

El impacto ambiental de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos y la Economía Circular en México

The Environmental Impact of Waste Electrical and Electronic Equipment and the Circular Economy in Mexico

*Raquel Cecilia Muñoz Cruz*¹

*José Régulo Morales Calderón*²

Resumen

El siguiente trabajo tiene como objetivo reflexionar sobre el impacto ambiental que produce la gestión inadecuada de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) y el impacto negativo que generan en el medio ambiente y en la salud. Por lo que se exponen y analizan algunas legislaciones referentes a la gestión de los RAEE en México, que nos hacen cuestionar si estas directrices han contribuido a cambiar la gestión de los RAEE en el país y si estamos preparados para adoptar los postulados de la Economía Circular, ante la despreocupación, falta de responsabilidad y mala gestión de los RAEE en México.

Palabras clave: Residuos Especiales, Economía Circular, Impacto Ambiental.

Clasificación JEL: Q53 Contaminación del aire, Contaminación del agua, Ruido, Residuos peligrosos, Reciclaje de residuos sólidos.

¹ Correo: <racemuz1610@gmail.com>, Universidad Autónoma Metropolitana, nacionalidad mexicana.

² Correo: <joregulo@gmail.com>, Universidad Autónoma Metropolitana, nacionalidad mexicana.

Fecha de recepción: 19/01/2023 • Fecha de aceptación: 20/03/2023

Abstract

The following work aims to reflect on the environmental impact produced by the inadequate management of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) and the negative impact they generate on the environment and health. Therefore, some legislation regarding the management of WEEE in Mexico is exposed and analyzed, which makes us question whether these guidelines have contributed to changing the management of WEEE in the country, and if we are prepared to adopt the postulates of the Economy Circular, given the insouciance, lack of responsibility and mismanagement of WEEE in Mexico.

Keywords: Special Waste, circular economy, environmental impact.

Introducción

Debido a la evolución de la tecnología, la obsolescencia programada y las modas de consumo, los residuos eléctricos y electrónicos crecen tres veces más rápido que el resto de residuos sólidos urbanos (Pellegrino, Chiozzi, Pinatti & Ramírez, 2021), lo que ha generado que el sector de mayor crecimiento en la industria manufacturera corresponda a la producción de aparatos eléctricos y electrónicos. Sin embargo, esto ha provocado que anualmente se generen toneladas de residuos a nivel mundial que obliga a pensar en su tratamiento tanto en el presente como en un futuro (Fernández Tapia & Montes Torres, 2018), sabiendo que el volumen de basura electrónica que se genera supera ampliamente la capacidad de manejo de ese material de manera sustentable para el ambiente (Merchán, Campozano & Figueroa, 2020).

La cantidad de desechos electrónicos³ generados en todo el mundo en 2014 fue de 41.8 millones de toneladas métricas (MT); solo en Latinoamérica se generaron 3.9 millones de toneladas de Residuos de Aparatos Eléctrico y Electrónicos (RAEE)

³ De acuerdo con la metodología desarrollada en 2014 para la Comisión Europea por la Universidad de Naciones Unidas (UNU) –el «Think Tank» de la ONU–, la cantidad de residuos generados en un año determinado es igual a la suma colectiva de productos desechados que fueron colocados en el mercado en todos los años anteriores, multiplicado por la distribución de expectativa de vida (UNU-IAS, 2015).

en ese mismo año, siendo Brasil y México los que generaron mayor cantidad, 1400 kilogramos anuales por habitante (kg/hab) y 1000 kg/hab, respectivamente (UNU-IAS, 2015). De acuerdo con diversos reportes, en 2016 los países del mundo generaron 44.7 MT de residuos electrónicos, lo que equivale a 6.1 kg/hab, frente a los 5.8 kg/hab generados en 2014. Asia fue la región que generó el mayor volumen de residuos electrónicos (18.2 MT), seguida de Europa (12.3 MT), las Américas (11.3 MT), África (2.2 MT) y Oceanía (0.7 MT), y aunque esta última fue la de menor volumen total de residuos fue la que generó más cantidad de residuos por habitante (17.3 kg/hab) (Baldé, Forti, Kuehr & Stegmann, 2017). En México, en ese mismo año, de acuerdo con el Inventario de generación de residuos electrónicos, se generó un total de 998 mil toneladas de estos residuos, ocupando el segundo lugar después de Brasil (GOCDMX, 2020).

Para 2019, de acuerdo con el Monitoreo mundial de los residuos electrónicos (GEM 2020), se generó una cifra récord de 53.7 MT de residuos electrónicos, lo cual representa un incremento del 21 por ciento respecto a las cifras de los últimos cinco años anteriores. Según este informe, solo el 17 por ciento se recolectó y recicló de manera ambientalmente racional (Wagner y otros, 2022). El problema se complicará para el año 2030 en México, ya que, de acuerdo con estimaciones de las Naciones Unidas, en el país habrá 140 millones de habitantes y para el 2050 se rebasaran los 155 millones; como todas estas personas demandarán recursos para su subsistencia y bienestar, provocará una mayor demanda de bienes y servicios, y como consecuencia habrá una mayor explotación de recursos naturales; sin duda, un escenario catastrófico para el bienestar del país en materia ambiental y de sus habitantes (ONU, 2017).

La tendencia actual indica que la producción y consumo de aparatos eléctricos y electrónicos como son teléfonos, computadoras portátiles o televisores debido a su vida programable, aumentará, al igual que la cantidad de residuos generados en los próximos decenios, lo cual tiene un impacto negativo en el medio ambiente y en la salud, ya que estos residuos contienen una serie de sustancias peligrosas como éteres, bifenilos polibromados, plomo, cadmio, mercurio y cromo hexavalente, que son tóxicas para el ambiente y el ser humano. La mayor parte de estos residuos no se someten a tratamientos apropiados de reciclado, es decir, muchos de sus componentes tóxicos terminan varados en tiraderos de basura, en relleños sanitarios o se vierten en depósitos de agua, liberando sustancias tóxicas en donde las personas, la flora y la fauna son expuestos a estos materiales tóxicos,

sobre todo cuando se practica la quema de estos residuos y su contaminación se expande considerablemente (Baldé, Forti, Kuehr & Stegmann, 2017).

Ante la problemática expuesta, el siguiente trabajo tiene como objetivo reflexionar sobre el impacto ambiental que produce la gestión inadecuada de los RAEE, al existir volúmenes enormes de este tipo de desperdicios que difícilmente se degradan y que se vuelven un asunto central en la discusión del tema ambiental, además de reflexionar si México está preparado para implementar los principios de la Economía Circular que le ayuden a gestionar de mejor forma los RAEE. Para acatar el objetivo planteado, se recurre a una revisión documental y reflexiva de algunas legislaciones que hoy regulan la gestión de los RAEE en México y si esto ha contribuido a cambiar en algo la Economía lineal que ha existido por mucho tiempo. Por lo que, en el apartado posterior a este se menciona qué son y qué involucra hablar de los RAEE para diferenciarlos de otros tipos de residuos sólidos urbanos. En un siguiente apartado se mencionan las regulaciones más importantes vigentes a nivel mundial, así como en México en materia ambiental, para que posteriormente, se reflexione en torno a las legislaciones que abren camino a la Economía Circular y las posibilidades de ser adoptada en México de manera formal, así como a los retos que esto presenta. Para finalizar con una reflexión a modo de conclusión.

2. Los RAEE: clasificación y componentes

De acuerdo con la definición de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), se considera residuo electrónico todo aparato que utiliza un suministro de energía eléctrica y que ha llegado al fin de su vida útil (OCDE, 2001). Por su parte, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y la definición jurídicamente vinculante del Convenio de Basilea definen los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos o RAEE como el equipo eléctrico o electrónico que es un residuo, incluidos todos los componentes, subconjuntos y artículos consumibles que forman parte del equipo en el momento en que se convierte en residuo (Wagner y otros, 2022).

Los aparatos eléctricos o electrónicos comprenden una amplia gama de productos, prácticamente cualquier electrodoméstico o equipo con circuitos electrónicos o componentes eléctricos, alimentados directamente con electricidad o mediante baterías. De acuerdo con la Asociación para la Medición de las Tecnolo-

gías de la Información y Comunicación (TIC) en favor del desarrollo, la definición de los residuos electrónicos abarca seis categorías de residuos: 1) Aparatos de intercambio de temperatura (refrigeradores, aire acondicionado). 2) Pantallas y monitores (computadoras, tabletas, televisiones). 3) Lámparas (LED o fluorescentes). 4) Grandes aparatos (como lavadoras o secadoras). 5) Pequeños aparatos (aspiradoras, hornos de microondas, tostadoras). Y 6) Aparatos de informática y telecomunicaciones pequeños (teléfonos móviles, GPS, calculadoras). Cada categoría tiene cantidades de residuos y valores económicos diferentes, así como distinta repercusión potencial sobre el medio ambiente y la salud cuando no se reciclan adecuadamente (Baldé, Forti, Kuehr & Stegmann, 2017).

Los diferentes tipos de materiales que componen los RAEE son altamente contaminantes, ya que se puede encontrar una gran cantidad de elementos que provocan diferentes afectaciones en la salud (cuadro 1).

CUADRO 1. COMPONENTE DE LOS RAEE Y SUS AFECTACIONES EN LA SALUD

Sustancias	Aplicación en AEE	Afectaciones en la Salud
Aluminio	Casi todos los aparatos electrónicos que utilizan más de unos pocos vatios de potencia (disipadores), condensadores electrolíticos.	La exposición al aluminio puede causar fiebre de los humos metálicos, que es parecida a la influenza. Los síntomas incluyen sabor metálico, dolor de cabeza, fiebre, escalofríos, dolores, opresión en el pecho y tos.
Americio	Equipos médicos, detectores de incendios, elementos de detección activa en detectores de humo.	Una vez que este elemento entra al organismo, se mueve rápidamente y se concentra en los huesos en donde se queda por largo tiempo, liberando radiaciones, las cuales pueden desencadenar cáncer en los huesos y problemas genéticos.
Arsénico	Pequeñas cantidades en forma de arseniuro de galio dentro de diodos emisores de luz.	Es un elemento metálico venenoso, su exposición crónica puede conducir a diversas enfermedades de la piel y disminuir la velocidad de conducción nerviosa, también puede causar cáncer de pulmón y puede ser a menudo mortal.

Sustancias	Aplicación en AEE	Afectaciones en la Salud
Bario	Elemento metálico que se utiliza en bujías, lámparas fluorescentes y «captadores» en tubos de vacío. Getters en CRT.	Puede conducir a hinchazón del cerebro, debilidad muscular, daño al corazón, el hígado y el bazo, además de aumento de la presión arterial y cambios en el corazón.
Cadmio	Baterías recargables de NiCd, capa fluorescente (pantallas CRT), tintas y tóner de impresora, fotocopiadoras (tambores de impresora), resistencias sensibles a la luz, aleaciones resistentes a la corrosión.	Los componentes de cadmio pueden tener graves efectos en los riñones, gripe, como síntoma de debilidad, fiebre, dolor de cabeza, escalofríos, sudoración y dolor muscular, cáncer de pulmón y daño renal, osteomalacia y osteoporosis.
Cloruro de polivinilo	Utilizan en el cableado eléctrico.	Provoca problemas de diferente índole en el sistema respiratorio, ya que contiene hasta un 56 por ciento de cloro que cuando se quema produce grandes cantidades de gas de cloruro de hidrógeno, que se combina con agua para formar ácido clorhídrico.
Cobre	Alambre de cobre, placa de circuito impreso, pistas, componentes conductores.	Puede causar lesión hepática, dolor abdominal, calambres, náuseas, diarrea y vómito.
Cromo vi	Cintas de datos, disquetes.	La mayoría de compuestos de cromo pueden provocar lesiones oculares permanentes, daños en la piel y daño en el DNA.
Dioxinas	Se generan con el uso de hornos de microondas .	Pueden acumularse en el cuerpo y pueden conducir a malformaciones en un futuro feto, disminución de la reproducción y las tasas de crecimiento y causar el deterioro del sistema inmunológico.
Germanio	En equipos electrónicos transistorizados (transistores bipolares).	Calambres abdominales, sensación de quemadura, tos, enrojecimiento en la piel, enrojecimiento en los ojos .

Sustancias	Aplicación en AEE	Afectaciones en la Salud
Hierro	Chasis de acero, las carcasas y re-tenedores.	Puede causar enfermedades cardíacas y ataques cerebrales.
Litio	Batería de litio.	El litio es un neurotóxico y tóxico para el riñón. La intoxicación por litio produce fallas respiratorias, depresión del miocardio, edema pulmonar y estupor profundo. Daña el sistema nervioso.
Mercurio	Tubos fluorescentes (numerosas aplicaciones), interruptores de inclinación (pinball juegos, timbres mecánicos, termostatos).	Puede causar daño al hígado si se ingiere o se inhala.
Níquel	Baterías NiCd recargables o baterías NiMH, pistola de electrones en CRT.	El efecto adverso más común de la exposición al níquel en seres humanos es una reacción alérgica. Salpullido en la piel, dermatitis, eczema. Algunos trabajadores expuestos al níquel a través de inhalación pueden sensibilizarse y sufrir ataques de asma.
Oro	Conector chapado, principalmente en equipo de cómputo y celular .	Si se inhala polvo de oro puede causar náuseas, vómitos, leucopenia, trombocitopenia, anemia hemolítica.
Óxido de Berilio	Relleno en algunos materiales de interfaz térmica tales como grasa térmica utilizada en disipadores para CPUs y transistores de potencia, magnetrones, ventanas transparentes de cerámica para rayos x, transferencia de calor en aletas tubos al vacío, y los láseres de gas.	La exposición al Berilio puede causar cáncer de pulmón o desarrollar la enfermedad crónica de berilio (beryllicosis) que afecta principalmente a los pulmones.
PCB (bifenilos policlorados)	Condensadores, transformadores, fluidos de transferencia de calor y como aditivos en adhesivos y plásticos.	Causa cáncer en animales y repercusiones en el sistema inmunológico, sistema reproductivo, sistema nervioso y sistema endócrino de los animales, y aunque ya está prohibido su amplia utilización en el pasado, se pueden encontrar en los RAEE.

Sustancias	Aplicación en AEE	Afectaciones en la Salud
Plomo	Soldaduras, monitores CRT, baterías de plomo, revestimiento de cables y placas de circuito impreso.	La exposición al plomo puede causar vómitos, diarrea, convulsiones, coma o incluso la muerte, así como pérdida de apetito, dolor abdominal, estreñimiento, fatiga, insomnio, irritabilidad y dolor de cabeza, afectar los riñones, puede dañar las conexiones nerviosas y causar sangrado y trastornos cerebrales.
Selenio	Fotocopiadoras antiguas (tambores fotográficos).	Puede generar pérdida de cabello, fragilidad de uñas y alteraciones neurológicas (como adormecimiento y otras sensaciones extrañas en las extremidades).
Silicio	Vidrio, transistores, ICs, tarjetas de circuitos impresos.	Puede causar enfermedades de las vías respiratorias, tuberculosis pulmonar, enfermedad renal crónica, cáncer de pulmón y silicosis.
TBBA (tetra-bromo bisfenol-A)	Retardantes de fuego para plásticos (componentes termoplásticos, aislamiento de cables), TBBA es actualmente el retardante de llama más utilizado en tableros de circuitos impresos y envolturas.	Trastornos hormonales graves.
Zinc	Es útil en aplicaciones en las que se requiere electroluminiscencia, fotoconductividad y semiconductividad y tiene aplicaciones en electrónica. Se emplea en aparatos de visión nocturna, en las pantallas de televisión y en revestimientos fluorescentes, interior de pantallas CRT, placas de acero.	Puede producir fiebre de vapores de metal, que es generalmente reversible una vez que la exposición cesa. La ingestión de dosis muy altas puede producir calambres estomacales, náusea y vómitos. La ingestión de niveles altos durante varios meses puede producir anemia, daño del páncreas y disminución del tipo de colesterol beneficioso (HDL) en la sangre.

Fuente: Elaboración propia con base en Vélez (2010) y Pellegrino, Chiozzi, Pinatti y Ramírez (2021).

Como se puede observar en el cuadro 1, los RAEE se diferencian de otros residuos porque estos contienen una mezcla compleja de materiales tóxicos y peligrosos, además de que se necesita tecnología especializada para recuperar la mayor cantidad posible de metales con valor económico, ya que las cantidades usadas de metales como la plata y el oro son porciones muy pequeñas.

La exposición directa con estas sustancias tóxicas implica el contacto de la piel con sustancias peligrosas, la inhalación de partículas finas y gruesas y la ingestión de polvo contaminado. Los efectos negativos de estos metales y sustancias tóxicas se observan mayormente en el personal dedicado a la recuperación y reciclaje de los RAEE que son los más expuestos.

3. Regulaciones en la gestión y manejo de los RAEE

En materia legal, países en su mayoría desarrollados han implementado diversas legislaciones que ponen el tema en la discusión y que hablan de un avance en cuestión de gestión ambiental, ante el constante y rápido crecimiento de los RAEE, que va al ritmo de las tendencias tecnológicas y que se presta a vacíos legales que no marchan al mismo ritmo.

El Convenio de Basilea es un tratado mundial de medio ambiente, y nace como una de las primeras regulaciones en 1989 y entra en vigor en 1992 abordando el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y otros residuos semejantes. Incluyendo el transporte de desechos electrónicos y eléctricos, teléfonos celulares y computadoras, así como de sustancias provenientes de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en buques destinados al desguace, desechos de mercurio y de amianto, y el vertimiento ilícito de desechos peligrosos. Además de que obliga a todas las partes a asegurar que los desechos peligrosos y otros residuos se manejen y eliminen de manera ambientalmente racional, para lo cual se aplican estrictos controles de inspección desde el momento de la generación del desecho peligroso hasta su almacenamiento, transporte, tratamiento, reutilización, reciclado, recuperación y eliminación final (González Ávila, 2012).

Existen otros convenios, como es el Convenio de Estocolmo, que entró en vigor en 2004, y que tiene por objetivo la reducción o eliminación de liberación de los Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs) al medio ambiente, que son sustancias químicas altamente tóxicas, bioacumulables y no se degradan; este convenio regula la exportación e importación de aparatos que contengan bifenilos poli-

clorados y otras sustancias; actualmente hay 186 países que han ratificado este Convenio. El Convenio de Róterdam entró en vigor el mismo año que el Convenio de Estocolmo y establece que cualquier producto químico solo puede exportarse con el consentimiento previo del importador; además, exige proporcionar a los signatarios del Convenio información detallada sobre la naturaleza de los productos; regula compuestos químicos del bromo, así como bifenilos policlorados. Y el Convenio de Minamata, que entró en vigor en agosto del 2017 y regula las emisiones y los compuestos de mercurio, establece restricciones de uso, medidas de fiscalización y mejoras en la gestión de mercurio durante su ciclo de vida; a la fecha, 86 países lo han ratificado, entre ellos México (INCYTU, 2018).

En México existen diversos instrumentos legales de protección ambiental y de gestión de residuos, entre ellos se encuentran la *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos* (LGPGIR, 2015) la cual se refieren a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos como el de manejo especial, prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación, en el territorio nacional, que regula la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la cual aceptó el Convenio de Basilea, y en donde el país se compromete, al igual que otros países, a realizar las acciones necesarias para un manejo adecuado de residuos de manejo especial que incluye RAEE (González Ávila, 2012).

Entre las Normas Oficiales Mexicanas de la SEMARNAT se encuentra la NOM-161-SEMARNAT-2011, que establece los criterios para clasificar 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 a dicho listado, así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo (SEMARNAT, 2013).

La norma ambiental para el Distrito Federal NADF-019-AMBT-2018 –residuos eléctricos y electrónicos–, requisitos y especificaciones para su manejo, tiene como objetivo la correcta separación y clasificación de los residuos eléctricos y electrónicos, con la finalidad de implementar el manejo y adecuada disposición de estos, contribuyendo a la adopción de medidas de manejo que permitan prevenir y disminuir los impactos principalmente al ambiente (GOCDFMX, 2020).

Estos convenios y normas buscan regular la gestión y tratamiento de los RAEE, sancionando aquellos que incumplan con los pactado. No obstante, a pesar que ya se llevan décadas de que se crearon los primeros convenios, como es el de Basilea, el impacto ambiental es mucho mayor a lo que se ha podido regular jurídi-

camente. La contaminación a causa de los RAEE y el daño al ambiente y a la salud ha sido mucho mayor. En la mayoría de los países se sigue dando una gestión inadecuada que perjudica a todo el planeta; datos del World Economic Forum en 2015 contabilizaban solo 67 países con legislaciones para el manejo adecuado de los RAEE (WEF, 2019), lo que habla de una falta de mayor regulación, mayores involucrados y mayores sanciones, en un problema global.

En México, como se mencionó, existen normas y leyes que intentan frenar las consecuencias de la economía lineal y apearse a los postulados de una Economía Circular, pero ¿qué implica una Economía Circular? ¿México está preparado para migrar a una Economía Circular que le permita una mejor gestión de los RAEE?, ¿las actuales regulaciones han podido frenar las consecuencias de la gestión inadecuada de los RAEE y los daños al medio ambiente y la salud? Son preguntas que intentaremos responder en los siguientes apartados.

4. La Economía Circular como propuesta de tratamiento de los RAEE

El Informe de Recursos Globales presentado por el *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente* (PNUMA) señala que el uso de los recursos naturales se triplicó en el mundo en los últimos 50 años, y que se trata de una tendencia que continuará afectando negativamente a los recursos naturales y a la salud humana (PNUMA, 2019). Esto a raíz del consumismo ocasionado por la economía lineal que tiene como fundamento básico extraer, producir, consumir y desechar sin medida, y que de acuerdo al informe de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe es responsable del 90 por ciento de la pérdida de la biodiversidad y la generación de la mitad de los impactos climáticos (CEALC, 2015).

Información de la Plataforma Intergubernamental sobre la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos (IPBES) auspiciado por el PNUMA, revela que las acciones humanas han alterado el 75 por ciento del medio ambiente terrestre y 66 por ciento del ambiente marino; la explotación incontrolada de los recursos naturales es de más de sesenta mil millones de toneladas de recursos del planeta al año, y en los últimos 40 años se multiplicó por diez la polución plástica, la contaminación en los mares provoca cuando menos 400 zonas muertas costeras en las que ya no puede vivir organismo alguno (PNUMA, 2021).

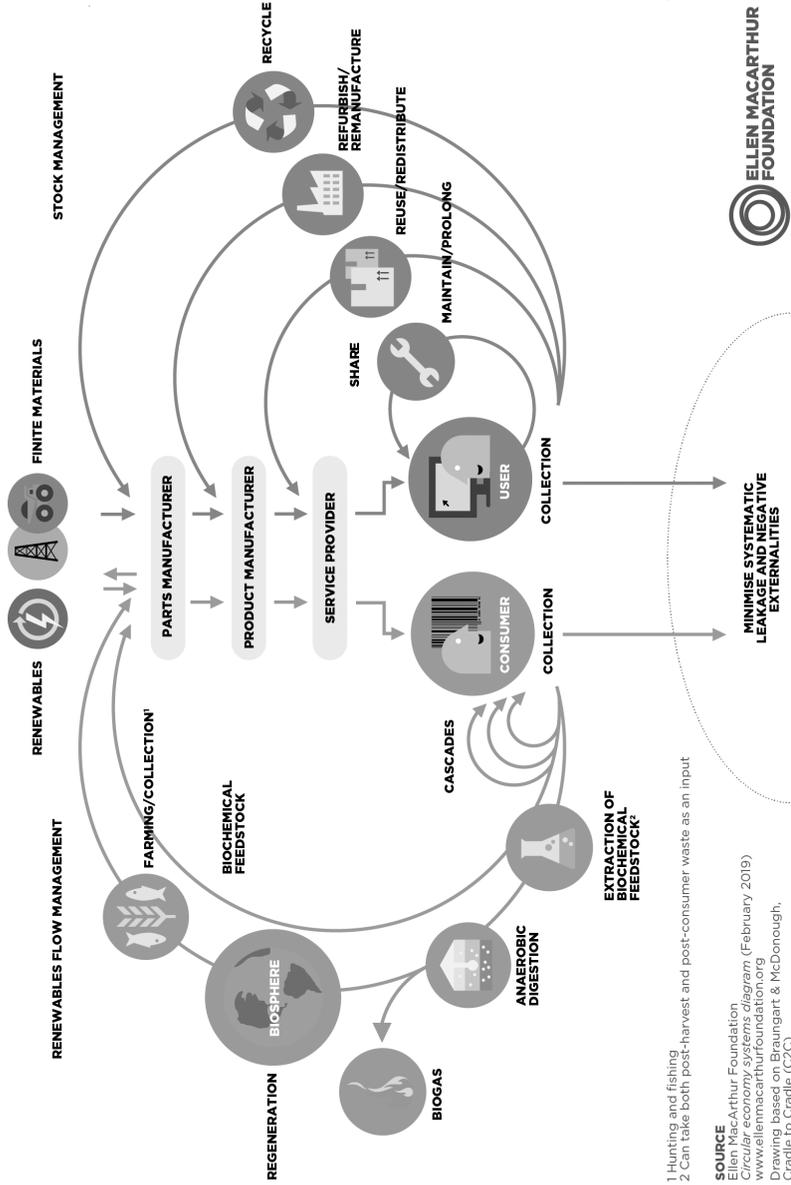
Entre los efectos del cambio climático están las sequías, inundaciones, incendios de grandes hectáreas boscosas, deshielo de polos, extinción de especies animales; en tanto, la contaminación ha provocado el agotamiento de recursos naturales, emisión de gases de efecto invernadero como el metano, deforestación, cambios en el suelo a causa de vertederos de basura, contaminación del agua por basura y desechos químicos, entre otros. Lo que indica que el actual modelo de economía lineal ya es insostenible y, de persistir, nos enfrentaremos a un futuro catastrófico para el planeta y sus habitantes (Guadarrama & Martínez, 2021).

Una vía y propuesta para contrarrestar los efectos de la economía lineal es la Economía Circular, la cual:

[...] se trata de un modelo de producción y consumo que implica reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible, para evitar la extracción de recursos naturales de manera desmedida, de esta forma el ciclo de vida de los productos se extiende por mayor tiempo, ya que antes de llegar al final de su vida útil pueden ser ocupados para otros fines, por lo que se mantienen dentro de la economía siempre que sea posible (Guadarrama & Martínez, 2021, p. 33).

En otras palabras, el modelo propuesto por la Fundación Ellen MacArthur pretende preservar el medio ambiente y optimizar el uso de los recursos, reutilizando los materiales y dándoles así un valor adicional y una vida más larga (figura 1).

FIGURA 1. DIAGRAMA DEL SISTEMA DE ECONOMÍA CIRCULAR



Fuente: Ellen MacArthur Foundation (emf, 2022), «Diagrama de sistemas de Economía Circular», <<https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/diagrama-sistematico>>.

El Diagrama de sistemas de Economía Circular, también conocido como «alas de mariposa», muestra cómo cerrar, tan cerca del lugar de origen como sea posible, el ciclo de vida de los materiales renovables y finitos para evitar generar residuos destinados a disposición final y propone un cambio en donde las empresas diseñen modelos de negocios innovadores que se centren en productos que incluyan componentes estandarizados, productos diseñados para que sean durables y que se facilite el reparo o la reutilización de productos y materiales, y criterios de diseño para fabricación que consideren posibles aplicaciones de coproductos y residuos. Se busca con eso la recuperación y aprovechamiento de los materiales y productos posproducción y posconsumo, tan cerca del lugar en el que se originan como sea posible, para reducir costos y la liberación de gases con efecto de invernadero en su transporte (EMF, 2022). En otras palabras, se busca la reducción de insumos y menor utilización de los recursos naturales, reducción de emisiones, disminuir las pérdidas de materiales y de residuos, y mantener el valor de los productos, componentes y materiales en la economía (Cerdá & Khalilova, s/f).

Entre los postulados de la Economía Circular se encuentran (Cerdá & Khalilova, s/f):

- Modelos innovadores de negocios que sean servicios orientados al producto, al uso o al resultado, en los cuales los clientes alquilen un producto por determinado tiempo y puedan cambiarlo cuando lo decidan, el cliente siempre tendrá el producto, pero no será de su propiedad.
- Segunda vida de materiales y productos, al recuperar las empresas los productos y reacondicionarlos para su venta nuevamente.
- Consumo colaborativo al reutilizar un artículo que ya no es útil para alguien, pero sí para otra persona.
- Productos mejor diseñados, que el diseño de los aparatos permita piezas con mayor calidad en sus componentes, piezas removibles fácilmente, que posibilite su reparación y fabricación de piezas para el recambio y que utilicen materiales reciclados.
- Garantía de reparaciones y compra de productos desechados, proporcionar una garantía del producto y que el productor o vendedor puede adquirir el viejo aparato descontando parte del costo del nuevo, o simplemente comprando el viejo aparato para su reparación y venta nuevamente, fomentando así la reparación y reutilización de los productos y sacando el máximo aprovechamiento de los residuos de aquellos aparatos que no tengan compostura.

- Servicio preventivo de los aparatos, que los productores y vendedores garanticen servicios preventivos de limpieza y reparación de los aparatos cada determinado tiempo como forma de alargar la vida y funcionamiento de los productos.
- Consumo más responsable al proporcionar la información suficiente por medio de una etiqueta ecológica que describa las características referentes al ciclo de vida de los aparatos, la durabilidad, qué tan reparable, desarmable o reciclable es, las opciones de servicio y reparación, para que el consumidor pueda tomar decisiones más acertadas de compra, apegadas a los postulados de la Economía Circular.
- Regulación contra la obsolescencia programada, la cual es una estrategia que muchas empresas utilizan para que sus productos dejen de funcionar en determinado tiempo, con la finalidad de estimular el consumo de los clientes para la compra de nuevos aparatos, lo que conlleva a prácticas fraudulentas que exigen una regulación más firme y sanciones efectivas hacia las empresas que ponen en marcha este tipo de estrategias.
- Corresponsabilidad de los productores, al comprometerse a fabricar productos con menores cantidades de materiales peligrosos, y se responsabilicen del ciclo de vida completo de sus productos, desde su diseño, su producción y principalmente de la etapa de posconsumo, es decir, un compromiso en la recolección, valorización y disposición final de los residuos.
- Ecodiseño que asegure diversas acciones orientadas a la mejora del producto o servicio, desde su creación hasta su tratamiento como residuo, para garantizar la durabilidad, la reparación, la reutilización, la remanufactura, el reciclaje seguro y en general la extensión del ciclo de vida útil de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (Puentes, 2018; Urbinati, Chiaroni & Chiesa, 2017). Da lugar a productos hechos con menos recursos, siendo estos renovables y reciclados, evitando materiales peligrosos, y con componentes que tienen mayor duración y son más fáciles de mantener, reparar, actualizar y reciclar. Entre sus reglas están: no utilizar sustancias tóxicas, minimizar el consumo de energía, aprovechar las posibilidades estructurales del producto, promover sistemas de reparación y actualización, promover larga duración a los productos, invertir en materiales de calidad y arreglos estructurales, utilizar el mínimo de elementos de unión.

Se trata de una prolongación del tiempo de vida útil de los productos, que promueve la reutilización de productos y sus componentes, la reparación, actualización y reelaboración, con la finalidad de frenar la producción desmedida, para disminuir la cantidad de RAEE producto del consumismo, en donde se debe realizar como trabajo colaborativo entre el orden público, el privado y la sociedad en general.

4.1. Marco regulador de la gestión de los RAEE en México

En México, la Economía Circular es relativamente nueva; apenas se pueden identificar algunas iniciativas en materia de Economía Circular. Desde hace algunos años, se ha intentado adoptarla de manera formal mediante propuestas de ley que aún siguen en discusión. No obstante, varias regulaciones cuentan con objetivos que encaminan a una circularidad en el manejo y alargamiento de la vida útil de los RAEE.

La Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos que, de acuerdo con la *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente* (LGEEPA, 2015) son aquellos residuos con características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas, infecciosas o irritantes, representa un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente, y la Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, que establece los criterios para clasificar los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo, al considerar que los Residuos de Manejo Especial pueden recuperarse, ya sea como materia prima para procesos de manufactura o aprovechamiento energético (SEMARNAT, 2013). Esta Norma se centra en los criterios que productores, exportadores, importadores y distribuidores de productos deben tomar en las acciones encaminadas a maximizar el aprovechamiento y la valorización de los residuos con base en estrategias y acciones para su tratamiento y gestión. No obstante, investigadores del Instituto de Física Interdisciplinar y Sistemas Complejos (IFISC) han identificado 28 países que corren un alto riesgo de congestión de residuos peligrosos, con riesgo para la salud y el medio ambiente; entre ellos se encuentra México (NG, 2022).

La *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos* (LGPGIR) también contiene principios en cuanto al manejo de los residuos especiales y peligrosos que están vigentes, de los cuales rescatamos aquellos ordenamientos que

se encaminan a dar un mejor manejo de los RAEE en cuanto a los postulados de la Economía Circular (LGPGIR, 2015):

a) La responsabilidad de los órganos institucionales en la gestión de RSU y la responsabilidad compartida

Los artículos 7, 9, y 10 de la LGPGIR se refieren a las atribuciones en materia de prevención de la generación, aprovechamiento, gestión integral de los residuos de la federación, las entidades federativas y los municipios, y que tienen que ver con la recolección, traslado, tratamiento y su disposición final de los residuos sólidos urbanos. Específicamente, el apartado «x», que postula la prevención de la contaminación de sitios con materiales y residuos peligrosos y su remediación. En otras palabras, la responsabilidad de estas instancias en todos los niveles de formular normas y leyes para una adecuada gestión de los residuos contaminantes, pero también de proporcionar los mecanismos necesarios (trabajadores capacitados con buenas condiciones laborales y maquinaria y equipo adecuados para su protección) para llevar a cabo esta gestión.

Y que se refrenda en el artículo 25, que menciona la formulación de un *Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos* que se base en los principios de reducción, reutilización y reciclado de los residuos, en un marco de sistemas de gestión integral, en los que aplique la responsabilidad compartida y diferenciada entre los diferentes sectores sociales y productivos y entre los tres órdenes de gobierno. Así como el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos, que es el estudio que considera la cantidad y composición de los residuos, así como la infraestructura para manejarlos integralmente. Además de que el artículo 26 menciona la elaboración de programas locales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

No obstante, aunque existen este tipo de legislaciones, de acuerdo con información de periódico *El Economista*, para 2021 solo había empresas de reciclaje en 15 entidades de la República Mexicana, de las cuales el 69 por ciento atendía niveles de reciclaje 0 y 1, es decir, encargadas de la recolección, transporte, acopio de todo tipo de residuos y de la selección de residuos no electrónicos; mientras que 31 por ciento atendían el nivel dos, hacían una separación física de los residuos electrónicos y solo había una planta de nivel 3 en Nuevo León, la cual se dedica a la refinación de metales como el cobre (Riquelme, 2021).

En la Ciudad de México, la Secretaría del Medio Ambiente puso en marcha desde el 2013 el programa *Reciclatron*, cuyo objetivo es el manejo especial de separación y reciclaje de los RAEE, el cual consiste en designar diferentes centros de acopio en toda la ciudad, dividiéndolos en cinco categorías (A, B, C, D y E) para gestionar su tratamiento y disposición de acuerdo con cada tipo de RAEE. Estos son almacenados de forma temporal en la empresa Recupera para ser desarmados y enviados a diferentes empresas para su reciclaje (SEDEMA, 2023). Sin embargo, es un programa que, si bien ha contribuido a recuperar una gran cantidad de RAEE, este solo se realiza dos días por mes, que, si lo comparamos con las cantidades de RAEE que se desechan mencionados, la diferencia es enorme.

Lo anterior concuerda con investigaciones como las que realizaron Ghosh, Ghosh, Parhi, Mukherjee y Mishra (2015), al analizar la industria del reciclaje electrónico y sus procesos finales de recuperación de materiales a través de separación física, química o biológica, con la finalidad de determinar el nivel de reciclaje tecnológico que puede tener un país y analizar la factibilidad para recuperar materiales localmente mediante dichos procesos. Estos estudios demostraron que los países emergentes como México no tienen tecnologías de procesamiento final para recuperar todos los materiales, como pueden ser las tarjetas de circuitos impresos, componente con mayor importancia económica en un teléfono celular.

Otras investigaciones, como las de Baldé, Forti, Kuehr y Stegmann (2017), afirman que la mayoría de países de economías emergentes solo tienen procesos básicos de reciclaje, como separación manual de componentes, junto con trituradoras, separadores de metales y compactadores, y muy pocos recicladores recuperan algunos materiales como oro, cobre, cobalto y estaño.

b) Gestión y tratamiento de los RAEE

Una gestión y tratamiento adecuado de los RAEE implica evitar los peligros para la salud y el ambiente, así como la recuperación de los materiales valiosos que contienen los RAEE con el fin de que sean reutilizados y se aminore la sobreexplotación de estos materiales.

La gestión y tratamiento busca reducir la contaminación mediante el proceso de reciclado que consta de principalmente tres fases: I) Recolección y clasificación, de acuerdo con los niveles y tipos de emisiones y contaminación, al potencial de recuperación de materiales y a la logística de transporte; II) Tratamiento físico-químico, se realiza en plantas de tratamiento donde se modifican las ca-

racterísticas físicas, o bien la composición química de los residuos de manera de separar elementos, eliminar las propiedades nocivas de estos para obtener un residuo menos peligroso, y III) Disposición Final: los residuos irreductibles se disponen en rellenos de seguridad o son inmovilizados mediante procedimientos de cementación. Durante el proceso de reciclado pueden recuperarse, en promedio, entre el 60 y el 80 por ciento de los materiales contenidos en cada tipo de equipo (Pellegrino, Chiozzi, Pinatti & Ramírez, 2021). La recuperación de metales durante el reciclaje genera ahorros energéticos y conservación de recursos naturales, además de que la cantidad promedio de los metales recuperados puede ser significativamente mayor al obtenido directamente de minas (INCYTU, 2018).

El apartado VIII del artículo 19 de la LCPGIR menciona el manejo específico por sus características, de los residuos tecnológicos, productos electrónicos o de vehículos automotores y otros, al transcurrir su vida útil. Y que de acuerdo con el artículo 30 están sujetos a planes de manejo con base en los siguientes criterios: I. un alto valor económico en sus materiales, II. que se trate de residuos de alto volumen de generación, III. que se trate de residuos que contengan sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables, y IV. que se trate de residuos que representen un alto riesgo a la población, al ambiente o a los recursos naturales.

En cuanto al manejo integral de los residuos peligrosos, el artículo 42 menciona la posibilidad de contratar los servicios de manejo de los residuos peligrosos con empresas o gestores autorizados por la Secretaría, o bien transferirlos a industrias para su utilización como insumos dentro de sus procesos, mediante un plan de manejo para dichos insumos, siendo responsable del manejo y disposición final de los residuos peligrosos quien los genera. En el caso de que se contraten los servicios de manejo y disposición final de residuos peligrosos por empresas autorizadas, los residuos serán entregados a dichas empresas y la responsabilidad será de estas.

En México, un ejemplo de empresas vinculadas en la gestión de los RAEE la encontramos en la iniciativa del emprendedor Álvaro Núñez Solís, quien ha logrado consolidar empresas ambientales, formado un Modelo de Gestión de Productos Obsoletos basado en un Sistema de Economía Circular Colaborativa (SECC), en donde el Punto Verde impulsa la educación y conciencia ambiental en la población hispanoparlante para que participen mediante «Junta, Entrega y Recicla», que es una plataforma *Progressive Web App* de logística encargada del acopio de productos electrónicos obsoletos desde el origen (casas/oficinas) para ser entregados a la empresa Recicla Electrónicos México (REMSA), que cuenta con la

infraestructura para el reúso o reciclaje de los productos electrónicos, haciendo sinergia de forma interna con EcoMakerShop, laboratorio de innovación para el desarrollo de soluciones enfocadas al reúso de componentes que son recibidas por EcoMakerStore, tienda física y online que comercializa los materiales, refacciones y productos recuperados de los aparatos electrónicos, con el objetivo de lograr un sistema circular y sostenible. Al final, con EcoMakerStore se logra reincorporar esas materias primas, piezas, componentes, refacciones y sistemas en productos diseñados y desarrollados respetando las recomendaciones de la Economía Circular logrando alargar la vida útil a una cuarta parte del precio que costaría en el mercado (Núñez, 2021).

La realidad es que no se da una gestión adecuada de los RAEE, ya que en la mayoría de los países principalmente en vía de desarrollo recurren a la incineración no controlada sin sistema de tratamientos especiales para emisiones, causando contaminación del aire por la emisión de material particulado que puede provocar afecciones respiratorias, ataques de asma, tos, irritación de los ojos, etcétera. Otro de los sistemas más usados para la disposición de los RAEE son los rellenos sanitarios que generan lixiviados (líquidos que se forman como resultado de pasar a través de un sólido); de esta forma, los metales pesados llegan al suelo y a las fuentes de agua, provocando efectos nocivos para la salud de aquellos que los llegan a consumir (Pellegrino, Chiozzi, Pinatti & Ramírez, 2021). Ejemplo de esto es el tiradero del Bordo de Xochiaca, en Nezahualcóyotl, Estado de México, que ha sido un tiradero a cielo abierto denominado Neza III, el cual alberga mil 200 toneladas de basura que se genera diariamente, incluyendo RAEE que son depositados ahí sin una gestión adecuada, y la mayoría de los recolectores no están capacitados para su tratamiento, ya que la recolección es casa por casa y los recolectores los desarmen o los almacenan en lugares inadecuados (Fernández, 2020).

Otra forma de gestión de los RAEE es el reciclaje informal, el cual consiste en la obtención de materiales con valor comercial, desechando los demás componentes de manera incontrolada a cargo de pepenadores y acopiadores de residuos, utilizando métodos como baños de ácido en áreas abiertas para recobrar oro, cobre, plata y otros metales valiosos; usar bloques de carbón como parrillas para calentar tarjetas de circuitos impresos y remover componentes electrónicos, calentar y derretir los plásticos sin una ventilación adecuada, incinerar cables y materiales no deseados a cielo abierto, desmantelar los aparatos mediante procesos rudimentarios, y con esto liberando compuestos tóxicos al medio ambiente (INCYTU, 2018).

Lo anterior implica una serie de desafíos en la gestión de los RAEE, puesto que existe una heterogeneidad de productos que con el paso del tiempo evolucionan en términos de tamaño, peso, funciones y composición, y el impacto ambiental al final de la vida útil. Además de que la introducción continua de nuevos productos y diferentes características requiere el desarrollo continuo de tecnologías de tratamiento apropiado para la eliminación gradual de sustancias potencialmente peligrosas, o de la complejidad en la recuperación de metales para su reúso, así como del adiestramiento continuo de los participantes involucrados en su tratamiento (UNU-IAS, 2015).

c) Participación y responsabilidad social en la gestión de los RAEE

La participación de todos los sectores sociales en la prevención de la generación, la valorización y gestión integral de residuos, será promovida por el gobierno federal, los gobiernos de las entidades federativas y los municipios de acuerdo con el artículo 35 de la LGPGIR, integrando órganos de consulta en los que participen entidades y dependencias de la administración pública, instituciones académicas, organizaciones sociales y empresariales que tendrán funciones de asesoría, evaluación y seguimiento en materia de la política de prevención y gestión integral de los residuos (artículo 36).

La Norma Ambiental para el Distrito Federal, NADFO19-AMBT-2018 –residuos eléctricos y electrónicos–, requisitos y especificaciones para su manejo, también promueve programas para la recolección de residuos eléctricos y electrónicos y jornadas de acopio de residuos eléctricos y electrónicos.

En cuanto a la responsabilidad de daños, el artículo 68 de la LGPGIR estipula que toda persona física o moral que, directa o indirectamente, contamine un sitio u ocasione un daño o afectación al ambiente como resultado de la generación, manejo o liberación, descarga, infiltración o incorporación de materiales o residuos peligrosos al ambiente, será responsable y estará obligada a su reparación y a la compensación correspondiente, de conformidad con lo previsto por la *Ley Federal de Responsabilidad Ambiental*.

Por ello, las medidas de control y sanciones estarán sujetas de acuerdo con el artículo 101 por visitas de inspección y vigilancia en materia de residuos peligrosos e impondrá las medidas correctivas, de seguridad y sanciones que resulten procedentes, de conformidad con lo que establece esta Ley y la *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*.

Son infracciones de acuerdo con el artículo 106, apartado IV: verter, abandonar o disponer finalmente los residuos peligrosos en sitios no autorizados para ello; y V. incinerar o tratar térmicamente residuos peligrosos sin la autorización correspondiente. Pero día a día se pueden observar en el país montones de basura acumulados cerca de la población y expuestos al aire, el agua y a múltiples factores que ponen en riesgo la salud y el medio ambiente, y ninguna autoridad hace nada, ni sanciona a nadie por los malos tratamientos que se les dan a los RAEE.

4.2. La Economía Circular en México

El 18 de noviembre de 2021, el Senado de la República aprobó la *Ley General de Economía Circular* (LGECE). Sin embargo, esta Ley aún sigue siendo discutida y analizada, la cual pretende promover la eficiencia del uso de los productos, a través de la reutilización, el reciclaje y el rediseño, y así contrarrestar la generación excesiva de residuos, por medio de la participación de la SEMARNAT, de las entidades federativas y de los gobiernos locales. Entre sus postulados está presentar ante la SEMARNAT un plan de Economía Circular, un plan de manejo de residuos, un plan de responsabilidad compartida, regular los incentivos fiscales y actividades económicas y el establecimiento de las sanciones como multas de \$1 924 400 a \$5 773 200 a quien no cumpla con la Ley, arresto administrativo hasta por 36 horas, reparación del daño, servicio comunitario, suspensión o revocación de las concesiones, licencias, permisos o autorizaciones correspondientes. Y aunque esta Ley aún no ha sido aprobada, sí redefinirá el modelo actual de negocios que trae nuevas obligaciones, beneficios fiscales y redefine la forma de hacer negocios (López, Rodríguez & Vazquez, 2022).

El ordenamiento que sí se aprobó fue la *Ley de Economía Circular en la Ciudad de México* el 14 de febrero de 2023, cuyo objetivo es la de promover una transición hacia un modelo circular para eliminar residuos y contaminación, mantener productos y materiales en uso el mayor tiempo posible y regenerar los sistemas naturales, mediante un consumo responsable que involucre el reúso, restauración y reciclaje de los productos (LECCM, 2023).

La evaluación de la información declarada por las empresas del grado de cumplimiento de los parámetros de circularidad obtenida está a cargo de la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA). A las empresas que se hayan sometido a la evaluación de la Circularidad y cumplan con los niveles establecidos se les otorgará un distintivo de circularidad de sus productos o servicios

evaluados, que tendrá un número de identificación del nivel de cumplimiento, con duración de tres años (COCDMX, 2023). Pero ¿qué pasará con aquellas empresas que no quieran someterse a la evaluación de circularidad? Y ¿qué pasará con que no aprueben la evaluación?

Entre algunos de sus objetivos específicos están promover entre los habitantes de la Ciudad de México la adopción de hábitos de consumo responsable; fomentar la revalorización de los productos y materiales para evitar que se conviertan en residuos y reducir el consumo de agua, energía y recursos naturales; facilitar la colaboración entre mipymes y grandes empresas para lograr el encadenamiento productivo de sus procesos, así como en sus dinámicas de comercialización, a través de modelos de intercambio de materiales e insumos bajo una perspectiva de eficiencia y aprovechamiento, entre otros, lo cual exige una reeducación de los habitantes en sus hábitos en cuanto al reciclaje, reutilización y reducir.

Existen algunos casos que dan cuenta de que la Economía Circular en México es viable. En 2019, el estado de Quintana Roo fue el primero en promulgar una *Ley de Prevención, Gestión Integral y Economía Circular de los Residuos* (LPGIECREQR, 2019). En Querétaro, en 2020, el municipio de Landa de Matamoros, en la Reserva de la Biósfera Sierra Gorda en Querétaro, ha sido el primero en publicar su *Reglamento Municipal de Prevención, Gestión Integral y Economía Circular de los Residuos*, elaborado con el apoyo de la Red Queretana de Manejo de Residuos (REQMAR) la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) y los coordinadores de servicios municipales de los cinco municipios de la Región de la Sierra Gorda, el Grupo Ecológico Sierra Gorda IAP y la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Querétaro (SEDESU) (FCC, 2022).

El municipio de San Andrés Cholula, en Puebla, ha publicado en 2021 su *Reglamento Municipal de Prevención y Gestión Integral Sustentable de Residuos, con un enfoque de Economía Circular*, en colaboración con la Universidad Iberoamericana de Puebla. Dicha universidad, junto con la Universidad Autónoma de Querétaro y la Fundación Cristina Cortinas, están desarrollando un modelo para la implementación de los Reglamentos municipales de San Andrés Cholula y Landa de Matamoros, con el apoyo de talleres y ejercicios de acompañamiento para la formación de cooperativistas y de emprendimientos sociales que participen en actividades para alargar la vida de los productos de consumo y para su reciclaje.

Existe circularidad en México, sin embargo, es muy poca, de acuerdo con la Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión (INCYTU, 2018); del total de RAEE generados a nivel nacional, alrededor del 10 por

ciento se recicla, 40 por ciento permanece almacenado en casas habitación o bodegas y el 50 por ciento restante es mandado a rellenos sanitarios.

A pesar de la importancia del problema, este México no cuenta con una normatividad específica enfocada a la gestión de los RAEE. La *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos* (LGPEGIR), la cual define los RAEE como residuos tecnológicos y los clasifica como residuos de manejo especial, en donde los estados y municipios son los encargados de su gestión, es decir, de la prevención, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final. Pero esta Ley solo define la clasificación de los residuos, no asigna responsabilidades claras sobre su gestión y manejo y esto da apertura a un mercado informal.

Reflexiones finales

A lo largo de esta reflexión se intentó mostrar el impacto negativo de los RAEE, así como analizar las directrices que regulan su gestión y tratamiento en México, algunas de ellas aún en proceso de consolidación. No obstante, queda la duda de si México tiene la infraestructura para implementarlas y se dé un cambio efectivo en la gestión de sus residuos y particularmente en los RAEE.

Sin embargo, parte de la respuesta a este problema tiene que ver con la sensibilización y el compromiso ciudadano, en cuanto a fomentar una conciencia crítica para reducir el consumo de productos innecesarios y peligrosos; promover el uso de productos alternativos, y potenciar las iniciativas que se encarguen de la recuperación de aparatos desechados. Otra parte de la respuesta está en una sustentabilidad que pueda sostenerse a largo plazo en cuanto al uso limitado de los recursos a un ritmo que produzca niveles de residuos que el ecosistema pueda absorber; a la explotación de los recursos renovables en proporciones que no sobrepasen la capacidad del ecosistema de regenerar tales recursos; a consumir los recursos no renovables en proporciones que no sobrepasen las tasas de desarrollo de recursos renovables sustitutivos, y a la equidad global de manera que exista un equilibrio perdurable entre población, recursos y medio ambiente (López, 2014).

Si bien, aunque la Economía Circular no ha terminado de configurarse y los avances a nivel mundial todavía se encuentran muy limitados al tema de los residuos (Roldán, 2021), esta se convierte en una opción para reducir la presión sobre el medioambiente, mejorar el suministro de recursos naturales y proporcionar a

los consumidores productos más duraderos e innovadores que les brinden una mayor y mejor calidad de vida (Guadarrama & Martínez, 2021). Lo que se busca es que, con la reparación o reutilización de los aparatos, estos no se conviertan en RAEE, en el corto plazo, sino que se les dé una vida más larga que promueva una menor sobreexplotación de recursos naturales (Pellegrino, Chiozzi, Pinatti & Ramírez, 2021).

Para ello se necesita de una planeación que tome en cuenta las condiciones de desarrollo del país, la infraestructura y tecnologías existentes y disponibles, requeridas para la gestión y seguimiento de los RAEE, del uso del conocimiento, y experiencias, así como de la participación del gobierno y de las organizaciones privadas, de la academia e investigación y de comunidad en general; para la definición de acuerdos y consensos que permita establecer las bases para la adecuada legislación y regulación para el desarrollo de la circularidad en el país, y que dé herramientas e incentivos para superar los obstáculos que pudieran frenar la transformación sustentable de los procesos productivos (Garza, 2021). Se trata de transacciones múltiples a través de modelos de negocios circulares (Nußholz, 2017).

La Economía Circular marca el inicio de un cambio hacia el futuro en donde el cuidado al medio ambiente es una prioridad en beneficio de los ciudadanos, y en donde se requiere la participación de gobiernos, organizaciones y comunidad en general. Mediante una educación basada en una conciencia ecológica y de reúso, una producción y consumo responsable y acciones a favor de la preservación ambiental.

Los consumidores son uno de los principales actores que deciden el destino final de los RAEE. Por ejemplo, si un usuario decide cambiar su dispositivo por un nuevo modelo, este decidirá venderlo o regalarlo o entregarlo a un reciclador; de esta manera, los materiales volverán a ingresar al sistema circular. Si el usuario decide tirar a la basura o almacenar, los materiales se perderán y saldrán del sistema. Además, si los equipos electrónicos terminan en manos de recicladoras, se encargarán de reparar, reacondicionar o separar los componentes valiosos para volverlos a usar en la fabricación de otros productos (Korhonen, Honkasalo & Seppälä, 2018).

Una gestión y tratamiento adecuado implica una alta inversión en tecnología y capacitación; también implica la adopción de una cultura y preservación ambiental, en donde tanto organizaciones productoras, gobierno y ciudadanía trabajen de la mano para visualizar primero las consecuencias de una mala gestión

y proponer después mecanismos de trabajo colaborativo para reducir el impacto ambiental y a la salud de los seres vivos, y sean conocedores del proceso de gestión y tratamiento de este tipo de productos; así, los ciudadanos sepan donde llevar sus RAEE y las autoridades junto a las organizaciones se encarguen de capacitar y crear organizaciones especializadas en la gestión y tratamientos adecuados. Pero México no tiene la suficiente infraestructura formal para hacerse cargo de sus RAEE, lo que fomenta es la existencia de un sector informal en las principales ciudades del país del que poco se sabe.

Esto habla de que no existe hoy la capacidad ni los mecanismos necesarios para migrar a una Economía Circular; esto no quiere decir que no puedan dar, simplemente que las gestiones actuales en materia de gestión de RAEE están aún en pañales. Falta mucha infraestructura y capacitación. Sin embargo, en México es un tema que ya está sobre la mesa. Y aunque es un inicio, el que no haya una educación y sensibilidad más profunda y una legislación más dura, poco contribuirá hacia un cambio de paradigma, hacia una nueva forma de producción y consumo y hacia una consolidación de la Economía Circular (Guadarrama & Martínez, 2021).

Referencias

- Baldé, C., Forti, V., Kuehr, R. & Stegmann, P. (2017). *Observatorio mundial de los residuos electrónicos 2017*. Bonn, Ginebra, Viena: Universidad de las Naciones Unidas (UNU), Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA).
- Baldé, C., Kuehr, R., Blumenthal, K., Fondeur, G., Kern, M., Micheli, P., Huisman, J. (2015). *E-waste Statistics - Guidelines on Classification, Reporting and Indicators*. Bonn, Alemania: United Nations University, IAS - scycle. <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/partnership/E-waste_Guidelines_Partnership_2015.pdf>.
- CDMX (23 de 3 de 2023). Congreso local aprueba Ley de Economía Circular de la CDMX. Congreso de la Ciudad de México: <<https://www.congresocdmx.gob.mx/comsoc-congreso-local-aprueba-ley-economia-circular-cdmx-4128-1.html>>.
- CEALC (2015). *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible*. Santiago de Chile: Naciones Unidas, CEPAL.
- Cerdá, E. & Khalilova, A. (s/f). Economía Circular. *Economía Circular, Estrategia y Competitividad Empresarial*, 104, 11-20.

- EMF (6 de diciembre de 2022). Economía Circular. Ellen MacArthur Foundation: <<https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/elementos-basicos>>.
- FCC (6 de diciembre de 2022). Introducción a la Economía Circular en México. Obtenido de Fundación Cristina Cortinas. <<https://www.ceiba.org.mx/publicaciones/cristina/cc2021introduccionecocir.pdf>>.
- Fernández Tapia, S. & Montes Torres, M. (2018). Regulaciones vigentes en materia de desechos electrónicos y eléctricos: Caso México. *Revista Educateconciencia*, 17(18), 175-182.
- Fernández, E. (13 de enero de 2020). Neza ve opciones para tirar basura. *El Universal*. <<https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/edomex/neza-ve-opciones-para-tirar-basura/>>.
- Garza, E. (2021). El camino hacia la circularidad como un modelo de producción y consumo sustentable. *Pluralidad y Consenso*, 11(50), 4-13.
- Ghosh, B., Ghosh, M., Parhi, P., Mukherjee, P., & Mishra, B. (2015). Waste Printed Circuit Boards Recycling: an Extensive Assessment of Current Status. *Journal Clean*, 5-19. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.024>.
- GOCDMX (19 de octubre de 2020). Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-019-AMBT-2018 - Residuos Eléctricos y Electrónicos - Requisitos y Especificaciones para su Manejo. *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGEIRA/Gaceta454_Aviso_NADF-019-AMBT-2018.pdf>.
- GOCDMX (28 de febrero de 2023). Ley de la Economía Circular de la Ciudad de México. *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*: <<https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/640/775/796/640775796545e564034573.pdf>>.
- González Ávila, M. G. (2012). *Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Propuestas y alternativas para una gestión sostenible*. Tijuana: El Colegio de la Frontera Norte.
- Guadarrama, A. & Martínez, F. (2021). Economía circular. El modelo de producción y consumo del futuro. *Pluralidad y Consenso*, 11(50), 32-41.
- INCYTU (2018). Residuos electrónicos. Ciudad de México: Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión.
- Korhonen, J., Honkasalo, A. & Seppälä. (2018). The Concept and its Limitations. *Ecological Economics. Journal Circular Economy*, vol. 143, 37-46. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>.

- LECCM (23 de febrero de 2023). Ley de Economía Circular de la Ciudad de México. Obtenido sedema: <<https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/640/775/796/640775796545e564034573.pdf>>.
- LGEEPA (9 de enero de 2015). Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/148.pdf>>.
- LGPGIR (22 de mayo de 2015). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. *Diario Oficial de la Federación*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/131748/23_LEY_GENERAL_PARA_LA_PREVENCION_Y_GESTION_INTEGRAL_DE_LOS_RESIDUOS.pdf>.
- López, D. (2014). *La basura tecnológica: un crescendo insostenible y ponzoñoso*. FUHEM ECOSOCIAL.
- López, P., Rodríguez, A. & Vazquez, G. (2022). ¿Estamos preparados para la nueva Ley de Economía Circular en México? PwC. <<https://www.pwc.com/mx/es/archivo/2022/20221004-economia-circular-esg.pdf>>.
- LPGIECREQR (6 de diciembre de 2019). Ley para la Prevención, Gestión Integral y Economía Circular de los Residuos del Estado de Quintana Roo. Ley para la Prevención, Gestión Integral y Economía Circular de los Residuos del Estado de Quintana Roo. <https://normas.cndh.org.mx/Documentos/Quintana%20Roo/Ley_PGIECRE_QRoo.pdf>.
- Merchán, E., Campozano, Y. & Figueroa, G. (2020). El manejo de los desechos tecnológicos y su impacto ambiental. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria de Ciencias de la Salud. Salud y Vida*, 4(7), 156-171.
- NG (3 de abril de 2022). Los países del mundo que acumulan más residuos peligrosos. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.com/es/mundo-ng/paises-mundo-que-acumulan-mas-residuos-peligrosos_18100>.
- Núñez, A. (2021). La Economía Circular en el reúso y reciclaje de electrónicos obsoletos. *Pluralidad y Consenso*, 11(50), 42-53.
- Nußholz, J. (2017). Circular Business Models: Defining a Concept and Framing an Emerging Research Field. *Sustainability*, 1-16. doi: <https://doi.org/10.3390/su9101810>.
- OCDE (2001). *Extended Producer Responsibility: A Guidance Manual for Governments*. París: OCDE.
- ONU (21 de junio de 2017). Centro de Noticias ONU. Naciones Unidas: La población mundial aumentará en 1.000 millones para 2030. Naciones Unidas.

- Pellegrino, L., Chiozzi, L., Pinatti, A. & Ramírez, V. (2021). Riesgos de la gestión ambientalmente inadecuada de RAEE. Definición y pasos para un tratamiento sustentable. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(3), 4783-4796.
- PNUMA (2019). Panorama de los Recursos Globales 2019. Recursos Naturales para el futuro que queremos. Nairobi, Kenia: Organización de las Naciones Unidas.
- PNUMA (2021). Hacer las paces con la naturaleza: un plan científico para abordar la triple emergencia del clima, la biodiversidad y la contaminación. Nairobi: United Nations Environment Programme.
- Puentes, B. (2018). Gestión y prevención de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE): Una propuesta para promover la Economía Circular. *Actualidad Jurídica Ambiental*, 48, 1-31.
- Riquelme, R. (13 de julio de 2021). Cada mexicano generó 9.23 kilogramos de residuos electrónicos entre 2015 y 2021. *El Economista*.
- Roldán, G. (2021). Economía Circular y la revolución del paradigma. *Pluralidad y Consenso*, 11(50), 12-19.
- SEDEMA. (23 de 03 de 2023). Recicladrón. Secretaría del Medio Ambiente. <<https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/reciclatron>>.
- SEMARNAT. (01 de 02 de 2013). NOM-161-SEMARNAT-2011. Secretaría del Medio Ambiente. *Diario Oficial de la Federación*. <<https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6633/1/nom-161-SEMARNAT-2011.pdf>>.
- UNU-IAS (2015). eWaste en América Latina. Análisis estadístico y recomendaciones de política pública. GSMA.
- Urbinati, A., Chiaroni, D., & Chiesa, V. (2017). Towards a New Taxonomy of Circular Economy Business Models. *Journal of Cleaner Production*, vol. 168, 487-498. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.047>.
- Vélez, P. (2010). E-Waste: La Basura del Siglo XXI, ¿Qué hacer con ella? *Scientia Et Technica*, 17(46), 169-174.
- Wagner, M., Baldé, C., Luda, V., Nnorom, I., Kuehr, R. & Iattoni, G. (2022). Monitoreo Regional de los Residuos Electrónicos para América Latina, resultados de los trece países participantes en el proyecto UNIDO-GEF 5554. Bonn, Alemania: UNU-VIE, UNITAR, FMAM, ONUDI.
- WEF (2019). A New Circular Vision for Electronics Time for a Global Reboot. Ginebra, Suiza: Naciones Unidas.