

Buenas prácticas en el manejo de residuos electrónicos en América Latina

Best Practices in the Management of Electronic Waste in Latin America

Claudia Alexandra Zambrano-Yépez^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-5786-266X>

Jazmín Carolina Macías Rueda¹ <https://orcid.org/0000-0003-1229-5304>

Nataly Dayana Medina Sánchez¹ <https://orcid.org/0000-0002-3414-4913>

¹Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Laica Eloy Alfaro, Ecuador

* Autor para la correspondencia: claudia.zambrano@uleam.edu.ec

RESUMEN

El desarrollo tecnológico ha dado lugar a la producción masiva de dispositivos electrónicos, que provocan un impacto negativo en la salud humana y el medio ambiente. El desecho y reemplazo de dispositivos genera gran cantidad de basura electrónica, que contribuye a la acumulación de residuos tecnológicos alrededor del mundo, lo que evidencia la importancia de adoptar medidas y buenas prácticas en el manejo de dichos residuos. Este artículo presenta reflexiones sobre la gestión integral de basura electrónica, desde una perspectiva analítica-comparativa de varios países, con el propósito de hacer visible la tensión entre el desarrollo tecnológico y económico con la sostenibilidad ambiental, y conocer buenas prácticas adoptadas por países latinoamericanos que han implementado normativa para prevenir el impacto negativo. Se concluye que, para mitigar este daño, se requiere la participación de la sociedad, implementar medidas de educación ambiental, y la creación de centros especializados para el manejo y desmontaje de residuos electrónicos.

Palabras clave: basura electrónica; desarrollo tecnológico; medio ambiente; buenas prácticas.

ABSTRACT

Technological development has led to the mass production of electronic devices, which have a negative impact on human health and the environment. The disposal and replacement of devices generates a large amount of electronic waste, which contributes to the accumulation of technological waste around the world, which shows the importance of adopting measures and good practices in the management of such

waste. This article presents reflections on the integral management of electronic waste, from an analytical-comparative perspective of several countries, with the purpose of making visible the tension between technological and economic development with environmental sustainability, knowing good practices adopted by Latin American countries that have implemented regulations to prevent negative impact. It is concluded that, to mitigate this damage, the participation of society is required, implement environmental education measures and the creation of specialized centers for the handling and disassembly of electronic waste.

Keywords: *E-waste; technological development; environment; best practices.*

Enviado: 04/01/2021

Aprobado: 21/10/2021

INTRODUCCIÓN

La Sociedad de la Información surge del avance y la innovación tecnológica, con el propósito de otorgar una mejor calidad de vida a las personas y una mayor interacción entre agentes sociales, lo que contribuye con el desarrollo de los países, al convertir la información en conocimiento y en progreso para sus regiones. Esto da lugar a que la sociedad adquiera y dependa cada vez más de dispositivos eléctricos y electrónicos para la realización de sus actividades laborales, familiares, comerciales, académicas, profesionales, entre otras.

Durante las dos últimas décadas el número de equipos electrónicos se ha incrementado aceleradamente, y aunque los beneficios percibidos por quienes hacen uso de la tecnología son evidentes, no se puede ignorar la contaminación ambiental que provoca la basura electrónica. Por su parte, los países en desarrollo y las naciones industrializadas buscan impulsar la producción y el consumo, que está ligada, en la mayoría de los casos, a dispositivos eléctricos y electrónicos, que producen gran cantidad de desechos contaminantes. Estos países, al ser considerados centros de desarrollo se ven en la necesidad de crear e implementar innovaciones, que en la actualidad están vinculadas a la tecnología y a la mejora de servicios digitales. El desarrollo constante de productos estimula la demanda de los consumidores, que no son conscientes del daño que provocan en el ambiente debido al incremento en la producción de dispositivos. Este fenómeno cuestiona las teorías económicas tradicionales que «sostenían que la relación económica producción-

consumo no se ve afectada por el entorno natural» (Palma, Reyes, Vásquez, Lira & González, 2016, p. 379). El crecimiento ilimitado de equipos eléctricos y electrónicos ha extendido sus efectos nocivos a la salud física, emocional y psicológica de los usuarios, quienes, además de problemas de salud, han desarrollado nuevas adicciones y dependencias (digitales).

En la actualidad el mercado busca impulsar el uso de dispositivos electrónicos bajo el esquema de «producción-acumulación-consumo», que promueve una producción incontrolada de productos domésticos e industriales para una mejor calidad de vida (Ramírez & Antero, 2014). Este sistema promueve el desarrollo de la sociedad por medio de rediseños en los modelos tecnológicos y el incremento de funciones en los dispositivos, lo que genera la necesidad en el consumidor de adquirir equipos actualizados, al hacer accesibles nuevas versiones; de este modo se incrementa la competitividad. Sin embargo, a mayor innovación tecnológica y deterioro más acelerado de los equipos se presenta un incremento de la basura electrónica (GREENPEACE, 2019).

La globalización ha contribuido en gran medida a la creación y el incremento de diferentes dispositivos electrónicos como teléfonos inteligentes, tabletas, computadoras portátiles, entre otros. Estos equipos han influenciado en el desarrollo científico, tecnológico, social, cultural, industrial, económico y ambiental de la sociedad, para dar lugar a que industrias de todos los sectores adopten estrategias de innovación de artículos relacionados con las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). En este contexto es necesario definir a la basura electrónica o *E-waste*, a los Residuos Electrónicos (RE) y a los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) como «todo desecho de un dispositivo diseñado para funcionar con energía eléctrica de redes públicas, baterías u otros campos electromagnéticos» (Urbina, 2015, p. 1); el propietario desecha los dispositivos y/o sus partes sin la intención de reutilizarlas.

Los dispositivos, cuando dejan de ser funcionales, se consideran basura electrónica y en sí mismos no causan daño, sino hasta que se destruyen y/o incineran, al liberar una serie de residuos peligrosos que afectan la salud de las personas y contaminan el medio ambiente. De acuerdo con Kapoor, Sulke y Badiye (2021), la eliminación de la basura electrónica se realiza a través de rellenos sanitarios, incineración, reutilización y reciclaje: los dos primeros no son ecológicos y, consecuentemente, provocan daño al medio ambiente; y los dos últimos, aunque no son métodos de eliminación directa, ayudan a disminuir el volumen de desechos generados. La problemática radica en que las personas están constantemente actualizando sus dispositivos por equipos de nueva tecnología, y estas renovaciones periódicas dan lugar a la producción y acumulación de dispositivos, que finalmente terminan en vertederos, basureros comunales, rellenos

sanitarios, entre otros (GREENPEACE, 2019). Estos son recolectados por recicladores, que, al utilizar técnicas primitivas de reciclaje, afectan su salud y el medio ambiente (Urbina, 2015).

El peso y volumen que ocupan los dispositivos al ser depositados en vertederos como residuos convencionales y la inadecuada desintegración de las sustancias tóxicas que los componen, provocan contaminación en el suelo, el aire y el agua, lo que tiene repercusiones tanto para el medio ambiente como para la salud de las personas. Por ejemplo, cuando una pantalla va a un vertedero a cielo abierto, si no se trata de manera correcta reacciona con el agua y la materia orgánica, posteriormente libera toxinas al suelo, a las fuentes de agua y ríos; estas llegan al consumo humano, lo que afecta al organismo de los seres vivos y la productividad de las tierras agrícolas, y adicionalmente ocasionan un riesgo para la seguridad alimentaria y el incremento de la pobreza (Kapoor, Sulke & Badiye, 2021). Por lo tanto, para mitigar tanto el daño ambiental como las posibles afectaciones en la salud de las personas que trabajan directamente con los RE, es necesario que se creen leyes que normen su buen manejo, al seguir protocolos de seguridad para que los componentes de estos no causen afectaciones al medio ambiente ni a las personas. Por ello se necesita impulsar el buen uso de los aparatos electrónicos, para que estos, una vez obsoletos, se puedan reciclar de manera correcta para beneficio social; por ejemplo, las partes de piezas recicladas pueden servir para prácticas de estudiantes de carreras técnicas (Fernández, Tapia, Fernández & Carrasco, 2017; Espinoza, Espinosa & Otero, 2017).

Según Baldé, Forti, Gray, Kuehr y Stegmann (2017), a partir de datos del Observatorio Mundial de los Residuos Electrónicos, la poca conciencia ambiental por parte de los compradores, las empresas y los Gobiernos provoca que cada año se produzcan aproximadamente a nivel mundial más de 44,7 millones de toneladas métricas de basura electrónica, que equivale a una producción de 6,1 kilogramos anuales por habitante (kg/hab), lo que corresponde a casi 4500 torres Eiffel. De acuerdo con estos valores, se estima que para 2021 los residuos se incrementarán a 52,2 millones de toneladas métricas; es decir, que el 6,8 kg de la basura electrónica corresponderá a cada habitante y, de no tomarse las medidas necesarias, para 2050 se podría llegar a generar 120 millones de toneladas anuales. Lo preocupante es que solo el 20 % de la basura electrónica se recicla de manera correcta y se desconoce el final del 80 % restante, el cual se considera que puede encontrarse en vertederos ilegales, donde se tratan de manera primitiva (Baldé, Forti, Gray, Kuehr & Stegmann, 2017).

En la Figura 1 se ilustra la cantidad de RE generados durante el año 2016 en el mundo, que ubica a Asia como el mayor generador de basura electrónica, debido a la cantidad de países que lo integran y al número de habitantes, lo que conlleva a una gran disparidad entre ellos por la composición de países en vías de

desarrollo y de países industrializados. De manera semejante Europa se posiciona como la segunda región más generadora de RE, pero también es la que mayor tasa de recuperación presenta, por sus buenas prácticas en la gestión de RE, puesto que la Unión Europea mantiene regulación unificada de RAEE, lo que da lugar a mayor cantidad de RE procesados. En América, es la parte norte la mayor generadora de RE, pero también la que cuenta con mayor volumen de recuperación de su región, debido a la legislación que mantiene; en cambio, en la parte Sur, no todos los países cuentan con regulación ni con sistemas de recuperación formales. Llamam la atención los datos de África y Oceanía, donde predominan sectores no regulados en prácticas de reciclaje (Baldé, Forti, Gray, Kuehr y Stegmann, 2017).

Fuente: A partir de datos de *The global E-waste monitor* (Baldé, Forti, Gray, Kuehr y Stegmann, 2017).

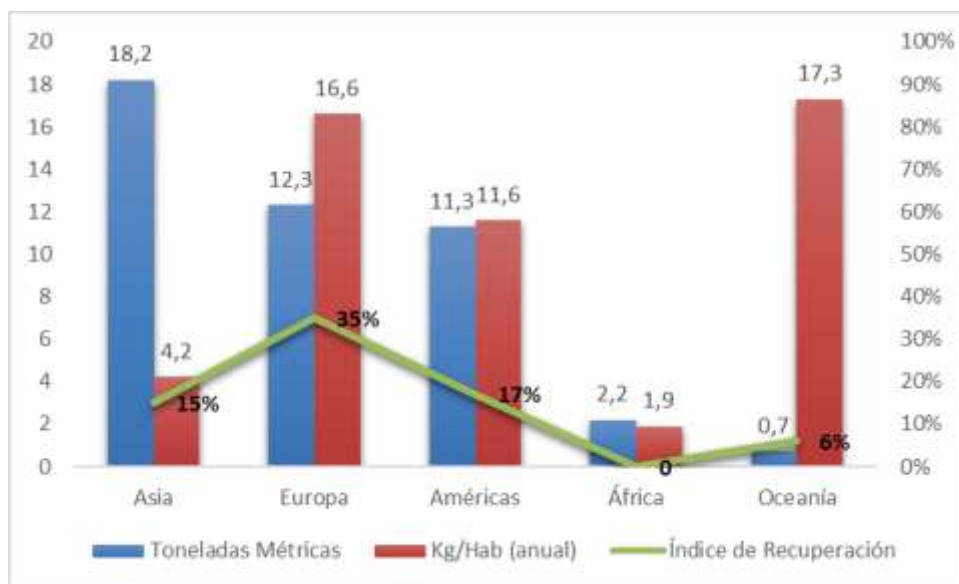


Figura 1. Estadísticas mundiales de RE en 2016.

Resulta oportuno mencionar que la gestión adecuada de RE, a través de buenas prácticas de reciclaje, constituye un método generador de ingresos, pero, dadas las condiciones que anteceden, se conoce que en muchos países no existen empresas o sistemas que permitan gestionar la recolección de estos desechos de una manera técnica, al considerar que el problema de la basura electrónica no radica en el dispositivo en sí, sino en los diferentes elementos que lo constituyen. Los aparatos electrónicos están compuestos por un 25 % de componentes que pueden reutilizarse; un 72 % por metales ferrosos, plástico, aluminio, cobre, oro, estaño y níquel; y el 3 % restante por sustancias altamente tóxicas como plomo, berilio, mercurio, selenio, cromo, cadmio, arsénico, halógenos, etcétera (Aguirre & González, 2017).

Entre los materiales peligrosos se encuentran los compuestos halogenados, tales como: PCB (bifenilos policlorados), TBBA (tetrabromobisfenol-A), PBB (bifenilos polibromados), PBDE (difeníl éteres polibromados), clorofluorocarbono (CFC) y PVC (cloruro de polivinilo); y metales y metales pesados como: arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo VI, plomo, litio, mercurio, níquel, selenio, sulfuro de zinc, sustancias radioactivas (Americio) y polvo de tóner, que causan serias afectaciones a la salud humana y el ambiente; además, si estos residuos no se gestionan de forma adecuada, en el proceso de recuperación se pueden formar o liberar estas sustancias, tanto en la disposición final como en el desmantelamiento, la incineración o la remoción de soldaduras, a través de exposición directa de los trabajadores o indirecta de los habitantes aledaños a los centros de manipulación de residuos, por medio de la contaminación del suelo, el aire y el agua, lo que da lugar a una contaminación generalizada del medio ambiente (Pellegrino, Chiozzi, Pinatti & Ramírez, 2021). En consecuencia, los segregadores de basura –personas que realizan actividades de reciclaje a través de métodos primitivos–, por la escasa información que tienen sobre este tema realizan malas prácticas en el manejo de los RE (Urbina, 2015), ya que al incinerarlos para derretir el plástico y obtener únicamente el metal, ocasionan serios contaminantes al medio ambiente (GREENPEACE, 2019).

Daniell Bell, sociólogo norteamericano, publica en su libro *El Advenimiento de la Sociedad Post-industrial* (1973), que todo esto generará un desequilibrio social, cultural y ambiental, por lo que la humanidad amenazará la conservación de la atmósfera, las capas polares, los océanos, la biodiversidad animal y vegetal (CEPAL, 2016). Pero uno de los mayores impactos negativos que ha generado el acelerado desarrollo tecnológico es la acumulación de basura electrónica y el deterioro medioambiental. Para mitigar tanto el daño ambiental como las posibles afectaciones a la salud de las personas que trabajan directamente con la basura electrónica, se necesita crear leyes que amparen el buen trato de los RE, a partir de protocolos que permitan que los componentes de los RE no causen afectaciones al medio ambiente ni a la salud de las personas. Para el control de tratamientos inadecuados de la *E-waste* se requiere la participación de la sociedad en general; impartir conocimientos sobre el cuidado del medio ambiente; y crear sitios capacitados y especializados en recolección, tratamiento y separación de los elementos que componen un aparato electrónico (Humberstone, 2017). Para ello hace falta una gestión adecuada desde las fases de recolección y clasificación, que en gran medida se realiza por personas dedicadas al reciclaje, así como el tratamiento que se le da en las empresas recicladoras, en fases de desmontaje y procesamiento; y, en empresas dedicadas al reacondicionamiento, para distribución a nuevos beneficiarios en proyectos de buenas prácticas que se analizan en el presente trabajo. En este sentido, cuando su ciclo de vida se da por

terminado, un desamblaje profesional evita daños en el medio ambiente, al realizando: desmontaje de piezas, división de componentes, y procesamiento de metales y sustancias peligrosas.

Se puede apreciar entonces que la participación en este proceso le corresponde a toda la sociedad: las personas; y las instituciones públicas y privadas que adquieren, utilizan, desechan o en muchas ocasiones almacenan estos dispositivos, pese a ya no ser funcionales. También se incluyen aquellos que se dedican a actividades de reciclaje, tanto de manera formal –personas que trabajan en empresas recicladoras con ciertas políticas de gestión de residuos–, como, generalmente, de escasos recursos económicos, de sectores vulnerables, que reciclan en botaderos de basura. Los gestores de residuos, comúnmente empresas locales destinadas a receptor reciclaje de las ciudades, son quienes realizan esta actividad (chatarreros), así como las cooperativas de recicladores, que agremia a grupos de chatarreros y que como tal brindan servicios a gestores de residuos o a empresas dedicadas al desmontaje, la división y el procesamiento de metales. También forman parte de este proceso la administración pública, encargada de diseñar una política pública que permita articular acciones para una gestión adecuada que no afecte a las personas ni al medio ambiente; así como de ejercer el monitoreo y control para su correcto cumplimiento. Por otro lado, está la academia –instituciones de educación básica, media y superior–, que fomenta la educación ambiental en la población joven, de tal forma que se genere una cultura para un desarrollo sano y sostenible, basada en principios y valores que respeten el medio ambiente.

DESARROLLO

El informe del Observatorio Mundial de los Residuos Electrónicos de 2017 establece que solamente siete países de América Latina (Colombia, Bolivia, México, Chile, Ecuador, Costa Rica y Perú) cuentan con legislación para tratar la *E-waste* que generan y que estos no están desarrollados en una industria de reciclaje formal. Asimismo, que es preciso introducir mejoras en el campo investigativo, ya que existen pocos estudios en Latinoamérica sobre la basura electrónica; por lo tanto, se precisa investigar más sobre este tema para hallar diferentes soluciones que permitan un camino hacia el desarrollo de un reciclaje apropiado (Baldé, Forti, Gray, Kuehr & Stegmann, 2017). La importancia en el estudio de esta problemática obedece al incremento exponencial del uso de equipos tecnológicos y, consecuentemente, en su desecho, que genera cantidades excesivas de basura electrónica, por lo que propiciar el debate académico en propuestas de solución para mitigar el impacto a las personas y al medio ambiente resulta prioritario.

Colombia

Colombia comienza a tomar conciencia de la problemática de los RAEE a partir de 2008. Una de sus primeras iniciativas fue la realización de un diagnóstico de los RE que estaba generando. En 2013 se promulga la Ley 1672 sobre RAEE y en 2014 se crea el Comité Nacional de RAEE, desde donde se diseñan estrategias y un plan de acción de la política hasta 2032 para la ejecución permanente de programas de recolección y gestión de RAEE (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2019).

Uno de los programas más emblemáticos de Colombia es “Computadores para Educar”, del Ministerio de Educación, con fondos del Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y demás entidades relacionadas, creado en 2000 con el propósito de proveer herramientas tecnológicas a la juventud en proceso de aprendizaje, en sedes educativas, casas de la cultura y bibliotecas públicas. Este programa constituye un referente del buen aprovechamiento de los RE del sector público para proveer mejores competencias digitales a la ciudadanía, a través de estrategias ambientalmente responsables.

En 2007 se funda el Centro Nacional de Aprovechamiento de Residuos Electrónicos (Cenare) con el fin de aprovechar los RE generados en el país y reacondicionarlos para el cumplimiento del objetivo del programa, y ser responsables con el medio ambiente. Cumple con dos objetivos: retoma y de manufactura. El primero, toma los equipos de cómputo de las instituciones beneficiarias del programa, una vez que han cumplido su vida útil y Cenare les realiza el proceso adecuado. Cabe indicar que desde 2010 cuenta con licencia ambiental, lo que ha permitido alcanzar 206,143 computadores obsoletos retomados. El segundo, consiste en el desmantelamiento manual de los equipos y la clasificación de su materia prima, lo que permite, además, la generación de empleo (Programa Computadores para Educar, 2019).

Los impactos generados por el Programa se han abordado, a través de estudios econométricos, desde diferentes enfoques por parte de la Universidad Nacional de Colombia: emisiones evitadas (2,571,43 en el período 2014-2018); aumento de la pérdida del potencial de producción de suelos; emisión de gases de efecto invernadero (resultados con valor de impacto negativo); disminución de contaminantes en suelo, aire y agua; prevención de enfermedades y mejoramiento de la calidad de vida; análisis de costo beneficio (1,20 en igual período). Asimismo, se evalúa el impacto del aprovechamiento de los recursos tecnológicos en el aprovechamiento escolar de los jóvenes, a través de tasa de repitencia, deserción interanual, desempeño, tasa de ingreso a Instituciones de Educación Superior; todos con resultados positivos (Universidad Nacional de Colombia, 2018).

En 2007 la Asociación de la Industria Móvil de Colombia lanzó el proyecto “Recicla tu móvil o celular y comunícate con la tierra”, que durante ocho años de vigencia recolectó aproximadamente 646 toneladas de RAEE, distribuidas en 907,613 dispositivos móviles y más de 2,931,759 de accesorios y 703,463 baterías (Román, 2015). Para ello, empresas de telecomunicaciones como Claro y Movistar, en conjunto con empresas productoras de telefonía móvil como Nokia, LG y Samsung, instalaron 155 depósitos especiales en 30 ciudades del país, para la recolección de teléfonos móviles y accesorios, y su posterior traslado a Belmont, empresa que gestiona los residuos electrónicos con más de 20 años de experiencia (Román, 2015).

Por otro lado, desde 2014 Telefónica Movistar implementa el programa *buyback*, con el propósito de fomentar la reutilización de equipos y accesorios móviles, a través del cual los usuarios reciben bonos al entregar sus dispositivos. Así se fomenta la economía circular en Colombia, la que se ve limitada por la normativa y reglamentación colombiana que limita el financiamiento de equipos; además de que podría conllevar al incremento de robos y al contrabando en el mercado negro (Román, 2015). La economía circular promueve la «extracción-diseño-producción-consumo-reciclado, donde los materiales que han sido reciclados pueden volverse a integrar al proceso productivo y se continúa con el mismo ciclo» (Garabiza, Prudente & Quinde, 2021, p. 225); a diferencia del modelo de economía lineal, que promueve el desecho y recambio de productos que tienen un ciclo de vida útil muy reducido.

Bolivia

En 1992 se promulga la Ley de Medio Ambiente 1333 con el propósito de regular las actividades, los proyectos y las obras contra el medio ambiente. En este sentido, cada municipio debía desarrollar normas técnicas para el manejo de la basura electrónica; sin embargo, se encontraron vacíos en la reglamentación y normas para dicha gestión. En octubre de 2015 se promulgó la Ley No. 755 denominada “Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos”, que establecía disposiciones específicas de la gestión operativa de RE, los que debían ser recolectados y almacenados en depósitos para su posterior tratamiento y valorización. El reglamento de la mencionada Ley contempla la Responsabilidad Extendida del Productor para los RE (Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia, 2017); también promueve la reducción del daño ambiental a partir de incentivos hacia los productores de aparatos tecnológicos, mediante etapas durante su vida útil. Al finalizar su tiempo de uso, estos se recolectan, tratan, reúsan o reciclan.

El Gobierno Municipal de La Paz creó en 2016 la empresa RAEE CECICLA para la logística de reciclaje de RE, que, a través de diversas campañas de educación ambiental para concienciar a los ciudadanos, ha

podido recolectar RE a través de recorridos programados cada domingo en 23 rutas por los principales barrios de la ciudad, con el propósito de recuperar materiales y partes reusables, que son vendidos tanto al mercado nacional como al internacional. En 2016 desarrolló la campaña «reforestar reciclando electrónicos», para recolectar los RE a cambio de plantiles de diversas especies. Lamentablemente, estas campañas son solo ocasionales, por lo que se necesita un marco normativo que garantice acciones permanentes (Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia, 2017). Cabe indicar que esta empresa cuenta con un sitio web, pero no provee mayor información estadística sobre su gestión o impacto alcanzado.

Se evidencian importantes aportes en el marco normativo y varias empresas que se encargan del reciclaje y la valorización; sin embargo, la problemática se centra en la disposición final de los residuos, ya que no llegan a realizar el óptimo aprovechamiento de estos, por lo que hay que potenciar estrategias de manejo y tratamiento de residuos electrónicos, a través de centros de acopio en las principales ciudades que complementen las iniciativas de recolección, para una mejor disposición final de los residuos, que fomente la industria del reciclaje.

México

México es el segundo país de Latinoamérica que más *e-waste* genera por año (1 Mt); además, se encuentra en la primera posición en recuperación de residuos electrónicos en América Latina (36 %), lo que marca una gran diferencia con el resto de los países donde el porcentaje es inferior al 3 % (Baldé, Forti, Gray, Kuehr & Stegmann, 2017). Se le puede atribuir a México que constituye el país con más conciencia ambiental de América Latina, ya que mientras más ciudadanos empiecen a tener conciencia sobre el tratamiento de los residuos electrónicos y más iniciativas se fomenten en el país por parte de las organizaciones, el Gobierno y las instituciones, las mejoras con respecto al reciclaje apropiado aumentarán. El Programa Verde se desarrolla en México desde 2013 por parte de la Asociación Nacional de Telecomunicaciones, como iniciativa privada de 11 empresas, con el objetivo de incrementar el número de desechos electrónicos reciclados, ya que los dispositivos que aún se encuentran en estado de funcionamiento son vendidos, por lo que se llega a alcanzar el 80 % de estos para uso a nivel nacional y el restante 20 % se exporta; así se fomenta la economía circular (Jorisch, Mallin, Accurso, García & Iglesias, 2018). Para ello, el programa ha habilitado 516 sitios de depósito en todo el país, con lo que ha logrado recolectar desde el inicio de su operación hasta 2018, 369,499 toneladas de equipos celulares (2,462,841 equipos) y 664,892 toneladas de accesorios; con ello ha reducido el reemplazo constante. El programa

implementa fuertes campañas de promoción a través de redes sociales (Facebook y Twitter), por ejemplo, la denominada “El Reciclaje Te Llama” para concientización y capacitar a la población en la importancia del reciclaje de basura electrónica, con un alcance de 1,3 millones de personas. (ANATEL, 2019).

Por otro lado, el sector de la academia ha desarrollado algunos proyectos de reciclaje con el objetivo de recolectar equipos obsoletos provenientes de empresas y la sociedad en general. Ejemplo de ello son los estudiantes de la carrera de Licenciatura en Informática de la Universidad de Nayarit, que obtuvieron 32 computadoras donadas por parte del Tribunal de Justicia de la Ciudad de Tepic, Nayarit, para impulsar el buen uso de los aparatos tecnológicos desechados. Los estudiantes podrán extraer piezas reutilizables que sirvan de alguna manera productiva, de tal forma que den uso a una misma pieza y así contribuyan con la mitigación del cúmulo de basura electrónica. Como resultado se obtuvo material necesario para realizar sus prácticas y afianzar sus conocimientos (Fernández, Tapia, Fernández & Carrasco, 2017).

Chile

En Chile fue aprobada la Ley de Fomento al Reciclaje en 2016. En este marco, el Ministerio del Medio Ambiente Chileno lanzó el programa de recuperación y reciclaje de teléfonos celulares y aparatos electrónicos en conjunto con la empresa Entel, con el objetivo de reducir los efectos de los residuos electrónicos en el medio ambiente. Los equipos son clasificados como desechos y se retiran de las bodegas de Entel, para después exportarse hacia Europa a una planta de reciclaje aprobada. Las autoridades agregaron que el programa de reciclaje formalizará esta industria, para que las empresas del país se responsabilicen de los aparatos hasta el final de su vida útil.

En 2018 nació la Ley marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje, para crear una industria formal de recuperación y aprovechamiento de RE. Dentro de esta Ley se consideran seis tipos de residuos como principales: aceites, aparatos electrónicos y eléctricos, baterías, envases, neumáticos y pilas. De la preocupación creciente por los residuos surge la guía de educación ambiental y de residuos creada por el Ministerio del Medio Ambiente Chileno, con el objetivo de concienciar a la población chilena sobre la importancia del reciclaje y cuidado del medioambiente. Esta guía está diseñada por capítulos donde se tratan temas como educación ambiental, residuos, buenas prácticas y planificaciones. Además, se establece la incorporación de 60,000 recolectores en todo el país para el cumplimiento de la normativa (Ministerio del Medio Ambiente Chileno, 2018). Así mismo, dicho Ministerio estableció un Fondo para el Reciclaje, dirigido a Municipalidades y Asociaciones de

Municipalidades, para financiar proyectos y programas que prevengan la generación de RE y fomenten el reciclaje.

Ecuador

En Ecuador se implementa a partir de 2012 el principio de Responsabilidad Extendida del Productor, regulado por el Ministerio de Ambiente, el cual también ha establecido cupos de importación de dispositivos nuevos en función de la tasa de recuperación; además, promueve diálogos latinoamericanos a través de foros en gestión de RAEE. En la ciudad de Guayaquil se desarrolló el proyecto “Aplicabilidad del Reúso del *Hardware* y *Software* Informático para Implementar Redes de Enseñanza Aprendizaje Digital” por parte de los estudiantes de la Facultad de Ciencias Informáticas de la Universidad de Guayaquil, bajo la supervisión técnica de docentes. El proyecto trata acerca de cómo se reutilizarán computadoras antiguas que las personas o compañías ya no emplean. Estos equipos son evaluados y reparados en las partes que así lo ameriten a fin de poderles dar un nuevo uso e implementar las Redes de Enseñanza y Aprendizaje Digital (conjunto de *Software* instalado en la computadora como material de soporte que los docentes utilizarán como herramienta para el aprendizaje de los alumnos). El proyecto se desarrolla en instituciones fiscales de la ciudad de Guayaquil, donde los alumnos universitarios dan seguimiento de la situación en la que se encuentran los equipos y les realizan el mantenimiento adecuado. El objetivo principal es disminuir el tamaño de los residuos electrónicos, al darles una nueva vida útil y brindar a las escuelas recursos tecnológico para el mejor aprovechamiento en la formación de los estudiantes (Espinoza, Espinosa & Otero, 2017).

Por otro lado, la empresa Vertmonde (2021) se identifica como la única especializada en el manejo de residuos eléctricos y electrónicos en el Ecuador, que cuenta con certificados R2 (Reciclaje responsable de residuos electrónicos), licencias del Ministerio de Ambiente del Ecuador en Gestión y Transporte de RE y los certificados ISO 140001-2015 y 450001-2018, al ofrecer servicios a hogares, empresas, fabricantes e importadores, e instituciones públicas. Entre los servicios y la gestión de los RE se encuentran: campañas de recolección en diversos sectores, transporte especializado en residuos peligrosos, manejo adecuado en el procesamiento de fracciones tóxicas en el desamblaje de equipos, destrucción documentada de marcas, insignias, equipos, partes y componentes; así como de información confidencial y sensible que pudiera quedar en dichos dispositivos. Según Kapoor, Sulke y Badiye (2021), en los RE podría quedar información que luego se utilizaría por personas no autorizadas (ciberdelincuentes), lo que propiciaría actividades ilegales como: chantaje, suplantación de identidad, descifrado de contraseñas, historial de navegación,

ingeniería inversa, amenaza a la seguridad nacional, que derivarían en daños a las personas, e instituciones públicas o privadas.

Costa Rica

En 2010 Costa Rica promulgó la Ley para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS), el Reglamento para la Gestión Integral de Residuos Electrónicos, el Reglamento de Centros de Recuperación de Residuos Valorizables y el Comité Ejecutivo de la Gestión Integral de Residuos Electrónicos. La Ley contempló diversos niveles de gestores de residuos, debidamente autorizados por el Ministerio de Salud, de acuerdo con su especialidad (por ejemplo: desensamblar y valorizar los RAEE). En agosto de 2019 se registraron 319 gestores de residuos por el Ministerio de Salud, de los cuales el 85 % se encontraba activo (Ministerio de Salud de Costa Rica, 2019)

En 2016 se aprobó la Guía Técnica para la Gestión Integral de los Residuos Electrónicos y Eléctricos por parte del Ministerio de Salud, con apoyo de la Cooperación Alemana para el Desarrollo. También se contó con la normativa para la Responsabilidad Extendida del Productor, desde 2014, para lo cual las empresas debían conformar Unidades de Cumplimiento para que los usuarios tuvieran la opción de reciclar sus aparatos (repararlos), donarlos o venderlos para repuestos, una vez que estos hubieran cumplido su vida útil. Y, en 2015, se promovió el Reglamento sobre rellenos sanitarios, que normaba la disposición de los residuos peligrosos.

El éxito de las buenas prácticas implementadas en Costa Rica se ha debido, principalmente, a la política pública para su articulación entre el Estado (a través de las municipalidades y organismos nacionales como diversos Ministerios), las organizaciones sociales y comunitarias, los movimientos ambientales y el apoyo a emprendimientos locales para la gestión de residuos. En este sentido, diversos organismos han implementado múltiples campañas consecutivas para generar una cultura ambiental en la ciudadanía; por ejemplo: la empresa Kimberly-Clark ha estado ejecutado el Programa AmbientaDOS desde hace 10 años; para 2018 había realizado 108 campañas, en trabajo con socios de diversos sectores sociales, con una recolección de más de 19,250 tm, entre otros logros, lo que ha promovido la educación, sobre todo en niños, para generar una cultura ambiental sostenible (*Revista Summa*, 2018).

Perú

Perú cuenta con legislación vigente en cuestión de basura electrónica desde 2012, que establece los derechos y las obligaciones de una gestión adecuada de los RAEE con la finalidad de mitigar el daño

ambiental y las afectaciones a la salud de las personas. El Ministerio de Ambiente peruano advierte que los avances tecnológicos significan mejoras en la calidad de la vida de la población, pero, por su mala gestión, provoca el exceso de residuos electrónicos. Ante este problema, el Ministerio de Ambiente y la Cooperación Suiza firmaron un acuerdo para desarrollar el proyecto “Industrias Sostenibles del Reciclaje” con la finalidad de brindar asistencia técnica que promueva la gestión y el manejo de la basura electrónica. En conjunto con la Política Nacional del Ambiente se creó el Plan Nacional de Acción Ambiental 2011-2021, que tiene como meta que el 100 % de los RE sean aprovechados (Ministerio de Ambiente Perú, 2019).

Existen universidades preocupadas por la problemática que genera el exceso de RE, como la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman (Tacna, Perú), que evalúa la cantidad de desechos que se encuentra en su región, con el objetivo de conocer el manejo de los residuos de las computadoras, determinar la magnitud del problema que provoca el manejo inadecuado de las computadoras y evaluar los residuos que estas generan. Como resultado se reflejó que era grande el problema del aprovechamiento inadecuado de las computadoras y que el 87,40 % no estaban completas, por lo que dejaban de funcionar; y, solamente un 12,6 % contaban con los componentes básicos para operar. Mediante esta evaluación se pudo apreciar el mal manejo de las computadoras por parte de la universidad, con lo cual se puede gestionar un uso sustentable de la tecnología obsoleta (Paredes y Cohaila, 2019).

Gestión integral de residuos electrónicos

La contribución de la presente investigación es plantear un modelo de gestión integral de residuos electrónicos en función de las experiencias y buenas prácticas adoptadas por la literatura analizada como se evidencia en la Figura 2, comenzando por una adecuada separación por categorías (domésticos, informáticos, médicos, entre otros) por parte de las empresas locales que se encargan de forma directa o indirecta de la recepción de la basura electrónica, para posteriormente clasificarlas de acuerdo con su peligrosidad, con las debidas medidas de seguridad sanitaria, y registro de los datos de los equipos y tecnologías recibidas, para que el Estado lleve un debido control de las importaciones y exportaciones de RE. Por otro lado, las empresas de desmontaje deben contar con todas las licencias, los permisos y las normas ISO, que les permitan cumplir con las normas técnicas para el desamblaje de los RE, lo que da paso al aprovechamiento de nuevos productos derivados de estos residuos, de tal forma que se fomenten el reciclaje y la reutilización de partes y piezas. También es necesario que las empresas fabricantes adopten

prácticas de eco-diseño amigables con el medio ambiente, con componentes menos peligrosos y que su ciclo de vida se extienda para evitar el constante recambio.



Figura 2. Gestión Integral de Residuos Electrónicos.

La implementación de este modelo requiere el compromiso de todos los agentes que intervienen en el proceso, desde el Estado con un serio compromiso en la adopción de políticas públicas que promuevan, incentiven, regulen y controlen la industria de los gestores de RE; la Academia, como se ha evidenciado puede asumir un rol protagónico, no solo en la formación y concienciación ambiental sino a través de la implementación de diversos proyectos; y, las empresas, al asumir la responsabilidad ampliada del productor, y buenas prácticas de desmontaje, recolección y clasificación de la basura electrónica. En resumen, la estrategia a implementarse se refiere a las cuatro R: Reducir, Reparar, Reconstruir y Reusar.

CONCLUSIONES

El análisis anterior deja en evidencia que la primera acción para mitigar el impacto de los residuos electrónicos es construir un marco normativo sólido que dirija, regule y fomente una adecuada gestión

de residuos electrónicos, y, como se aprecia en la mayoría de los países analizados, se fomente la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor. Este primer elemento del plan de gestión se complementa con el desarrollo de proyectos de recuperación a nivel nacional, con depósitos en todo el país y campañas de incentivo a la ciudadanía para que adopte la cultura de reciclar y no acumule estos residuos electrónicos.

En las buenas prácticas adoptadas en México, una adecuada gestión de residuos electrónicos promueve la economía circular, que por un lado motiva a las empresas a desarrollar modelos de producción sostenible con prácticas sustentables que no afecten al medio ambiente; a su vez, invita a la academia a investigar y promover proyectos innovadores de producción; y, al Gobierno a articular un marco normativo que estimule este modelo productivo a través de incentivos arancelarios, tributarios, financieros, entre otros

La economía circular fomenta la reutilización de los residuos como lo plantean las iniciativas de México con su Programa Verde y Ecuador con el proyecto “Aplicabilidad del Reúso del *Hardware* y *Software* Informático para Implementar Redes de Enseñanza Aprendizaje Digital”. Estos casos constituyen evidencias de dos iniciativas por parte de entidades privadas y públicas, lo que valida que desde cualquier entorno se pueden desarrollar proyectos de aprovechamiento tecnológico y propuestas de fortalecimiento económico con una visión de sostenibilidad ambiental.

Es muy importante que los Gobiernos, las empresas y los ciudadanos tomen conciencia sobre el daño que genera la acumulación y mala gestión de la basura electrónica, con el objetivo de mitigar el daño ambiental y prevenir los efectos nocivos en la salud de los seres vivos, incluyendo a las personas, animales y la producción alimentaria. De esta manera, una buena forma de llegar a la población es mediante campañas de concientización, puntos de reciclado donde se dará un buen tratamiento a los aparatos electrónicos, y proyectos que fomenten la reutilización de los equipos.

Para mitigar este daño se requiere la participación de toda la sociedad, entendiéndose como tal a los productores de RE, sean estos fabricantes, importadores, distribuidores o representantes de marcas, con la implementación de acciones de Responsabilidad Extendida del Productor; la sociedad civil o los consumidores/generadores de *e-waste*, con responsabilidad y educación ambiental; la academia, que puede contribuir de múltiples formas, ya sea a través de proyectos de investigación, capacitación, asistencia técnica o con desarrollo de procesos de desamblaje, entre otros; el Gobierno, mediante sus diversos niveles, bien sean municipios, autoridades ambientales o autoridades nacionales, con la articulación efectiva de leyes y normativas, guías técnicas, asistencia técnica, recursos y el seguimiento a la ejecución de estos; y los organizaciones no gubernamentales, principales de países con buenas prácticas de gestión integral de RE, con asistencia técnica y transferencia tecnológica.

Con el compromiso responsable de los agentes mencionados no solo que se reducirá el daño que se está causando al medio ambiente y a la salud de las personas, sino que se fomentará el desarrollo económico a través de la economía circular, con la creación de centros especializados para la manipulación y el desmontaje de los residuos electrónicos, de tal forma que se obtenga el máximo aprovechamiento de los recursos y se estimule la actividad económica. La investigación deja sentada las bases para que futuros trabajos evalúen el impacto de la implementación de estas medidas, como lo ha realizado Colombia, para conocer el verdadero beneficio y/o daño que se está causando al planeta y a las futuras generaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, C. & González, B. (2017). Obtención de metales del reciclaje de computadoras, teléfonos y electrónicos en general. *Jóvenes en la Ciencia*, 3 (2), 2077-81. Obtenido de: <http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1808/1313>

ANATEL (2019). *Plan de Manejo de Residuos de Manejo Especial de Teléfonos Celulares*. Reporte anual enero-diciembre 2018. Obtenido de: <http://www.anatel.org.mx/docs/interes/10-informe-anual-programa-verde-2018.pdf>

Baldé, C., Forti, V., Gray, 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) y Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA). Obtenido de: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM%202017/GEM%202017-S.pdf>

CEPAL (2016). *Horizontes 2030 la igualdad en el centro de desarrollo sostenible, trigésimo sexto periodo de sesiones*. Ciudad de México. Obtenido de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40159/4/S1600653_es.pdf

Espinoza, M., Espinosa, J. & Otero, O. (2017). Aplicabilidad del Reúso del *Hardware* y *Software* Informático para Implementar Redes de Enseñanza Aprendizaje Digital. *Espirales*, 1 (6). DOI: <https://doi.org/10.31876/re.v1i6.227>

Fernández, M., Tapia, S., Fernández, S. & Carrazco, A. (2017). El reciclaje tecnológico como contribución al cuidado del medio ambiente y a una educación económicamente sostenible. Caso Unidad Académica de Economía. *Universidad y Ciencia*, 6, 40-52. Obtenido de: <http://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/712>

Garabiza, B., Prudente, E. & Quinde, K. (2021). La aplicación del modelo de economía circular en Ecuador: Estudio de caso. *Revista Espacios*, 42 (2), 222-237. Obtenido de: <http://www.revistaespacios.com/a21v42n02/a21v42n02p17.pdf>

GREENPEACE (2019). *Los residuos electrónicos no son basura*. Obtenido de: <https://www.greenpeace.org/argentina/involucrate/los-residuos-electronicos-no-son-basura/>

Humberstone, J. (2017). Buenas prácticas para el destino final de los residuos electrónicos. *Realidad y Reflexión*, (45), 68-76. Obtenido de: <http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/3185/1/Buenas%20pr%C3%A1cticas%20para%20el%20destino%20final%20de%20los%20residuos%20electr%C3%B3nicos.pdf>

Jorisch, D., Mallin, C., Accurso, M., García, A. & Iglesias, E. (2018). *Tecnología para la acción climática en América Latina y El Caribe*. Obtenido de: <https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2018/08/Tecnologia-para-la-accion-climatica-en-America-Latina-y-el-Caribe-Como-las-soluciones-moviles-y-las-TIC-contribuyen-a-un-fu.pdf>

Kapoor, N., Sulke, P. & Badiye, A. (2021). E-waste forensics: An overview. *Forensic Science International: Animals and Environments*, 1. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsiae.2021.100034>

Ministerio del Medio Ambiente Chileno (2018). *Guía de Educación Ambiental y Residuos*. Obtenido de: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-de-Educacion-Ambiental-y-Residuos.pdf>

Ministerio de Ambiente Perú (2019). *Responsabilidad Social Empresarial para el Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos en el Perú-RAEE PERÚ*. Obtenido de: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/manejo-de-raee/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2019). *Colombia, pionero en Suramérica en implementar políticas de gestión de RAEE*. Obtenido de: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2924-colombia-pionero-en-suramerica-en-implementar-politicas-de-gestion-de-raee>

Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia (2017). *Diagnóstico de la Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos en Bolivia y Análisis Estadístico. Informe Final*. Obtenido de: <https://www.kioscoverde.bo/wp-content/uploads/2018/10/DIAGNOSTICO-RAEE-BOLIVIA.pdf>

Ministerio de Salud de Costa Rica (2019). *Listado de gestores de residuos aprobados*. Obtenido de: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/informacion/gestores-de-residuos-ms>

- Palma, L., Reyes, A., Vásquez, F., Lira, M. & González, M. (2016). Los residuos electrónicos un problema mundial del siglo XXI. *Culcyt* (59), 379-92. Obtenido de: <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/1492/1322>
- Paredes, E. & Cohaila, A. (2019). Reciclaje de residuos electrónicos en computadoras de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. *Ciencia & Desarrollo* (15), 60-7. DOI: <https://doi.org/10.33326/26176033.2013.15.323>
- 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), 4783-96. DOI: <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n3-154>
- Programa Computadores para Educar (2019). *Computadores para Educar*. Obtenido de: <http://www.computadoresparaeducar.gov.co/es/nosotros/que-es-computadores-para-educar>
- Ramírez, V. & Antero, J. (2014). Evolución de las teorías de explotación de recursos naturales: hacia la creación de una nueva ética mundial. *Revista Luna Azul* (39), 291-313. Obtenido de: <https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/lunazul/article/view/1772/1688>
- Revista Summa* (2018). *Programa AmbientaDOS cumple 9 años de inculcar cultura del reciclaje en Costa Rica*. Obtenido de: <https://revistasumma.com/programa-ambientados-cumple-9-anos-inculcar-cultura-del-reciclaje-costa-rica/>
- Román, I. (2015). *E-Waste en Colombia*. Colombia. Obtenido de: <https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2015/02/ewaste-colombia.pdf>
- Universidad Nacional de Colombia (2018). *Informe final del estudio de medición y evaluación de impacto de CPE 2014-2018*. Obtenido de: <http://www.computadoresparaeducar.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe%20final%20del%20estudio%20de%20medicion%20y%20evaluacion%20de%20impacto%20de%20CPE%202014%202018.pdf>
- Urbina, H. (2015). Basura electrónica: cuando el progreso enferma al futuro. *Revista Medicina*, 37 (1), 39-49. Obtenido de: <http://revistamedicina.net/ojsanm/index.php/Medicina/article/view/108-5/576>
- Vertmonde (2021). Obtenido de: <https://www.vertmonde.com/servicios/>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución autoral

Claudia Alexandra Zambrano-Yépez: Conceptualización, validación, revisión y edición.

Jazmín Carolina Macías Rueda: Estudiar y sintetizar la información contenida en este trabajo, redacción-borrador original.

Nataly Dayana Medina Sánchez: Estudiar y sintetizar la información contenida en este trabajo, redacción-borrador original.