosas que pueden tener un impacto favorable en el desarrollo si se vuelven circulares:

- a) Los gobiernos locales pueden fomentar la reutilización de materiales de construcción de sus propios proyectos de construcción, renovación y demolición. Como resultado, se estimula el mercado de materiales de construcción reciclados.
- b) También, pueden utilizar subvenciones, incentivos y exenciones de impuestos para fomentar el desarrollo de nuevas tecnologías.
- c) Asimismo, pueden cooperar con otras ciudades avanzadas para facilitar la implementación de la economía circular y apoyar los esfuerzos abajo-arriba (concursos de ideas, financiación de empresas emergentes).

Los asentamientos humanos son uno de los mayores consumidores de recursos, pero al mismo

tiempo son incubadoras de innovación y tienen un enorme potencial para liderar la transición hacia una economía circular. Se ha vuelto realmente importante comprender y definir indicadores de urbes circulares operables para comprender dónde las ciudades y los ciudadanos pueden tener un impacto real (Birgovan *et al.*, 2022).

Desarrollo

Acorde con información disponible en la Base de Indicadores de Eficiencia Energética (BIEE, 2022), la industria manufacturera nacional requirió 1 472.7 PJ de energía en el 2019, siendo las del hierro y acero, química y cemento las que más demanda energética requirieron (ver cuadro 1).

Ya identificadas las industrias-producto que más consumen energía, a continuación se presenta la información disponible para la obtención de datos y poder substituirlos en la fórmula de %Ci.

Cuadro 1
Demanda energética nacional por tipo de industria en el 2019, PJ

Consumo final de energía por tipo de industria (PJ)	2019
1. Hierro y acero	251.56
2. Química	159.99
3. Cemento	139.03
4. Alimentaria, bebida y tabaco	79.23
5. Minera	74.93
6. Papel	54.85
7. Vidrio	52.19
8. Azucarera	37.77
9. Petroquímica	35.77
10. Automotriz	19.33

Fuente: elaboración propia con base en BIEE (2022).

Industria del hierro y acero

A nivel nacional, en la actualidad se utilizan 16.1 GJ por cada tonelada de acero producido, 19 % menos que el promedio mundial. Asimismo, a diferencia de la media internacional de 23 %, la producción de acero en México está ampliamente basada en el reciclaje con una participación de 38 % (CANACERO, 2021). También, el acero presenta altas tasa de recuperación para reciclar, cercanas a 98 % (ALACERO, 2022).

Respecto a la fabricación, el tipo de materia prima condiciona el proceso a utilizar. Para elaborar acero a partir de arrabio, se emplea el convertidor con oxígeno, mientras que partiendo de chatarra como único insumo se usa exclusivamente el horno de arco eléctrico (proceso electro-siderúrgico). Los procesos en este medio de producción podrían utilizar como materia prima la chatarra metálica al 100 %, sin embargo, la media de las estadísticas actuales calcula que es sobre 85 % (Anónimo, 2022).

A nivel nacional, la producción de acero crudo en el 2019 fue de 18.4 millones de toneladas, de las cuales 77 % provino del proceso en horno eléctrico (ver cuadro 2). En el mismo año se produjeron 7.14 millones de toneladas de mineral de hierro y el valor agregado de la industria del hierro y el acero fue de 173 873.008 millones de pesos del 2013 (BIEE, 2022).

Respecto a la clasificación de la chatarra de acero que se vende a los depósitos, se pueden definir tres tipos principales, según su origen:

- Obsoleta: proviene de productos e infraestructuras que ya han llegado al fin de su vida útil; estos (desde automóviles, mobiliario y electrodomésticos viejos hasta edificios) se envían a un depósito de chatarra donde se recuperan los elementos de acero.
- Industrial o inmediata: es el deshecho que resulta de la fabricación de productos en plantas de automoción, electrodomésticos, etc., o en centros de mecanizado; este remanente que se almacena es subastado y vendido a compradores de chatarra.
- Doméstica: es la que se produce de forma interna en las acerías como resultado de la producción de acero (recortes, residuos, entre otros); en este caso no se suele recolectar ni vender, se devuelve al horno (Ferro Planes, 2022).

Plásticos (industria química)

Dada la información disponible, en este trabajo se considera tanto la de la industria nacional del plástico como la de la química. Así, durante el 2021, la ANIPAC informó que el consumo aparente de resinas en México fue de 6.9 millones de toneladas en el 2020; de estas, el polipropileno (PP) representó 18 % y el polietileno de alta densidad (PEAD), 17.34 %, siendo la producción de resinas con material reciclado del orden de 4.5 millones de toneladas, donde el PET significó 31.34 % y el PEAD, 17.8 por ciento. Respecto a la producción de resinas sin material reciclado, esta fue de 3.4 millones de toneladas, donde el PET representó 28.5 %; el PEAD, 17 %; y el PP, 13.2 % (Forbes, 2021).

Cuadro 2

Producción de acero crudo en México, 2016-2019

Producción (miles de toneladas)	2016	2017	2018	2019
Acero crudo	18 824.0	19 924.0	20 204.0	18 387.0
Acero crudo no eléctrico	4 919.0	4 721.0	4 885.0	4 242.0
Acero crudo eléctrico	13 904.0	15 203.0	15 319.0	14 145.0
Mineral de hierro	6 969.6	6 927.6	7 085.4	7 140.9

Fuente: elaboración propia con base en BIEE (2022).

Asimismo, acorde con la fuente antes citada, del total del plástico producido en la industria nacional, 47 % es utilizado en el empaque, envase y embalaje; 21 % se destina a consumo general; 12 %, al sector de la construcción; 7 %, al de electrónica; 6 %, a la industria automotriz; 3 %, al agrícola, 2 %, al médico; y 2 % corresponde a otros.

Conforme al acuerdo nacional promovido por el Consejo Coordinador Empresarial (CESPEDES, 2021), actualmente 71 % de los envases y empaques son reutilizables, reciclables, compostables o aprovechables. Respecto al contenido de material reciclado que se incorpora en los envases y empaques, este valor solo representa 10 por ciento.

En el mismo informe se menciona que para lograr valorizar y convertir de nuevo en materia prima los residuos plásticos, disminuyendo así la generación de desechos, la recuperación de residuos plásticos es fundamental, por lo que se establece la meta de acopio de 70 % en PET y 30 % en promedio de todos los plásticos para el 2025.

De hecho, la valorización de las botellas PET posconsumo representa ventajas ambientales respecto a no haber realizado ninguna acción de aprovechamiento o valorización. Un estudio llevado a cabo por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2013) estimó una reducción entre 500-600 % de impactos ambientales al cambio climático, agotamiento de recursos abióticos y de la capa de ozono, así como acidificación con respecto a esquemas sin valorización.

Cemento

De manera global, la edificación consume 40 % de materia prima y energía primaria, además de generar 35 % de los residuos industriales. Un estudio de caso relacionado con la construcción de vivienda social en México (Mercader-Moyano *et al.*, 2021) concluyó que este sector consume 1.24 t/m² de materias primas y produce 0.083 t/m² de residuos de construcción y demolición (RCD). Los RCD cementosos, cerámicos y mixtos

representan 83.44 % del total de estos. Al considerar este tipo de insumos inertes como un recurso reciclable, 78 % de los RCD terminan en vertederos y solo 22 % son dirigidos a plantas de reciclaje, por lo que resulta necesario reemplazar los materiales de construcción actuales por aquellos ecoeficientes.

Papel y cartón

A nivel nacional, se recicla alrededor de 56 % de este material desechado, y se estima que, aproximadamente, 80 % del utilizado viene de papel reciclado; el restante proviene de la importación de celulosa, materia prima para fabricarlo papel (Bustos, s. f., mencionado en INECC, 2020)

Vidrio

Este puede reciclarse de manera interminable sin apenas perder sus propiedades iniciales. En México, solo se recicla 12 % del material y esto se debe, principalmente, a situaciones de oferta y demanda (INECC, 2020).

Alimentaria, bebida y tabaco

Ante la gran complejidad que representa esta industria, dada la cantidad de materiales involucrados, no se considerará en el cálculo de %Ci, pero sí se hará mención de su importancia en la instauración de la economía circular al representar los residuos orgánicos 51.6 % de los RSU en el país (SEMARNAT, 2017, mencionado en INECC, 2020), lo que significa la generación de 19.4 millones de toneladas de residuos de forma anual y la posibilidad de generar entre 2.7 mil millones de m³ y 5.5 mil millones de m³ de biometano o entre 102.81 PJ y 205.62 PJ de energía —considerando un rendimiento de biometano de 0.25 a 0.5 m³/kg SV y 75 % de sólidos volátiles (Hambaliou *et al.*, 2016)—, energía que podría cubrir el requerimiento de la industria alimentaria, bebida y tabaco en el mediano y largo plazo.

Automotriz

Tal como lo señalan Van Hoof *et al.* (2022), la cadena automotriz en México presenta oportunidades de circularidad en la explotación de residuos sólidos, como los empaques plásticos, y aquellos generados por los procesos industriales, por ejemplo, agua contaminada con aceite, solventes o remanentes de pinturas. Los modelos de negocio documentados hasta el momento permiten identificar una tendencia orientada, principalmente, al aprovechamiento de materiales con el desarrollo de subproductos a partir de residuos de la industria, prevención de la extracción de recursos evitando emisiones y a la conservación de fuentes de recursos con la integración de las operaciones con redes energéticas renovables. En la actualidad, ya se presentan avances en programas de capacitación en economía circular con la formulación de proyectos en más de nueve empresas y un clúster en el estado de Querétaro.

Resultados

Con base en la revisión de las diferentes publicaciones consultadas en la sección anterior (*Desarrollo*), en el cuadro 3 se muestran los datos de los porcentajes de contenido no virgen, potencial de recuperación y recuperación actual de las industrias-producto para las cuales fue posible encontrar información suficiente para ser substituida en la fórmula de %Ci propuesta por el WBCSD.

Con los datos identificados y organizados, se procedió a obtener, primeramente, el porcentaje de salida circular de cada industria producto, por ejemplo, para el caso del *Papel* se obtuvo al multiplicar $0.56 * 0.71 = 0.398$.

Este nuevo valor se multiplica por su nivel de producción: $40 \% * 5\ 805\ 400 = 2\ 308\ 242.5$.

Para la obtención del porcentaje de entrada circular, ante la disponibilidad limitada de información, en esta investigación se considera la cantidad producida de cada material más 10 % para obtener el valor de cantidad de material origen.

En el caso del *Papel*, este valor se obtiene al multiplicar: $80 \% * (5\ 805\ 400 * 1.1) = 5\ 108\ 786.3$.

Y así sucesivamente para cada industria-producto. En el cuadro 4 se muestran los resultados.

Para el cálculo de porcentajes de entrada y salida circular total, se divide la sumatoria obtenida en el paso anterior entre la de producción del 2019 (32 646 922.0 toneladas). Para el caso del porcentaje de entrada, el valor antes mencionado se afecta igualmente por 10 % considerándolo como merma en el proceso de transformación de materia prima a producto, siendo el valor ajustado por merma del orden de 35 911 614.2 toneladas. En el cuadro 5 se muestran los porcentajes así obtenidos.

Cuadro 3

Datos utilizados para el cálculo del %Ci

	Vidrio	Papel	Acero crudo eléctrico	Plástico*
Flujo de entrada				
% contenido no virgen	10	80	85	10
Flujo de salida				
% potencial de recuperación	100	71	98	71
% recuperación actual	12	56	38	15
Producción, miles de toneladas (2019)	4 824.5	5 805.4	14 145.0	7 872.0

* El dato de producción total de plásticos es del 2020. Si bien para el sector de plásticos se prevé un valor de recuperación de 30 % al 2025, por falta de información para este trabajo se supone uno actual de 15 por ciento.

Fuente: elaboración propia con base a BIEE (2022) y los valores porcentuales expuestos en la sección *Desarrollo* de este documento.

Cuadro 4

Resultantes de flujos de entrada y salida por tipo de industria-producto

	Vidrio	Papel	Acero crudo eléctrico	Plástico	Sumatoria
Flujo de entrada (toneladas)	530 693.1	5 108 786.3	13 225 575.0	865 920.0	19 730 974.4
Flujo de salida (toneladas)	578 938.0	2 308 242.5	5 267 598.0	838 368.0	8 993 146.5

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, para obtener el promedio ponderado, se multiplican entre sí los valores estimados de porcentajes de entrada y salida circulares totales, obteniéndose que el valor de %Ci en México es de 15.14. Este representa 5.51 puntos porcentuales por arriba del valor actual de RSU reciclados de 9.63 por ciento.

Cuadro 5

Porcentajes de entrada y salida circular total

	Entrada circular total	Salida circular total
Valor estimado	55	28

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, con la intención de estimar el potencial económico que representa la separación de productos valorizables, se procede a realizar el cálculo partiendo de que de los 37.6 millones de toneladas anuales de RSU que se generan en el país, solo 14.9 millones pueden reutilizarse; posteriormente, obteniendo el porcentaje de contenido

por tipo de material valorizable recolectado acorde con el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales¹ (mencionado en SEMARNAT, 2022) y el precio de compra reportado en el portal de la compañía Suprareciclaje, se estima un valor de 30 % por arriba de lo reportado por la ANIPAC en 2019 (3.9 mil millones de dólares), actualizando así la valorización de los RSU considerados como reutilizables (ver detalle en el cuadro 6).

Solo como ejercicio comparativo, durante el 2018, en el estado de Querétaro se instaló una planta automatizada separadora capaz de procesar 1 200 toneladas de basura al día en 14 horas de trabajo, la cual requirió una inversión de 300 millones de pesos (GTAambiental, 2021). Esto significa que, de valorizarse en su totalidad los RSU reusables y aplicarse en la transición de la EC, se podrían instalar en el país hasta 260 plantas como la descrita

¹ Programa estadístico del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Cuadro 6

Estimación del potencial económico de los RSU reusables

Continúa

	Potencial millones, toneladas	%	Reusable millones, toneladas	%	Precio Pesos/kg	Potencial millones, toneladas		
RSU, total	37.6						37.6	
RSU, reusables	14.9	100		100				
Papel y cartón	5.811	39	4.8	32	\$3.00	\$14 286.12	12.0	\$36 009.34
Plásticos	4.5743	31	1.1	7.15	\$5.00	\$5 326.75	2.7	\$13 426.51
Vidrio	2.4734	17	0.3	1.99	\$1.20	\$355.81	0.7	\$896.85
PET			2.4	15.8	\$7.00	\$16 479.40	5.9	\$41 537.68
Aluminio			0.2	1.4	\$22.00	\$4 589.20	0.5	\$11 567.46
Cobre, bronce y plomo			0.2	1.3	\$91.50	\$17 723.55	0.5	\$44 673.68

Estimación del potencial económico de los RSU reusables

	Potencial millones, toneladas	%	Reusable millones, toneladas	%	Precio Pesos/kg	Potencial millones, toneladas		
Fierro, lámina y acero			0.7	4.9	\$ 4.50	\$3 285.45	1.8	\$8 281.25
Vidrio			2.1	13.8	\$1.20	\$2 467.44	5.2	\$6 219.39
Electrónicos y electrodomésticos			0.8	5.1	\$10.00	\$7 599.00	1.9	\$19 153.90
Otros			2.5	16.6	\$2.50	\$6 183.50	6.2	\$15 586.02
Total, millones de pesos						\$78 296.22	\$197 352.06	
Total, millones de dólares						\$3 914.81	\$9 867.60	

Fuente: elaboración propia con base en SEMARNAT (2022); los precios utilizados para el ejercicio se obtuvieron en línea del portal web de la empresa Suprareciclaje el 21/05/2022; el tipo de cambio utilizado fue de 20 pesos/dólar.

con una capacidad de procesar hasta tres veces la cantidad de RSU totales que se generan diariamente a nivel nacional.

Coadyuvando a la definición de estrategias de implementación de EC, se parte de la revisión de las buenas prácticas aplicadas en el reciclaje de dos productos considerados como casos de éxito a nivel nacional, dado su alto nivel de cierre de ciclos en sus procesos productivos, el del acero (Lara, 2017) y el del PET (PTMéxico, 2016), las cuales se enlistan a continuación:

1. Es necesario un marco legal e institucional adecuado para llevar a su máximo potencial a la industria del reciclaje, dado que la gran mayoría de este sector se encuentra en la informalidad, requiriéndose garantías laborales para todas las personas involucradas en la cadena de valor.
2. Promover el carácter obligatorio de los esfuerzos empresariales de toda la cadena de valor, desde los fabricantes de productos hasta los usuarios en sus diferentes ordenes de participación.
3. Suscitar la inclusión social en el proceso de recuperación de los residuos, una característica arraigada en muchos países en desarrollo, al ser un factor determinante para lograr mejores tasas de recuperación.
4. Fomentar la simbiosis industrial en la medida de lo posible, el cual es un proceso innovador

que permite a las empresas hacer uso de los residuos que otras producen, convirtiéndolos en valiosos recursos para sus propios procesos de producción; por ejemplo, cuando el acero se encuentra en estado líquido, se producen algunos subproductos, como la llamada escoria, la cual es separada del resto para formar un aditivo que se inyecta en el cemento para duplicar la resistencia del concreto, y que se utiliza, sobre todo, en la construcción de vialidades.

5. No solo es necesario poder acceder a la mejor tecnología disponible, también es vital una fuerza laboral técnicamente preparada y productiva, una estructura administrativa eficiente y una logística que permita entregar los productos a tiempo.
6. Continuar creando productos a partir del material (sometido a alguna de las 6Rs) para ingresar a nuevos mercados.

La transición hacia una economía circular también requiere de promover proyectos de colaboración Academia-industria como una vía alterna de implementación de la EC, así como desarrollar ideas y conceptos con personal interno, apoyándose en socios estratégicos (clientes y proveedores).

Asimismo, es recomendable un diseño efectivo desde el origen, que se ajuste a los diversos ciclos de materiales. Como resultado, estos fluirían

a través de los diferentes ciclos de EC manteniendo su utilidad y valor durante el mayor tiempo posible, asegurando así, en gran medida, la reducción del desperdicio. Algunas consideraciones de diseño son:

- a) Reducir la cantidad de materiales requeridos para entregar un servicio particular (aligeramiento); prolongación de la vida útil de los productos (durabilidad).
- b) Disminuir el uso de energía y materiales en las fases de producción y uso (eficiencia).
- c) Bajar el uso de materiales peligrosos o difíciles de reciclar en productos y procesos de producción (sustitución).
- d) Crear mercados para materias primas secundarias (reciclados) y materiales (basados en estándares, contratación pública, entre otros).
- e) Diseñar productos que sean más fáciles de mantener, reparar, actualizar, remanufacturar o reciclar (ecodiseño).
- f) Fomentar una elección más amplia y adecuada para los consumidores a través del alquiler, préstamo o servicios compartidos como alternativa a la propiedad de productos, salvaguardando al mismo tiempo los intereses de los consumidores (en términos de costos, protección, información, condiciones del contrato, aspectos de seguros, entre otros) (COM, 2014).

Conclusiones

En una economía circular, los residuos se minimizan. El enfoque se desplaza de usar y tirar a rediseñar, remanufacturar, reutilizar, reparar, restaurar y reciclar materiales y productos existentes. La propuesta de investigación da respuesta a la pregunta planteada al estimar el Porcentaje de Circularidad del país en 15.14 por ciento.

Diferentes sectores productivos nacionales han demostrado que es posible lograr niveles de circularidad por encima de la media internacional, por lo que su experiencia adquirida podría ser replicada adecuándola a la singularidad de los sectores con bajo nivel de implementación.

Resulta ineludible el promover y hacer cumplir a nivel nacional la reciente *Ley General de Economía Circular* para lograr metas más ambiciosas, como el de ser una nación con 100 % de circularidad en el mediano plazo, logrando que todo residuo pueda ser transformado en materia prima al someterse a alguna de las 6Rs, incrementando así su valorización y evitando su disposición en vertederos e incineradoras. Esto conlleva proponer, evaluar, implementar y financiar estrategias tanto arriba-abajo como abajo-arriba involucrando a la sociedad en general.

Al ser la EC una vía de descarbonización de las economías, al reducir el consumo de energía y recursos, requiere de definir objetivos y metas claras de implementación, así como de contar con los instrumentos adecuados e indicadores de transición que permitan redireccionar los esfuerzos de la ruta a seguir. Como ya lo han mencionado otros autores, el considerar a los RSU debe ser una prioridad para la estrategia general de implementación de la EC. Hace falta ampliar la búsqueda de información para elevar la precisión y confiabilidad de los cálculos y complementarla con técnicas cualitativas para poder desarrollar un ejercicio de procesamiento de datos más robusto.

Fuentes

- Asociación Latinoamericana del Acero (ALACERO). *El acero es el único material que puede ser reciclado ilimitadamente al 100%*. 2022 (DE) <https://www.alacero.org/noticias/el-acero-es-el-unico-material-que-puede-ser-reciclado-ilimitadamente-al-100>
- Anónimo. *Proceso de fabricación del acero*. Universidad Politécnica de Cataluña, 2022 (DE) <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3319/55868-7.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Arellano, C. "Se inaugura hoy el AIFA en el plazo y costo prometidos", en: *La Jornada*. 2022 (DE) <https://www.jornada.com.mx/notas/2022/03/21/politica/se-inaugura-hoy-el-aifa-en-el-plazo-y-costos-prometidos/>
- Base de Indicadores de Eficiencia Energética (BIEE). *Base de datos. Estadísticas. Indicadores de energía*. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2022 (DE) <https://www.biee-conuee.net/site/index.php>
- Birgovan, A. L., E. S. Lakatos, A. Szilagyi, L. I. Cioca, R. L. Pacurariu, G. Ciobanu y E. Rada. "How Should We Measure? A Review of Circular Cities Indicators", en: *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 19, 2022, p. 5177 (DE) <https://doi.org/10.3390/ijerph19095177>

- Cámara de Senadores. *Ley General de Economía Circular*. Nota legislativa. Instituto Belisario Domínguez. Senado de la República, 2021 (DE) http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/5431/125.NL_Economia_circular.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero (CANACERO). Radiografía de la industria del acero en México 2021. CANACERO, 2021 (DE) https://www.canacero.org.mx/aceroenmexico/descargas/Radiografia_de_la_Industria_del_Acero_en_Mexico_2021.pdf
- CGR. FIVE YEARS of the Circularity Gap Report. Circularity Gap Reporting Initiative, 2022a (DE) <https://www.circularity-gap.world/2022#Download-the-report>
- _____. *The Circularity Gap Report, the Netherlands*. Circularity Gap Reporting Initiative, 2022b (DE) <https://www.circularity-gap.world/netherlands>
- COM. *Communication "Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe"*. 398 final/2. European Commission, 2014 (DE) <http://hytechcycling.eu/wp-content/uploads/Towards-a-circular-economy-A-zero-waste-programme-for-Europe.pdf>
- Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES). *1.º informe del acuerdo nacional para la nueva economía del plástico en México*. CESPEDES, 2021 (DE) <https://cespedes.org.mx/wp-content/uploads/2021/02/1er-Informe-Acuerdo-Nacional-Plasticos.pdf>
- Ellen MacArthur Foundation. *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*. 2019 (DE) <https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture>
- Ferros Planes. *Reciclado de acero*. 2022 (DE) <https://ferrosplanes.com/reciclado-de-acero/>
- Forbes. *Consumo de resinas en México supera 6 millones de toneladas en 2020: ANIPAC*. 2021 (DE) <https://www.forbes.com.mx/consumo-de-resinas-en-mexico-supera-6-millones-de-toneladas-en-2020-anipac/>
- Gaustad, G., M. Krystofik, M. Bustamante y K. Badami. "Circular economy strategies for mitigating critical material supply issues", en: *Resources, Conservation and Recycling*. Volume 135, 2018, pp. 24-33, ISSN 0921-3449 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.002>
- Ghisellini, P., C. Cialani, y S. Ulgiati. "A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems", en: *Journal of Cleaner Production*. Volume 114, 2016, pp. 11-32 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- GTAambiental. *Querétaro: rumbo a 4 años con su planta separadora de residuos*. 2021 (DE) <https://gtaambiental.com/queretaro-planta-separadora-residuos/>
- Hambaliou, B. et al. "Methane emissions from digestate at an agricultural biogas plant", en: *Bioresource Technology*. Volume 216, 2016, pp. 914-922 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.06.031>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). *Estudio de análisis de ciclo vida (ACV) del manejo de envases de bebidas de polietileno tereftalato (PET) en la fase de posconsumo*. 2013 (DE) https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/416326/2013_CGCSA_Estudio_de_Analisis_de_Ciclo_de_Vida_de_Envases_de_Bebidas_de_Polietileno_Tereftalato_en_la_Fase_de_Pos-Consumo.pdf
- _____. *Metodología para la identificación y cuantificación de acciones de mitigación por el reciclaje de residuos sólidos urbanos*. 2020 (DE) https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/644839/102_2020_Metodologia_acciones_mitigacion_reciclaje_residuos_solidos_urbanos.pdf
- _____. *Economía circular y cambio climático. Cuaderno de trabajo. Unidad 2*. 2021 (DE) https://pubhtml5.com/thnx/rxax/Unidad_2_EC_Cuaderno_de_trabajo_2022/9
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)*. México, INEGI, 2022 (DE) <https://www.inegi.org.mx/temas/directorio/>
- Jawahir, I. S. y R. Bradley. "Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-loop Material Flow", en: *Sustainable Manufacturing, Procedia CIRP*. 40, 2016, pp. 103-108 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.067>
- Kane, G., C., Bakker y A. Balkenende. "Towards design strategies for circular medical products", en: *Resources, Conservation and Recycling*. Volume 135, 2018, pp. 38-47, ISSN 0921-3449 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.030>
- Lara, R. *Las historias de #Expansión500: DeAcero hace negocio con el reciclaje*. 2017 (DE) <https://expansion.mx/empresas/2017/07/26/las-historias-de-expansion500-deacero-hace-negocio-con-el-reciclaje>
- Lugo, E., C. Ramos, A. Cid y M. Quevedo. *Reciclar, la falacia de la industria en la lucha contra la contaminación plástica*. 2019 (DE) <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2617486/Greenpeace/templates/pages/alianza/resumen-ejecutivo-reciclar-la-falacia-de-la-industria-en-la-lucha-contra-la-contaminacion--plastica.pdf>
- Mercader-Moyano, P., P. Camporeale y J. López-López. "A construction and demolition waste management model applied to social housing to trigger post-pandemic economic recovery in Mexico", en: *Waste Management and Research*. Volume 40(7), 2021, pp. 1027-1038 (DE) <https://doi.org/10.1177/0734242X211052856>
- Munoz-Melendez, G., G. C. Delgado-Ramos y R. Díaz-Chávez. "Circular Economy in Mexico", en: Ghosh, S. K. (ed.). *Circular Economy: Recent Trends in Global Perspective*. Singapore, Springer, 2021 (DE) https://doi.org/10.1007/978-981-16-0913-8_16
- PTMéxico. *El reciclaje de PET en México escasó de éxito*. 2016 (DE) <https://www.ptmexico.com/articulos/el-reciclaje-de-pet-en-mexico-es-caso-de-exito>
- Reike, D., W. Vermeulen y S. Witjes. "The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options", en: *Resources, Conservation and Recycling*. Volume 135, 2018, pp. 246-264, ISSN 0921-3449 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>
- Salvador, R., M. Barros, F. Freire, A. Halog, C. Piekarski y A. de Francisco. "Circular economy strategies on business modelling: Identifying

- the greatest influences", en: *Journal of Cleaner Production*. Volume 299, 2021, p. 126918, ISSN 0959-6526 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126918>
- Sánchez, A. *Vidrio, el residuo 'olvidado' en el proceso de reciclaje en México*. 2019 (DE) <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/vidrio-el-residuo-olvidado-en-el-proceso-de-reciclaje-en-mexico/>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). *Residuos sólidos urbanos (RSU)*. 2017 (DE) <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-rsu>
- _____. *Datos abiertos. Materiales valorizables recolectados*. 2022 (DE) https://datos.gob.mx/busca/dataset/indicadores-basicos-del-desempeno-ambiental--residuos-solidosresource/6fa5ea71-6e45-4895-8d97-9edf3e9c01c3?inner_span=True
- Suprareciclaje. *Compra venta de chatarra y reciclados por kilogramos*. 2022 (DE) <https://www.supraciclaje.com/precios-hoy/>
- Van Hoof, B., G. Núñez y C. de Miguel, "Metodología para la evaluación de avances en la economía circular en los sectores productivos de América Latina y el Caribe", en: *Desarrollo Productivo*. Núm. 229 (LC/TS.2022/83). Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2022.
- WBCSD. *Circular Transition Indicators V3.0. Metrics for business, by business*. 2022 (DE) <https://www.wbcsd.org/Programs/Circular-Economy/Metrics-Measurement/Resources/Circular-Transition-Indicators-v3.0-Metrics-for-business-by-business>