



Global Knowledge

RESIDUOS **ELECTRÓNICOS**

Ruth Andrea Campaña Lozano



RESIDUOS ELECTRÓNICOS



RUTH ANDREA CAMPAÑA LOZANO

Copyright © 2022

Global Knowledge - Publishing House, USA 

848 BRICKELL AVE STE 950 MIAMI, FLORIDA, US 33131

Móvil - (WhatsApp): (+1) 786 977 9421 (+593)99 211 8124

Página Web: <https://egk.ccgecon.us>

E-mail: egk@ccgecon.us

© El Autor, 2022

Institución: Instituto Superior de Tecnologías Apropriadas-INSTA.

Residuos Electrónicos - Ecuador:

Quito

1ª edición 2022

©Ruth Andrea Campaña Lozano

15,24 x 22,86 cm

Todos los derechos reservados.

ISBN: 978-1-957271-08-8

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida, mediante ningún sistema o método, electrónico o mecánico (incluyendo el fotocopiado, la grabación y almacenamiento de información), sin consentimiento o la preceptiva autorización previa.

REVISORES

Dr. Noel Batista Hernández, PhD.
Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ecuador
Docente
ub.coordinacionac@uniandes.edu.ec

Dr. Maikel Yelandi Leyva Vázquez, PhD.
Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ecuador
Director General UNIANDES Babahoyo
mleyvaz@gmail.com

AGRADECIMIENTO

Al Instituto Tecnológico de Tecnologías Apropriadas INSTA por su compromiso con la sociedad, al permitir y apoyar el desarrollo de investigaciones transversales acerca de temas ambientales. Obras como “Residuos Electrónicos” permitirá a los estudiantes tecnólogos acercarse a problemáticas sociales de especial relevancia y atención.

PRÓLOGO

La creciente dependencia de los equipos eléctricos y electrónicos en la vida cotidiana y de los residuos de fin de vida ha dado lugar a un nuevo reto medioambiental y a problemas de salud. Sin embargo, la reutilización y el reciclaje adecuado de estos residuos permiten conservar los recursos naturales y evitar la contaminación del agua y del aire.

Se ha informado de que la cantidad de residuos electrónicos sólidos ha alcanzado un nivel cada vez mayor y pone en grave peligro la salud del cuerpo humano en todo el mundo. Teniendo en cuenta que la vida útil de un teléfono móvil es de aproximadamente 1 año, y la de un ordenador de 2 a 5 años, se estima que cada año se desechan en el mundo unos 100 millones de teléfonos móviles y 17 millones de ordenadores debido a equipos defectuosos o anticuados.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) atribuye al aumento de las tasas de generación en Ecuador hasta un 15% de aumento en el consumo de los hogares, un 95% de aumento en los usuarios de ordenadores, un 74,5% de aumento en las ventas de televisores y un 13,5% de aumento en los suscriptores de teléfonos móviles.

Los teléfonos móviles (con más de 90 millones de abonados en 2015) son el componente de mayor crecimiento del flujo de residuos sólidos urbanos (RSU) en Ecuador. Crece con una tasa tres veces superior a la media de los residuos municipales (PNUD Ecuador 2015, 2016). Se ha informado de que los equipos eléctricos y electrónicos contienen más de 1000 sustancias diferentes, incluidos metales pesados tóxicos y sustancias orgánicas, que pueden plantear graves problemas de contaminación ambiental si se eliminan de forma irresponsable.

El reciclaje de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) es un tema importante para el tratamiento de residuos y también para la recuperación de materiales valiosos. Los RAEE son

un producto no homogéneo y complejo en cuanto a materiales y componentes.

El desarrollo de un sistema de reciclaje rentable y respetuoso con el medio ambiente requiere identificar y cuantificar los materiales valiosos y las sustancias peligrosas para comprender las características físicas de estos residuos y mejorar la recuperación de metales para conservar los recursos naturales y proporcionar una solución ambientalmente sostenible a la gestión del producto de desecho.

Con este libro, a través de una recopilación bibliográfica, se busca conocer la situación actual de los principales residuos de aparatos electrónicos, su composición e identificación de los elementos peligrosos para el medio ambiente; las formas de eliminación y las propuestas de organismos especializados. Los datos se explican y se comparan con los esfuerzos actuales de gestión de los residuos electrónicos realizados en Ecuador. También se discuten las perspectivas de futuro y los retos a los que se enfrenta Ecuador para el correcto reciclaje de los residuos electrónicos.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	5
1.1 Medio ambiente	5
1.2 Deterioro ambiental	7
1.3 Factores del deterioro ambiental	9
1.4 Contaminación	23
1.5 Consecuencias de la contaminación	35
1.6 Contaminantes emergentes	38
CAPÍTULO 2. RESIDUOS ELECTRÓNICOS	47
2.1 Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos	48
2.2 Clasificación de los RAEE.....	53
2.3 Contenido de los residuos electrónicos, su riesgo ambiental y sobre la salud humana	55
2.4 Normas y reglamentos sobre los residuos electrónicos	70
2.5 Situación de los residuos electrónicos en América Latina	72
2.6 Situación de los residuos electrónicos en Ecuador	85
2.7 Marco legal nacional relacionado con los RAEE.....	94
CAPÍTULO 3. APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ELECTRÓNICOS	101
3.1 Gestión sostenible de los residuos electrónicos	102
3.2 Reciclaje formal	106
3.3 Reciclaje informal	109
3.4 Tecnologías para el reciclaje de RAEE en Ecuador	112
CONCLUSIONES	127

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
BIBLIOGRAFÍA.....	141
INFORME DEL EVALUADOR DE LIBRO	145
INFORME DEL EVALUADOR DE LIBRO	149

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la cuestión medioambiental ha ocupado un lugar central en los debates, presentaciones, foros, mesas de diálogo y el proceso de toma de decisiones en muchas partes del mundo. Varias organizaciones de todo el mundo han tomado medidas para frenar el problema de la contaminación ambiental, pero el problema se agrava día a día, como demuestra el aumento de la generación de residuos electrónicos observado en todo el mundo.

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) son aparatos eléctricos y electrónicos, incluidos todos sus componentes, que han dejado de funcionar o han sufrido defectos de funcionamiento durante su producción. Se trata de chatarra eléctrica y electrónica de varios equipos, como teléfonos móviles, grabadoras de vídeo, escáneres, faxes, impresoras, tabletas, reproductores de DVD, microondas, máquinas de rayos X y algunos equipos científicos. Se generan grandes cantidades de estos residuos debido a la continua innovación y sustitución tecnológica, especialmente de ordenadores y teléfonos móviles.

En varias hipótesis se prevé que el total de residuos eléctricos y electrónicos crecerá entre un 2,5 y un 2,7% anual hasta alcanzar unos 12,3 millones de toneladas en 2030. Cada año se desecha una cantidad creciente de aparatos eléctricos y electrónicos en el mercado de la mayoría de los países (Gollakota et al., 2020). Para el año 2030, se prevé que los residuos electrónicos producidos por los ordenadores viejos aumenten entre un 200 y un 400% en Sudáfrica y China, mientras que los residuos electrónicos procedentes de televisores y frigoríficos desechados serán el doble o el triple en China e India (Awasthi et al., 2018).

Según estudios realizados en la Unión Europea, los RAEE están compuestos por una media del 25% de componentes reciclables, un 72% de materiales reciclables (plásticos, metales ferrosos, aluminio, cobre, oro, níquel, hojalata, etc.) y un 3% de elementos potencialmente tóxicos: Plomo, mercurio, berilio, selenio, cadmio y

cromo. Acorde con el (Anzules & Castro, 2022), la basura electrónica mundial alcanzó las 93.000 toneladas en 2018. El 95% de la composición de los equipos eléctricos puede ser reciclado y reutilizado. Entre los materiales que se recuperan se encuentran diferentes tipos de plásticos y metales (cobre, oro y pilas).

Según el Ministerio de Ambiente, con base en datos de Naciones Unidas, Ecuador generó 93 mil toneladas de este tipo de residuos en el 2018, lo que significó un aumento de 5 mil toneladas anuales entre el 2012 y el 2015. Las empresas de telefonía móvil retiraron 49.808 dispositivos usados en el territorio nacional en 2017. El Acuerdo Ministerial 191 exige este tipo de obligación a las empresas. La responsabilidad ampliada del productor fija el objetivo de recogida en un 3%. Según la norma nacional, los productores o importadores son responsables de la gestión del producto a lo largo de su ciclo de vida. Esto incluye los impactos derivados de la selección de materiales, el proceso de producción y la eliminación final.

La preocupación por este tipo de residuos se debe a sus características que los distinguen de otros flujos de residuos como los domésticos y los peligrosos. Entre ellas se encuentran: su potencial de aprovechamiento, ya que contienen materiales reciclables de alto valor; la presencia de elementos tóxicos que, aunque bajos, requieren una gestión ambientalmente adecuada para proteger el medio ambiente y la salud pública; su volumen y su crecimiento acelerado, determinado por los fenómenos de cambio tecnológico.

Así, el principal problema es que los residuos electrónicos inadecuadamente tratados pueden mezclarse con los residuos sólidos normales debido a una inadecuada disposición final, lo que supone una verdadera amenaza para el medio ambiente, ya que la descomposición o degradación de los materiales libera sustancias altamente tóxicas como el plomo, el cadmio, el arsénico, el silicio, el níquel, el fósforo, los plásticos bromados y el mercurio, que contaminan el medio ambiente y ponen en peligro la salud de los seres vivos del entorno.

Este estudio pretende poner de manifiesto la situación actual de la gestión de los residuos electrónicos, que se está convirtiendo en un problema debido a la creciente demanda de equipos en el mercado nacional y local, ya que los equipos no se eliminan adecuadamente. También es importante porque tiene en cuenta la normativa para el tratamiento adecuado de los RAEE, limitando así la contaminación ambiental y la propagación de enfermedades.



CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

El presente capítulo plantea algunas preguntas básicas: ¿qué es el medio ambiente y por qué es importante? ¿Por qué se dice que el medioambiente se degrada por la acción del hombre? ¿En qué consiste esta degradación? ¿Qué causa la contaminación? ¿Es siempre perjudicial? ¿Cómo cambian los contaminantes una vez en el medio ambiente? ¿Qué sustancias contaminan y de dónde proceden? Además de intentar responder estas interrogantes, se hace hincapié en los principales impactos que los seres humanos ejercen sobre los sistemas naturales de la Tierra, al tiempo que recuerda la profunda dependencia de los servicios que prestan esos sistemas. Se examina lo que ocurre con los contaminantes una vez liberados y los efectos que ejercen, a veces a grandes distancias de su punto de liberación.

1.1 Medio ambiente

La palabra medio ambiente se usa más comúnmente en referencia al ambiente "natural", o la suma de todos los componentes vivos y los abióticos que rodean a un organismo, o grupo de organismos. El medio ambiente natural comprende componentes físicos, tales como aire, temperatura, relieve, suelos y cuerpos de agua, así como componentes vivos, plantas, animales y microorganismos.

En contraste con el "medio ambiente natural", también existe el "medio ambiente construido", que comprende todos los elementos y los procesos hechos por el hombre. El uso de la palabra en este documento incluye ambos el medio ambiente natural y el construido, o "Todos los factores externos, las condiciones, y las influencias que afectan a un organismo o a una comunidad" (Loja, 2007, p.1).

Un artículo publicado en 1997 en la revista Science, "Human domination of Earth's ecosystems", hablaba del impacto de la humanidad en el medio ambiente: "hasta la mitad de la superficie terrestre de la Tierra ha sido transformada por la acción humana" (Vitousek et al., 1997, p.8). Diez años después del artículo, el dominio humano ha seguido aumentando.

En el año 2007, un informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) afirmaba: "La población humana está viviendo muy por encima de sus posibilidades e infligiendo un daño al medio ambiente que podría superar los puntos de no retorno" (p. 2). Un ejemplo: hasta un tercio de las pesquerías oceánicas están en colapso, dos tercios podrían estarlo en 2025, y todas las pesquerías oceánicas importantes podrían desaparecer en 2048.

Como decía el artículo "Human domination of Earth's ecosystems":

Los ritmos, las escalas, los tipos y las combinaciones de cambios que se están produciendo ahora son fundamentalmente diferentes a los de cualquier otro momento de la historia; estamos cambiando la Tierra más rápidamente de lo que la entendemos. En un sentido muy real, el mundo está en nuestras manos y la forma en que lo manejemos determinará su composición y dinámica, y nuestro destino. (Vitousek et al., 1997, p.8)

Las soluciones son sin duda difíciles, pero la voluntad y la energía humana pueden conducir a cambios sorprendentes. Es frecuente ignorar la contaminación si su fuente es una fábrica local

que da empleo. "Es el olor del dinero", se podría decir. Muchos seres humanos, todavía no reconocen su total dependencia del medio ambiente o que todo el empleo humano depende de los servicios de la naturaleza.

La calidad del medio ambiente en que el ser humano vive, tiene un efecto directo en su salud y bienestar. Un medio ambiente limpio es fuente de satisfacción, mejora el bienestar mental, permite a las personas recuperarse del estrés de la vida cotidiana y llevar a cabo actividades físicas.

1.2 Deterioro ambiental

A lo largo de la historia de la humanidad, el deterioro de los ecosistemas y sus recursos naturales se ha considerado un mal necesario para obtener los beneficios del desarrollo y el progreso. Según esta lógica, se acepta que se deforestan bosques y selvas para dar cabida a la agricultura y la ganadería, que se interrumpen los cauces de los ríos para construir carreteras y presas, que se destruyan y rellenen los manglares para construir casas y hoteles, que se contaminen los ríos para transportar la basura y que se erosionen los suelos de las laderas al eliminar su cubierta vegetal para dedicarlos a la siembra efímera de productos agrícolas. El daño y el desequilibrio que los humanos causamos a los ecosistemas al utilizarlos para satisfacer nuestras necesidades se conoce como degradación ambiental.

La degradación ambiental es el resultado del mal uso que el ser humano ha hecho de los ecosistemas, de su biodiversidad y de los servicios ambientales que proporcionan. En la actualidad, la degradación ambiental ha alcanzado niveles extremos, lo que representa un gran riesgo para el equilibrio de la naturaleza e incluso podría significar el estancamiento o la regresión del desarrollo de las sociedades humanas. Las manifestaciones de este deterioro se manifiestan en diferentes componentes bióticos y abióticos del medio ambiente, como es el caso de la disminución de la calidad del suelo, el agua y la atmósfera, o la reducción de la biodiversidad.

Entre los principales problemas de deterioro del medio ambiente a los que se enfrenta la humanidad actualmente se encuentran:

- el aumento de la frecuencia de huracanes, sequías e inundaciones como consecuencia del cambio climático;
- el agotamiento de las pesquerías en todo el mundo debido a la sobreexplotación y contaminación de los mares;
- el aumento de la incidencia de las enfermedades respiratorias en las grandes ciudades como consecuencia de la contaminación atmosférica;
- la falta de agua de buena calidad que provoca, año tras año, la muerte de miles de personas;
- el aumento de la frecuencia de los casos de cáncer de piel debido al adelgazamiento de la capa de ozono;
- la disminución de los recursos disponibles para su uso como alimentos, madera, fibra y medicinas;
- la desecación de los manantiales debido a la deforestación;
- y el aumento de la incidencia de las enfermedades humanas causadas por diversas formas de contaminación.

Es importante destacar que los efectos de la degradación ambiental no se limitan al medio ambiente en el sentido estricto del término, ya que, como se desprende de los ejemplos mencionados, tiene efectos negativos sobre la salud humana, la economía y el bienestar social.

Por si fuera poco, la degradación del medio ambiente también causa importantes problemas sociales y económicos a las naciones debido a la falta de alimentos y al deterioro de las condiciones de vida de la población en general. Además, los efectos del deterioro no sólo están presentes en la localidad en la que se producen, sino que, debido al carácter global de la naturaleza, afectan a todo el planeta, y no sólo a las generaciones presentes, sino también a las futuras.

Por tanto, aunque se emitan gases de efecto invernadero en Moscú en 2008, el resultado, que es el calentamiento global, afectará a todo el planeta durante muchos años. Asimismo, aunque se

viertan residuos en las aguas del río Amazonas, llegarán a lugares muy remotos, ya que su curso desemboca en el mar, y el agua de los mares circula por todo el mundo. Así, se puede concluir que el deterioro ambiental no conoce fronteras entre países, ni tiene fecha de caducidad a corto plazo.

1.3 Factores del deterioro ambiental

Sin duda, uno de los factores de deterioro más importantes ha sido el crecimiento desmesurado de la población humana, la cual demanda cada vez más recursos de los ecosistemas. Como es evidente, cuanto mayor sea el número de personas que habiten en el planeta, más presión habrá sobre la naturaleza. Si bien esto es cierto en términos generales, el crecimiento demográfico no es la causa única de deterioro.

El impacto que la población humana ejerce sobre la naturaleza depende de sus costumbres en cuanto a la producción y el consumo de alimentos y otros satisfactores, así como en cuanto al uso de energía, agua y otras materias primas. Estas costumbres se pueden englobar en lo que se conoce como los patrones de consumo de una sociedad.

Las sociedades con diferentes patrones de consumo producen diferentes tipos e intensidades de deterioro ambiental. Así, por ejemplo, un millón de personas que van en bicicleta producen mucho menos daño al medio ambiente que un número igual de individuos que van en automóvil. Una familia con muchos electrodomésticos derrocha agua y energía, desperdicia alimentos y produce decenas de kilos de basura a la semana, lo que tiene un efecto mucho más negativo sobre el medio ambiente que una familia que vive en la pobreza, sin acceso a la electricidad ni al agua potable, y que se alimenta de lo que produce.

Por esta razón, una población con pocos habitantes, pero con altos patrones de consumo, puede tener un mayor impacto en el medio ambiente que una población más grande, pero con bajos índices de consumo. Sin embargo, la explosión demográfica y los patrones de consumo tampoco explican el 100% del deterioro ambiental.

El tercer factor que tiene un efecto muy notable en el deterioro medioambiental son las tecnologías en las que se basa el funcionamiento de la sociedad. Aquí nos referimos a las tecnologías asociadas al uso y la extracción de recursos bióticos (por ejemplo, la agricultura, la ganadería y la pesca), así como a las tecnologías industriales y domésticas.

Aunque una población sea pequeña y tenga patrones de consumo moderados, puede tener un gran efecto sobre el medio ambiente si deforesta grandes áreas de bosque o utiliza grandes cantidades de agroquímicos para producir sus alimentos. O bien, una familia que tiene una nevera vieja que consume mucha electricidad y produce gases que dañan la capa de ozono, y que además utiliza un coche que está descuidado y emite muchos gases nocivos a la atmósfera, tiene un efecto mucho más agresivo sobre el medio ambiente que otra familia que tiene una nevera nueva y un coche en buen estado, ya que contaminan menos y consumen menos energía. Así que las tecnologías también son un factor que hay que tener en cuenta para entender y evitar el deterioro.

Crecimiento poblacional

El crecimiento de la población es un tema que entra en el ámbito de estudio de los demógrafos de la población humana, los geógrafos y, en cierta medida, los actuarios. Sin embargo, también es un tema de gran interés desde el punto de vista ecológico, ya que la influencia del ser humano en la naturaleza ha transformado completamente la faz de la Tierra.

Esta transformación está sin duda relacionada con el intenso aumento de la población humana en los últimos 200 años. Durante la mayor parte de la historia, el tamaño de la población humana ha sido relativamente constante. Uno de los acontecimientos que favoreció un aumento significativo de la población humana fue la invención de la agricultura y la domesticación de los animales hace unos 12.000 años. Esto permitió que la población humana creciera hasta unos 300 millones alrededor del primer siglo de nuestra era, y hasta unos 800 millones alrededor de 1750.

El ritmo de crecimiento de la población humana comenzó a aumentar a pasos agigantados a partir de 1750. Entre 1750 y 1900 la población humana creció a un ritmo medio del 0,5% anual. Posteriormente, durante la primera mitad del siglo XX la tasa de crecimiento anual fue del 0,8% y durante la segunda mitad fue del 1,7% anual. Esto hizo que la población humana alcanzara los 6.000 millones en el año 2000.

El notable aumento de la población humana durante este periodo tuvo que ver con los avances en medicina y en la producción de alimentos y energía desde el inicio de la Revolución Industrial, que se aceleró a principios del siglo XX con el boom del petróleo. Hasta la fecha, el crecimiento de la población ha iniciado un periodo de desaceleración, especialmente en los países más industrializados.

En octubre de 2011, la población mundial se estimó en 7.000 millones de personas. Para conmemorar este acontecimiento histórico, se lanzó un movimiento global llamado "Un mundo de 7.000 millones". Se espera que la población mundial aumente en 2.000 millones de personas en los próximos 30 años, pasando de los 7.700 millones actuales a 9.700 millones en 2050, y alcanzando un máximo de casi 11.000 millones en 2100.

Se prevé que la población mundial alcance los 8.500 millones en 2030, los 9.700 millones en 2050 y los 11.200 millones en 2100. Como en todas las proyecciones, existe un cierto margen de error en estos últimos datos. Los resultados se basan en la variante media de la proyección de la fecundidad, que supone un descenso de la fecundidad en los países donde todavía predominan las familias numerosas y un ligero aumento en los países donde la fecundidad media es inferior a dos hijos por mujer. También se espera que las posibilidades de supervivencia mejoren en todos los países.

Este espectacular crecimiento se debe en gran medida al aumento del número de personas que sobreviven hasta la edad reproductiva y ha ido acompañado de importantes cambios en las tasas de fertilidad, lo que ha incrementado los procesos de urbanización y los movimientos migratorios. Estas tendencias tendrán importantes implicaciones para las generaciones futuras.

Hasta ahora, la humanidad ha creado una situación que parece corresponder a una disponibilidad ilimitada de recursos, en gran parte como resultado de la tecnificación de la producción agrícola. Con el uso de fertilizantes, pesticidas y maquinaria pesada para arar, sembrar, regar y cosechar, una hectárea de tierra ha podido producir muchas veces más de lo que produciría en condiciones menos tecnificadas.

Lo mismo ha ocurrido con la producción de carne, leche, huevos y otros productos animales, cuyo crecimiento se acelera mediante la administración de hormonas y otras sustancias. Pero el abuso de estas tecnologías también genera problemas de deterioro de los recursos naturales y del medio ambiente, que son la base natural del desarrollo. Estos problemas se traducirán tarde o temprano en un freno al desarrollo.

Patrones de consumo

Durante la segunda mitad del siglo XX, cuando la población humana mundial crecía a los ritmos más rápidos jamás registrados en la historia, se extendió la idea de que era precisamente la explosión demográfica la que estaba causando los mayores problemas de deterioro medioambiental. Desde entonces, surgió la preocupación de que, de continuar esta tendencia de crecimiento, en pocos años los recursos del planeta no serían suficientes para sostener a la población humana.

El postulado en el que se basan estas concepciones es que, desde una perspectiva funcional, la relación entre el ser humano y el medio ambiente es similar a la de todos los demás millones de especies que viven en el planeta, ya que las sociedades humanas, al igual que los demás seres vivos, dependen totalmente de la energía y los recursos que obtienen de la naturaleza. Las partes que no se utilizan vuelven tarde o temprano al medio ambiente en forma de residuos (en el caso de la materia) o se disipan de diversas maneras (en el caso de la energía).

Según este postulado, la interacción entre la humanidad y la naturaleza se produce independientemente de los cambios

tecnológicos, económicos y culturales que se producen en las sociedades humanas a lo largo de la historia. Sin embargo, la forma en que el hombre interactúa con la naturaleza tiene ciertas peculiaridades que la distinguen de las formas de interacción de otras especies. La más importante es su patrón de consumo, que es muy superior al de cualquier otra especie.

Aunque la biomasa de la población humana es inferior al 1% de la biomasa total de los heterótrofos que habitan el planeta, los humanos son, con diferencia, los principales consumidores de los recursos de la Tierra. Según diversas estimaciones, los seres humanos se apropian de una parte, que varía entre el 16 y el 40%, de la productividad primaria neta de los ecosistemas terrestres; además, se apropian de la mayor proporción de los recursos oceánicos a través de sus actividades pesqueras.

Este consumo es de tal magnitud que se estima que las demandas humanas, medidas en términos de los recursos consumidos y de la superficie de tierra y agua necesaria para depurar sus residuos, han superado la capacidad de carga del planeta desde la década de 1980 y actualmente están un 20% por encima de ella.

Durante muchos siglos, la intensidad y el modo de utilización de los recursos naturales no alteraron significativamente el equilibrio de los ecosistemas, ya que la cantidad de recursos extraídos no superaba la capacidad de los ecosistemas para renovarlos; además, los residuos resultantes de esta gestión de los recursos podían reincorporarse al medio ambiente sin generar alteraciones significativas.

Con el tiempo, como consecuencia del crecimiento de la población humana y del desarrollo tecnológico, las sociedades empezaron a demandar cada vez más productos del medio ambiente, y la tecnología transformó estos productos en manufacturados, algunos de los cuales no se degradan tan fácilmente o en absoluto. Con la aparición de nuevos productos manufacturados surgieron nuevas necesidades, la mayoría de las cuales no pueden considerarse realmente necesidades básicas o de

supervivencia, sino que responden a patrones culturales y educativos.

La vida moderna puede caracterizarse como la era del consumo, ya que funciona según la lógica de adquirir bienes y servicios mediante transacciones monetarias, en muchos casos para satisfacer nuestras necesidades básicas, pero también para complacer nuestros deseos más refinados hasta nuestros caprichos más insignificantes y absurdos.

El consumo, concebido como resultado inevitable de las actividades de una sociedad, no es positivo ni negativo en términos medioambientales. El problema es que, en la sociedad actual, el propio consumo se ha convertido en una nueva necesidad. Es muy común que las personas compren productos que no les son indispensables, como forma de alivio, diversión o pasatiempo, en el contexto de una vida cotidiana llena de estrés, conflictos y alienación, característica de las grandes ciudades.

En algunos círculos de la sociedad actual la escala de valores se ha deformado y distorsionado profundamente, de tal manera que es común que las personas sean valoradas no por lo que son, sino por lo que poseen. Esto se ve agravado por la economía de mercado que domina el mundo actual. Estas tendencias sociales llevan a las personas a comprar productos en exceso, percibiendo que necesitan lo que en realidad es superfluo. Esta actividad de comprar por comprar se llama consumismo y se caracteriza por un consumo excesivo e irracional que no responde a necesidades reales.

El concepto de patrones de consumo es algo más complejo, ya que engloba varios aspectos del consumo, como los tipos de productos que se compran, la frecuencia con la que se compran y los hábitos que conlleva la adquisición de dichos productos. Los medios de comunicación de masas, como la televisión y la radio, desempeñan un papel importante en la determinación de las pautas de consumo de una población porque, a través de las campañas publicitarias, inducen a la gente a consumir diferentes productos.

La publicidad, que se expresa en los anuncios de radio y televisión, o en las imágenes que vemos en revistas, periódicos y

vallas publicitarias, tiene como objetivo ofrecer y promocionar productos, sugiriendo al público que éstos son los mejores del mercado. De este modo, la publicidad influye en la forma de pensar de las personas e induce en ellas la necesidad de comprar los productos ofrecidos para convertirlos en una moda.

Ciertos productos se han convertido en un símbolo de estatus en la sociedad, y la gente los compra no por su función, sino por su imagen y significado. Cuanto más atractiva sea la publicidad asociada a un producto, más se favorecerá su consumo; esta demanda, a su vez, fomentará un aumento de la producción. Este es el objetivo último del productor: producir más, vender más y ganar más.

El bombardeo publicitario no sólo genera una actitud consumista en las personas, sino que promete algo que no se cumple con la compra del producto: una mejor calidad de vida e incluso la felicidad. Es una pena ver que, en estos días, un gran número de personas ha caído en la trampa de asumir que la felicidad y el bienestar se consiguen con la posesión o el consumo de bienes materiales, mientras que valores como la amistad, el amor y la compasión por otros seres vivos pasan a un segundo plano, así como otros valores éticos, culturales y estéticos.

La única manera de modificar esta actitud consumista basada en el valor social asociado a la capacidad de consumo es a través de la educación, que puede ayudar a las personas a formarse un juicio crítico y sensato, basado en el análisis y la reflexión de información objetiva que les permita tomar las mejores decisiones sobre cómo relacionarse con su entorno.

Muchas sociedades actuales han adquirido el hábito de concentrarse en el consumo y la producción excesivos de unos pocos bienes. Paradójicamente, al mismo tiempo, se desperdicia una gran cantidad de otros recursos. Así, mientras algunas especies de plantas y animales son sobreexplotadas, muchas otras son infrautilizadas o incluso desperdiciadas. Esto es un claro síntoma de la falta de armonía entre la sociedad y la naturaleza, que ha conducido gradualmente a un gran desequilibrio entre lo que la naturaleza produce y lo que los humanos consumen.

Si no se hace nada para modificar estas tendencias, la actual crisis medioambiental podría agravarse hasta alcanzar niveles realmente dramáticos. Uno de los principales problemas que genera el consumismo sobre el medio ambiente es que muchos de los productos que se consumen provocan un importante deterioro del agua, del suelo, de la atmósfera y de la biodiversidad, tanto por la forma en que se producen como por los residuos que genera su producción.

Las tecnologías utilizadas en esta producción casi siempre ignoran los costes ambientales de su actividad, que incluyen la sobreexplotación de las materias primas (es decir, su extracción más allá de la capacidad de los ecosistemas para renovarlas), la emisión de gases y líquidos contaminantes a la atmósfera y a las masas de agua, y la producción de residuos sólidos peligrosos que afectan tanto a la salud humana como a la de los ecosistemas. Como consecuencia, estos daños acaban por revertirse y acaban afectando al propio consumidor, ya que, al disminuir la calidad de los ecosistemas naturales, también lo hace la calidad de vida de las sociedades que dependen de ellos.

El transporte y la presentación de los productos manufacturados para su venta también representan graves problemas ambientales; por ejemplo, los envases son un problema muy importante por su cantidad y calidad. La mayoría de las veces, los envases no son biodegradables, lo que significa que no se descomponen a corto plazo, o bien, al intentar destruirlos, generan mucha contaminación. Por ello, es necesario tener en cuenta el ciclo de vida de cada producto en el proceso de producción.

Para ello, se deben cumplir las normas medioambientales del país en el que se producen, para restringir en cierta medida el deterioro de los ecosistemas y sus componentes relacionados con los procesos de producción. Sin embargo, en muchos países aún no existen suficientes normas medioambientales, por lo que sus gobiernos deben dictarlas.

Otros factores que determinan los patrones de consumo de una población son las influencias culturales de cada sociedad o país, la

distribución de la población entre lo rural y lo urbano, el poder adquisitivo de las personas y los sistemas de producción. Los patrones de consumo crean estilos de vida, y cada país y cultura tiene el suyo propio. El estilo de vida (y los patrones de consumo asociados) de una persona que vive en Nueva York es, sin duda, muy diferente al de alguien que vive en la Kenia rural.

Por otra parte, es cierto que la globalización es una fuerza que ha llevado a que los modos de vida de los distintos países sean cada vez más similares. Sin embargo, en cada país existen claras diferencias entre las poblaciones rurales y urbanas en cuanto a sus pautas de consumo: un consumidor urbano típico gasta una cantidad mucho mayor de recursos energéticos e hídricos que uno que vive en una comunidad rural.

El poder adquisitivo de las personas es otro factor que define las pautas de consumo. El poder adquisitivo se refiere a la cantidad de dinero de que disponen las personas para comprar productos, que depende de su salario y otros ingresos. En general, las personas con mayor poder adquisitivo tienen patrones de consumo más elevados y, en consecuencia, más perjudiciales para el medio ambiente. Sin embargo, no sólo las personas de niveles socioeconómicos más altos tienen malos hábitos de consumo; muchas personas de bajos ingresos también tienen patrones de consumo perjudiciales para el medio ambiente.

Un ejemplo de ello es el consumo de "comida chatarra", que se da en todos los niveles sociales y genera grandes cantidades de residuos; no tiene el mismo efecto ambiental comer papas fritas comerciales que comer maíz cocido. Una parte importante de los residuos producidos por la "comida chatarra" se vierte en lugares públicos como parques, calles, avenidas, carreteras, ríos y arroyos.

Por lo tanto, al preguntarse cuántas personas pueden vivir de forma sostenible en un lugar, hay que tener en cuenta no sólo el número de habitantes, sino también sus patrones de consumo. En cada sociedad existen sistemas de producción particulares, que se refieren a qué bienes se producen, en qué cantidades y de qué manera se lleva a cabo esa producción. Los sistemas de producción

están modelados y definidos en gran medida por los patrones de consumo de la población, ya que lo que ésta demanda es lo que tiene más éxito en el mercado, y cuando un producto deja de ser consumido por la población, tarde o temprano deja de producirse.

Si los seres humanos son cada vez más conscientes de su efecto sobre el medio ambiente y, en consecuencia, cambian sus pautas de consumo, a la larga también cambiarán sus sistemas de producción. Esto no significa renunciar a todas las comodidades y ventajas de la vida moderna, gracias a las cuales se tienen acceso a productos tecnológicos que permiten mejorar el bienestar social y la calidad de vida.

Por supuesto, teniendo en cuenta que los habitantes de los países desarrollados son los que más consumen, son ellos los que más deberían reducir su consumo. Lo más deseable sería que los países desarrollados redujeran su consumo per cápita, y favorecieran el desarrollo de los países menos industrializados, pero siempre manteniendo niveles de consumo acordes con la conservación de la naturaleza.

Cada vez hay más productos en el mercado que han sido producidos con tecnologías adecuadas que no dañan el medio ambiente. Muchos de estos productos se cosechan o se extraen de las tierras de cultivo; otros, como la madera, las resinas y la goma de mascar, se obtienen directamente de los ecosistemas naturales; y otros se fabrican y derivan de recursos no renovables como los minerales y el petróleo. Son los llamados "productos verdes".

Los productos verdes son aquellos que, en su proceso de producción, utilizan recursos bióticos gestionados y extraídos de forma sostenible, es decir, sin agotarlos y respetando el ritmo de renovación de la naturaleza; además, la producción de este tipo de bienes no genera residuos contaminantes para la atmósfera, el suelo o el agua. Los procesos de producción de estos diferentes bienes varían mucho debido a que algunos son más caros que otros, y algunos generan más contaminantes que otros. Sin embargo, en muy pocos casos se tiene en cuenta el coste medioambiental de la producción.

Para que la producción sea más "amigable" con el medio ambiente (es decir, que tenga un daño nulo o muy bajo), es necesario invertir dinero, ya que hay que gastar en el tratamiento de aguas contaminadas, en la instalación de dispositivos que reduzcan la emisión de contaminantes en la maquinaria, o en el uso de fertilizantes derivados del compost en lugar de la producción industrializada de agroquímicos, entre otras posibilidades.

Los costes económicos de una producción más respetuosa con el medio ambiente deben ser absorbidos tanto por los consumidores como por los productores, que obtienen grandes beneficios. Es obvio que los productores de bajos ingresos, como algunos agricultores y propietarios de bosques comunales, no pueden absorber estos costos adicionales. Pero hay alternativas.

Uno de ellos son los mercados especiales que se han creado para la venta de productos "verdes", también llamados sostenibles, orgánicos o ecológicos. Estos productos deben ser certificados por una organización que evalúa el proceso de producción y garantiza que se ajusta (es decir, certifica) a una serie de directrices y normas medioambientales. Muchos de estos organismos de certificación son organizaciones internacionales no gubernamentales. La certificación otorga al producto una "etiqueta verde" que atestigua el carácter sostenible del proceso de producción y del propio producto.

Pero como estos productos suelen ser más caros que sus homólogos no ecológicos (porque el proceso de certificación y la producción sostenible exigen una inversión financiera), sólo unos pocos están dispuestos a pagar esta prima, por lo que poca gente los compra. No sólo las personas con bajos recursos económicos adoptan esta actitud, sino incluso las de las clases socioeconómicas altas, en parte por ignorancia y en parte por desinterés.

Es necesario que tanto los países desarrollados como los que están en vías de desarrollo cambien sus formas de producción y consumo por otras más respetuosas con el medio ambiente y que no causen tanto daño a la naturaleza. Esto requiere un cambio cultural sustancial que anime a la gente a cambiar sus sistemas de

valores y a considerar la protección del medio ambiente como una cuestión prioritaria.

Tecnologías

La degradación del medio ambiente no puede explicarse únicamente por la explosión demográfica y las pautas de consumo de la población, ya que las tecnologías utilizadas para la extracción, producción y gestión de los bienes de la naturaleza también tienen efectos muy importantes en su degradación. Incluso si una población es pequeña y tiene una tasa de consumo baja, es capaz de producir un alto impacto en la naturaleza si utiliza una tecnología altamente contaminante o poco respetuosa con el medio ambiente.

Este es el caso de muchas pequeñas poblaciones campesinas dispersas en ciertas regiones del país. Estas poblaciones viven de una economía de subsistencia y pueden provocar una importante deforestación por el uso inadecuado del fuego en sus actividades agrícolas; así, provocan grandes incendios en los bosques y selvas donde se encuentran, dejando el suelo desprovisto de vegetación, lo que provoca la erosión.

Estos incendios accidentales son, por desgracia, muy frecuentes en la actualidad. A la inversa, hay poblaciones más grandes con niveles de consumo más altos, pero con un bajo impacto en la naturaleza porque utilizan tecnologías respetuosas con el medio ambiente.

Desde hace décadas, y más aún desde la revolución industrial, el ser humano está convencido de que el desarrollo de la tecnología puede resolver todos sus problemas, cubrir todas sus necesidades y superar las dificultades asociadas a los procesos de producción. Sin embargo, esta concepción es un grave error.

Si bien es cierto que la tecnología ha sido la herramienta de las sociedades humanas para transformar los productos de la naturaleza en bienes y servicios que permitan su desarrollo y bienestar social, también es cierto que muchas de estas tecnologías generan graves impactos negativos sobre el medio ambiente. Peor

aún, el deterioro ambiental resultante de estos impactos lo sufren no sólo las sociedades que usan y aplican las tecnologías, sino todo el planeta.

El uso de tecnologías inapropiadas o mal aplicadas a las condiciones específicas de los distintos ecosistemas ha generado un profundo daño a la naturaleza, que tarde o temprano acabará pasando factura, una vez que ésta no pueda seguir proporcionando los satisfactores en los que se basa el desarrollo de las sociedades humanas.

Hay varios ejemplos en la historia reciente de la humanidad del uso inadecuado de la tecnología, que ha tenido consecuencias desastrosas para el medio ambiente. Uno de ellos es el modelo tecnológico de la revolución verde, que estuvo en boga en el sector agrícola durante la década de 1970. Este modelo proponía que la productividad de la tierra podía incrementarse sustancialmente mediante la aplicación intensiva de fertilizantes y pesticidas industriales, el uso de maquinaria para el arado, la siembra y la cosecha, así como la utilización de sistemas de riego tecnificados.

Como este modelo tecnológico demostró ser muy exitoso, ya que aumentó efectivamente la productividad agrícola de este tipo de tierras, y por lo tanto, la producción de alimentos, su aplicación se extendió por todo el mundo, pero sin realizar modificaciones de acuerdo a cada región. La aplicación del modelo de la revolución verde contribuyó sin duda a reducir la intensidad y la frecuencia de las hambrunas en el mundo.

Sin embargo, también es cierto que el uso intensivo y generalizado de fertilizantes y plaguicidas industriales tuvo efectos agudos sobre la salud humana (por ejemplo, aumentó la incidencia del cáncer en las localidades donde se aplicaron), contaminó el agua y el suelo y provocó la incorporación de sustancias químicas peligrosas en las cadenas tróficas de los ecosistemas naturales.

Este modelo tecnológico también ha sido la causa de la sobreexplotación de muchos acuíferos, así como de la erosión y salinización del suelo. Como se puede concluir de esta descripción,

la revolución verde es un ejemplo de un modelo tecnológico que tuvo éxito a corto plazo, pero que también generó gravísimos problemas de deterioro ambiental que la humanidad aún no ha podido resolver.

Otro ejemplo de tecnologías novedosas que resultaron contraproducentes para el medio ambiente fue la invención de los químicos clorofluorocarbonos, que se utilizaron en la fabricación de aerosoles, pinturas, refrigeradores y aires acondicionados, entre otros.

Aunque estos productos supusieron una revolución tecnológica muy apreciada en su momento, a la larga se comprobó que estas sustancias provocan el adelgazamiento de la capa de ozono estratosférico, ya que estos gases son muy longevos, altamente volátiles y producen una serie de reacciones químicas que transforman el ozono (O₃) en oxígeno molecular (O₂). De este modo, la capa de ozono deja de cumplir su función de absorber los rayos ultravioletas que llegan a la atmósfera terrestre desde el Sol.

En este caso, los países que desarrollaron esta tecnología y las regiones donde más se utilizaba no fueron los más afectados, ya que los clorofluorocarbonos tienden a concentrarse en los polos (especialmente en la Antártida), por lo que son estas regiones las que más sufren sus efectos.

En los últimos años se han desarrollado tecnologías alternativas más respetuosas con el medio ambiente en las industrias agrícola, ganadera, pesquera y forestal. Algunas de estas tecnologías tienen un bajo consumo energético o utilizan fuentes de energía alternativas (como la solar o la eólica). Muchas otras evitan el uso de productos agroquímicos industriales o se preocupan por abonar el suelo con sustancias degradables y controladas, como en el caso de la agricultura ecológica.

En otros casos, los propietarios deciden realizar actividades productivas que no transforman los ecosistemas naturales (como la gestión forestal sostenible o el ecoturismo). Estas actividades, además de que pueden ser muy productivas y mejorar

sustancialmente los ingresos de la población, son compatibles con la conservación de la naturaleza.

1.4 Contaminación

Se entiende por contaminación la presencia en el aire, el agua o el suelo de sustancias o formas de energía indeseables en concentraciones tales que puedan afectar al confort, la salud y el bienestar de las personas, así como al uso y disfrute de lo contaminado. Es decir, un medio o vector ambiental (aire, agua o suelo) estará contaminado si tiene algo (sustancias materiales, energía en forma de ruido, calor...) que provoca efectos negativos en él. Si ese algo no causa efectos negativos, no se dirá que el medio está contaminado y, por supuesto, ese algo nunca será contaminante (García, 2019).

La contaminación del aire, la del agua y la del suelo están muy relacionadas entre sí y no se pueden separar. Si se lee que un contaminante es "cualquier sustancia introducida en el medio ambiente que afecta negativamente a la utilidad de un recurso" puede no entenderse. Pero la contaminación golpea literalmente si se vive en una ciudad donde las emisiones de los coches, camiones y motos pican los ojos, congestionan la nariz, ocasionan dolor de cabeza o afectan la respiración.

Los contaminantes son emitidos por fuentes de emisión que pueden ser naturales o artificiales. Las fuentes artificiales, a su vez, pueden ser estacionarias o fijas (por ejemplo, las industrias) o móviles (por ejemplo, el tráfico). Estos contaminantes que son emitidos directamente por la fuente se conocen como contaminantes primarios y se emiten con un flujo o nivel de emisión que es la tasa a la que son emitidos por la fuente y, por tanto, tiene unidades de masa por unidad de tiempo.

Una vez emitidos al medio ambiente (aire, agua o suelo), los contaminantes sufren una serie de procesos, no sólo de transporte y dispersión, sino también de reacciones químicas, convirtiéndose en contaminantes secundarios. La concentración de un contaminante, ya sea primario o secundario, tras ser dispersado es

el nivel de inmisión y tiene unidades de masa por unidad de volumen. Por último, los contaminantes llegan a los receptores a través de diversos mecanismos (precipitación, a través de la cadena alimentaria, etc.) causando diversos efectos en ellos (Sánchez & Tello,2019).

Así como una mala hierba es "una planta fuera de lugar", un contaminante es "una sustancia química fuera de lugar". El petróleo encerrado en un petrolero no es un contaminante. Vertido en el medio ambiente, sí lo es. Sin embargo, hacer daño a menudo implica algo más que estar fuera de lugar.

Un pequeño vertido de petróleo puede pasar desapercibido, pero uno grande puede ser desastroso. Las circunstancias también son importantes. Si el petróleo es de un tipo que se degrada fácilmente, o que se evapora con facilidad, o si el viento aleja el vertido rápidamente de la costa, puede haber poco daño. Pero, al llegar a la costa, el petróleo puede devastar a los animales, las aves y otros organismos que habitan en ella.

Casi cualquier sustancia, sintética o natural, puede contaminar. Sin embargo, aquí se hace hincapié en los productos químicos sintéticos y otros productos industriales. Si se conoce que las sustancias químicas industriales presentes en una masa de agua perjudican de forma evidente la capacidad de reproducción de las aves o se asocian a los tumores de los peces, se estará de acuerdo en que el agua está contaminada. ¿Pero qué ocurre si sólo hay cantidades mínimas de sustancias químicas industriales y los seres vivos no se ven afectados? ¿Está el agua contaminada? Algunos dirían que "sí", argumentando que podrían producirse efectos crónicos, es decir, efectos adversos derivados de la exposición a largo plazo incluso a concentraciones muy bajas de una sustancia.

La palabra residuo difiere de contaminante, aunque un residuo puede ser también un contaminante. Los residuos se refieren a materiales como la basura, los desechos, los restos de la construcción: materiales que han llegado al final de su vida útil.

La contaminación suele ser menos evidente si se vive en un país rico, donde el siglo XX trajo consigo aire y agua potable más

limpios, tratamiento de aguas residuales, leyes de seguridad alimentaria y refrigeración de los alimentos. Pero se necesitaron muchos años y muchos miles de millones de dólares para alcanzar esos resultados. Y la riqueza no garantiza un medio ambiente intacto.

Por ejemplo, algunas partes de los montes Apalaches estadounidenses sufren la destrucción y la contaminación resultantes de la minería de extracción de las montañas (descrita más adelante). Otro ejemplo puede observarse en la rica Hong Kong. En la década de 1990, las playas de esta isla estaban demasiado contaminadas para nadar. Altas concentraciones de metales industriales peligrosos, residuos ganaderos y desechos humanos contaminaban sus ríos, y grandes cantidades de basura contaminaban el puerto. Sin embargo, entre 1993 y 2000, los vertidos de metales peligrosos se redujeron de 7000 kg/día (15 432 lb/día) a 2000 kg/día (4409 lb/día). Además, Hong Kong recoge y trata cada vez más las aguas residuales antes de verterlas al puerto (Awasthi et al., 2018).

Sin embargo, la contaminación atmosférica sigue siendo crítica. A mediados de la década de 1990, los escapes de los vehículos de motor provocaban que el 25% de la población sufriera problemas respiratorios. En la actualidad, a pesar de los mejores controles de la contaminación atmosférica, la niebla tóxica cubre a menudo Hong Kong. Hasta la mitad entra en Hong Kong desde las ciudades chinas cercanas de la provincia de Guangdong. Pero parte de la contaminación importada procede de instalaciones propiedad de empresas de Hong Kong, que operan en el continente con escasos controles de contaminación.

¿Por qué se produce la contaminación? A menos que se asuma que las personas y la industria contaminan deliberadamente, la contaminación ocurre porque ningún proceso es 100% eficiente. El propio cuerpo humano no puede utilizar el 100% de los alimentos que come. El tracto gastrointestinal no descompone la fibra de los alimentos que ingiere, y ésta es excretada por el cuerpo como residuo sólido.

Las enzimas del intestino sí descomponen otros alimentos en moléculas que pueden atravesar la pared gastrointestinal y llegar al torrente sanguíneo, que transporta los nutrientes a todo el cuerpo. Pero el cuerpo no puede utilizar el 100% del valor nutritivo, y una parte se excreta en la orina como residuo hidrosoluble. Además, el cuerpo no puede convertir toda la energía potencial de los alimentos en energía útil: una parte se convierte en energía de desecho (Gaidajis et al., 2010).

Al igual que el cuerpo, ningún otro proceso, natural o humano, como la fabricación o la quema de combustible, es 100% eficiente: cada uno produce contaminación y residuos, y desperdicia energía. La falta de prevención, el descuido, la falta de voluntad para invertir en buena tecnología o la falta de tecnología adecuada agravan los residuos y la contaminación producidos.

El arquitecto William McDonough y el químico Michael Braungart observan: "La contaminación es un símbolo del fracaso del diseño" (Galindo, 2020, p.114). En otras palabras, los residuos no tienen por qué ser residuos y los contaminantes no tienen por qué ser contaminantes. Se debería ser capaces de devolverlos al proceso de fabricación, o bien asegurarse de que los residuos implicados son capaces de biodegradarse de forma inocua en el medio ambiente.

¿Qué sustancias contaminan? Casi cualquier sustancia química o material de origen humano o natural puede contaminar. Este texto hace hincapié en los contaminantes antropogénicos (es decir, los producidos por la actividad humana), pero las sustancias químicas naturales también pueden contaminar. Esto ocurre de forma espectacular cuando un volcán en erupción arroja enormes cantidades de rocas, cenizas, cloro, dióxido de azufre y otras sustancias químicas.

Otras sustancias químicas naturales también pueden contaminar, pero a veces las acciones humanas permiten que las sustancias naturales alcancen niveles peligrosos (Sitaramaiah & Kumari, 2014) así, por ejemplo:

1. El radón es una sustancia química naturalmente radiactiva, un gas que surge de las transformaciones que se producen en las rocas y suelos subyacentes de todo el mundo a medida que el uranio radiactivo natural se descompone. Pero los niveles de radón en el aire exterior son bajos. Es cuando el radón se filtra y se concentra en las estructuras humanas cuando pueden surgir los problemas. La EPA de EE.UU. clasifica el radón, asociado al cáncer de pulmón en humanos, como el segundo riesgo ambiental para la salud, después del humo del tabaco.
2. El arsénico también es natural y antes no era un problema para los habitantes de Bangladesh e India. Su problema era beber agua de superficie que estaba muy contaminada con microbios infecciosos. Para corregirlo, se perforaron millones de pozos para proporcionar agua potable. Por desgracia, el arsénico presente en la roca y el suelo se disuelve en el agua de esos pozos. El resultado ha sido un envenenamiento masivo continuado en el que millones de personas sufren envenenamiento por arsénico.
3. El amianto también es natural. Pero, en el condado de El Dorado, California, el crecimiento de la población hizo que se construyeran casas en regiones previamente desocupadas, incluyendo áreas ricas en depósitos de amianto. Ahora la exposición al asbesto se ha convertido en una gran preocupación. La exposición crónica también se produce en ciertas regiones de Turquía, donde los altos niveles naturales de amianto han provocado enfermedades respiratorias y cáncer. Hasta las últimas décadas, el amianto era también un contaminante laboral.

Fuentes y destinos de contaminación

Las fuentes naturales más importantes son la actividad volcánica, la meteorización continental, la lluvia y los incendios forestales. La contribución de los volcanes puede ser en forma de emisiones voluminosas debido a la actividad explosiva, o de emisiones continuas de bajo volumen resultantes de la actividad geotérmica y la desgasificación del magma, entre otras.

"Yo soy, luego contamina" es una afirmación que se aplica a multitud de procesos:

1. Vehículos de motor, incluidos coches, autobuses, aviones, barcos y vehículos todoterreno
2. Refinerías químicas y de petróleo
3. Instalaciones de fabricación
4. Operaciones comerciales, incluidas tintorerías, panaderías y garajes
5. Plantas que generan energía eléctrica mediante la combustión de carbón, petróleo, o gas natural
6. Operaciones agrícolas de cultivo o cría de animales
7. Operaciones de procesamiento de alimentos
8. Minería
9. Construcción y construcción de carreteras
10. Operaciones militares
11. Operaciones forestales
12. Operaciones municipales, incluido el tratamiento de agua potable y de aguas residuales, y el mantenimiento de carreteras
13. Actividades que tienen lugar en edificios comerciales y municipales, y en viviendas privadas, incluyendo, por ejemplo, el uso de productos de consumo.

A medida que crece la población, aumenta la contaminación. Y en los lugares ricos, el consumo por individuo suele crecer también con el tiempo, y las tecnologías se hacen más grandes. Por lo tanto, si no se hace un esfuerzo concertado para evitarla, la contaminación y otras formas de degradación del medio ambiente también crecerán.

Los contaminantes se mueven y se transforman, rara vez permanecen en el punto de emisión. Los contaminantes se mueven, se transportan, entre el aire, el agua, el suelo y los sedimentos, y a menudo también entre los alimentos. A menudo se mueven de forma transfronteriza: a través de las fronteras estatales y nacionales viajando con las corrientes de aire o de agua. A veces se produce un biotransporte, es decir, los contaminantes son transportados en los tejidos corporales de animales migratorios

como el salmón, las ballenas o las aves, o se encuentran en los excrementos de las aves migratorias.

Un contaminante suele transformarse en productos finales diferentes de la forma química en la que se emitió inicialmente. Puede transformarse en sustancias químicas que ya no son contaminantes, como cuando la materia biológica es descompuesta por microorganismos y se incorpora al material biológico normal de estos organismos. En cambio, una molécula como la TCDD ("dioxina") puede tardar años, incluso décadas, en transformarse en formas inocuas.

El proceso que conduce al destino final puede ser complejo. La contaminación del aire, el suelo y el agua es mayor en la fuente del contaminante. Aunque los contaminantes se mueven, sus concentraciones son mayores cerca de la fuente de emisión. Si se consideran las dioxinas emitidas en forma de partículas por una incineradora, se observa que la mayor caída de las partículas sobre la vegetación, el suelo y el agua se produce cerca de esa incineradora. Sin embargo, algunas dioxinas no caen, sino que siguen viajando con las corrientes de aire durante largas distancias antes de asentarse.

Dondequiera que caigan, pueden contaminar el forraje o el grano que luego comen el ganado y otros animales, y éstos absorben estas sustancias químicas liposolubles en su grasa. Los humanos que comen carne grasa, como las hamburguesas, absorben entonces las dioxinas en su propia grasa. Las sustancias químicas como las dioxinas que pasan a la grasa de un organismo pueden permanecer durante años. Este es un "destino" temporal. Finalmente, con el paso de los años, las dioxinas se descomponen lentamente y salen del organismo.

Algunos impactos de los contaminantes se producen lejos de la fuente. Si la cantidad de contaminante transportada por el viento o las corrientes de agua sigue siendo lo suficientemente alta, el contaminante puede tener efectos lejos de donde fue emitido. A continuación, se dan ejemplos.

1. Transporte de agua

En el año 2000, una explotación minera rumana derramó cianuro y metales peligrosos en el río Danubio, que se une al río Tisza que fluye hacia Hungría y Yugoslavia. Un alcalde yugoslavo dijo que el 80% de los peces del Tisza, cerca de su ciudad, murieron. Otro declaró: "El Tisza es un río muerto. Toda la vida, desde las algas hasta las truchas, ha sido destruida".

Unos años antes, un accidente en una instalación suiza arrastró grandes cantidades de productos químicos al río Rin. Estos fueron arrastrados a Francia y Alemania, matando a los peces y otras formas de vida acuática en su recorrido.

2. Transporte aéreo

Cuando un contaminante gaseoso se mezcla uniformemente con la atmósfera, a veces puede ser transportado a todo el mundo. Los principales ejemplos son el agotamiento del ozono estratosférico debido a los CFC¹ y el cambio climático global debido al CO₂. Y, como algunos de estos contaminantes tienen una vida larga, se acumulan en la atmósfera con el tiempo a menos que se eliminen sus fuentes de emisión.

¿Qué ocurre con los contaminantes que cambian de forma química tras su emisión? El dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno (precursores de la deposición ácida) también se mezclan uniformemente en la atmósfera. Sin embargo, mientras que los CFC y el CO₂ son estables en la atmósfera, el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno se transforman de gases en pequeñas partículas. Las partículas son más pesadas que el aire y no se mezclan uniformemente. Aun así, pueden desplazarse cientos, incluso miles, de kilómetros antes de que las partículas ácidas terminen de asentarse en la tierra y el agua.

Curiosamente, aunque las partículas ácidas no viajan por todo el mundo, su impacto es global. Esto es así porque los

¹ Clorofluorocarburos

contaminantes ácidos (emitidos sobre todo durante la quema de combustibles fósiles) se liberan en muchos lugares del mundo. Otra característica del dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno es que son sustancias químicas inorgánicas y no se degradan del mismo modo que la mayoría de los contaminantes orgánicos. Aunque sólo se depositan pequeñas cantidades en un punto, si las emisiones continúan, los ácidos se acumulan con el tiempo en el suelo y el agua.

El ácido procedente de los países europeos daña los bosques y lagos de Suecia, al norte. El medio ambiente de Japón se ve perjudicado por la quema de carbón en China. Hay otros contaminantes que también viajan miles de kilómetros, a veces por todo el mundo, y a veces tienen impactos en un punto lejano de la fuente de emisiones.

Los contaminantes de los sedimentos no suelen permanecer enterrados. Los sedimentos se componen de tierra, limo, minerales y materiales orgánicos que han sido arrastrados por la escorrentía del agua de lluvia desde las tierras circundantes y las superficies pavimentadas hasta un lago, río u otra masa de agua. Por su naturaleza, los sedimentos quedan enterrados por el material sedimentario adicional que llega. A menudo, los sedimentos también contienen otros contaminantes, pero no están enterrados de forma segura.

Los organismos que se alimentan en el fondo del mar pueden absorber los contaminantes, introduciéndolos en la red alimentaria. A veces se dragan los sedimentos de las zonas fluviales y costeras. Cuando esto ocurre, los contaminantes vuelven a la superficie junto con el sedimento.

Las corrientes de agua, como las de un río de gran caudal, también mueven los sedimentos. También en este caso, los contaminantes pueden no quedarse en el mismo sitio. Los contaminantes del suelo también se mueven. El agua que se filtra a través del suelo puede llevar los contaminantes a las aguas subterráneas.

El agua de lluvia puede disolver y arrastrar los contaminantes, incluidos los pesticidas y los fertilizantes. El agua de lluvia también erosiona el suelo que puede tener contaminantes absorbidos. El destino químico de los contaminantes Los contaminantes no sólo se mueven. Su destino suele ser -como se ha observado en el caso de los precursores de la lluvia ácida- convertirse en otras sustancias químicas, sufriendo reacciones en la atmósfera, el agua y el suelo.

Contaminantes orgánicos

Especialmente en climas moderados y cálidos, los contaminantes orgánicos pueden degradarse en el agua, el suelo y la atmósfera hasta convertirse en productos finales menos peligrosos que los compuestos originales. Los microorganismos (hongos y bacterias) degradan los residuos orgánicos, incluidos los restos vegetales, los restos animales, la materia orgánica de la basura y también muchos contaminantes orgánicos individuales.

Los microbios trabajan tanto en el agua como en el suelo. La descomposición microbiana es un servicio natural vital: de lo contrario, los residuos y los contaminantes químicos se acumularían en el medio ambiente hasta niveles intolerables. El CO₂ y el agua son los productos finales del metabolismo microbiano cuando hay oxígeno. Se dice que una sustancia orgánica degradada hasta el CO₂ y el agua está mineralizada.

Algunos microorganismos pueden degradar sustancias orgánicas sin necesitar oxígeno para ello. En ese caso, el producto final más común es el metano ("gas de pantano"), como se observa cuando la degradación microbiana se produce en el barro de los arrozales o pantanos.

Algunas sustancias químicas orgánicas sintéticas tienen estructuras que dificultan mucho su degradación por parte de los microbios. Entre estas sustancias se encuentran las policloradas, como las dioxinas, el DDT y los PCB, que a veces persisten en el medio ambiente durante muchos años y, en climas muy fríos, indefinidamente.

También hay otros factores que contribuyen a degradar las sustancias orgánicas. El oxígeno atmosférico reacciona con muchas sustancias orgánicas. El calor: cuanto más alta es la temperatura, más rápidamente se descomponen los materiales orgánicos. En condiciones muy frías, el Ártico y el Antártico, las sustancias orgánicas pueden persistir durante muchos miles de años, quedando profundamente enterradas en la nieve y el hielo.

La luz solar, especialmente la fuerte radiación ultravioleta del verano, contribuye a la descomposición de los contaminantes orgánicos. El movimiento de las olas en el agua ayuda a la degradación al llevar los contaminantes a la superficie, exponiéndolos a la luz solar, el calor y el oxígeno.

Una especie química, el radical hidroxilo, contribuye a la degradación de sustancias tanto orgánicas como inorgánicas. Estos procesos proporcionan servicios naturales que son muy eficaces para degradar las sustancias orgánicas. Sin embargo, las actividades humanas suelen desbordar los sistemas naturales. Los procesadores de alimentos, las curtidorías y las fábricas de papel son ejemplos de instalaciones que, históricamente, liberaban cantidades tan grandes de contaminantes y residuos en los ríos y lagos que los procesos naturales no podían degradarlos todos. De este modo, la calidad del agua se vio gravemente degradada.

Contaminantes inorgánicos

Las sustancias químicas inorgánicas no se mineralizan en CO₂ y agua, ya son sustancias minerales. Las sustancias inorgánicas sufren reacciones químicas, pero no se destruyen de la misma manera que los materiales orgánicos. Por ejemplo, en un metal la oxidación puede producirse, aunque lentamente, sin combustión. Es posible que se observe un puente rojizo: el color se debe a la oxidación del hierro del puente, es decir, el hierro reacciona con el oxígeno atmosférico para formar óxido de hierro rojizo. Si se toma una muestra de ese óxido de hierro y se calienta a una temperatura lo suficientemente alta, se recuperará el hierro mientras se devuelve el oxígeno al aire.

El azufre también reacciona con el oxígeno para producir dióxido de azufre. Al igual que con el óxido de hierro, si se dan las condiciones adecuadas, tanto el azufre como el oxígeno pueden recuperarse.

La concentración y la distribución de los elementos metálicos en el medio ambiente pueden aumentar bajo la influencia de las actividades humanas. Así, el aumento de elementos metálicos en el medio ambiente puede estar relacionado con diferentes fuentes como la deposición atmosférica, las prácticas agrícolas, las actividades industriales, mineras, de incineración y almacenamiento de residuos y los hidrocarburos. Actividades industriales como la producción de baterías, plásticos y productos fitosanitarios representan una importante fuente de elementos metálicos, para el medio ambiente en general y para los suelos en particular.

La extracción de metales ha sido una fuente muy importante de contaminación del suelo desde la antigüedad. Por ejemplo, la explotación minera del siglo XIX en Inglaterra sigue provocando una contaminación muy elevada de ciertas zonas a través de la circulación de sedimentos. Se han encontrado niveles de zinc y plomo de entre 5.000 y 12.000 mg/kg a decenas de kilómetros de las explotaciones mineras de Yorkshire.

Lo mismo ocurre con el arsénico, que suele estar presente en los residuos de las minas de cobre, gas y oro, con concentraciones de hasta 11.000 mg/kg en suelos y sedimentos. Se han encontrado concentraciones de metales: Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Cd, Pb, en el suelo de una antigua mina de cobre en Galicia (noroeste de España) (Galindo, 2020).

Del mismo modo, las minas de cobre provocan un aumento de los niveles de metales como el Pb (>50.000 mg/kg), el Zn (>50.000 mg/kg) o el Sb (>3000 mg/kg) (Schreck et al 1999). Las operaciones de extracción y molienda de metales, así como la eliminación de residuos, también contribuyen de manera significativa a la contaminación del suelo (Wu et al., 2019).

Los estudios realizados sobre la caracterización de los elementos metálicos han puesto de manifiesto que los productos fitosanitarios son también una de las principales fuentes de contaminación ambiental. Por ejemplo, los plaguicidas a base de arsénico, muy utilizados en los años 50, han contribuido a la contaminación actual del suelo (Alavan Huamán, 2019).

Las concentraciones de Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe y Mn se evaluaron en diferentes fertilizantes inorgánicos (urea, superfosfato de calcio, sulfato de hierro y sulfato de cobre) y en pesticidas (Fayiga et al., 2018). Los resultados obtenidos en este estudio revelaron altos niveles de metales en los productos fitosanitarios, que podrían contaminar los suelos. Un estudio realizado en una zona agrícola de la región de Akkar, en el norte del Líbano, muestra la contaminación de los suelos por metales debido a los pesticidas. En los suelos se encontraron concentraciones de 4,1 mg/kg de As; 7,8 mg/kg de Cd; 34,8 de Cu; 85,51 mg/kg de Ni; 36,4 mg/kg de Pb y 76,3 mg/kg de Zn (Fayiga et al., 2018).

Los metales presentes en los suelos pueden transferirse a las aguas superficiales y subterráneas por escorrentía, difusión y percolación. Todos estos elementos metálicos pueden transferirse a través del agua a los sedimentos, la biomasa y los suelos.

1.5 Consecuencias de la contaminación

La contaminación ambiental es uno de los problemas más críticos y graves en todo el mundo. Por lo tanto, es necesario ser consciente de ello y buscar alternativas para una solución rápida. La contaminación del aire o del medio ambiente es la presencia de una sustancia (física, química o biológica) o una combinación de sustancias en lugares, formas y concentraciones que son perjudiciales para la salud, la seguridad y el bienestar de la población o que pueden ser perjudiciales para los seres vivos en general.

Se puede afirmar que la contaminación del aire y del agua, el ruido, las emisiones químicas, la contaminación de los alimentos, el

agotamiento de la capa de ozono y los efectos del cambio climático seguirán siendo los principales problemas de salud humana en el mundo en el futuro y que sus efectos se harán sentir cada vez más.

A veces, un suceso de contaminación es tan trágico que cambia la forma de ver el mundo. La explosión mortal ocurrida en Bhopal, India, es uno de esos acontecimientos. Union Carbide, una fábrica de propiedad estadounidense en Bhopal, fabricaba el insecticida carbaril. El proceso utilizaba isocianato de metilo (MIC), un líquido volátil extremadamente tóxico que reacciona violentamente con el agua. A pesar de ello, la fábrica carecía de medidas estrictas para evitar que el agua entrara en contacto con el MIC.

Durante la noche del 2 de diciembre de 1984, el agua entró en un tanque de almacenamiento que contenía 189.000 litros de MIC. El gobierno indio declaró posteriormente que la catástrofe se debió a un lavado inadecuado de los conductos que entraban en el tanque. Union Carbide afirmó que un empleado descontento introdujo deliberadamente el agua.

En cualquier caso, entre 25 y 40 toneladas de un vapor químico mortal se asentaron sobre la mitad de esta ciudad de 800.000 habitantes. Unas 3.400 personas murieron de la noche a la mañana, y quizás otras 15.000 murieron por su exposición en los días y años siguientes. Más del 40% de las mujeres, que estaban embarazadas en ese momento, sufrieron abortos.

Decenas de miles de personas más seguían enfermas crónicamente 20 años después con infecciones respiratorias, daños oculares, daños neurológicos y otros males. La catástrofe se agravó porque muchas personas vivían hacinadas alrededor de la fábrica. Además, los residentes envenenados recibieron poca atención médica en el momento del accidente, al menos en parte porque los médicos no sabían qué compuestos había en la nube tóxica. Así, era difícil saber cuál era el mejor modo de tratamiento.

Las indemnizaciones llegaron lentamente. Durante muchos años, un tribunal de Bhopal tuvo pendientes cargos penales contra el entonces director general de Union Carbide, acusándole de haber

decidido conscientemente recortar los sistemas de seguridad y alarma como medida de reducción de costes. En 2001, Dow Chemical compró los restos de Union Carbide y, como es lógico, se encontró con que ahora se le consideraba responsable de esta tragedia continua.

Niveles ínfimos de contaminantes Bhopal representa una contaminación horrenda. Su opuesto, niveles de contaminantes tan bajos que apenas son detectables, presenta un dilema: ¿son estos niveles arriesgados? La química analítica moderna es tan sensible que las sustancias químicas orgánicas sintéticas pueden detectarse casi en cualquier lugar: en el suelo, el agua, el aire, los alimentos, los animales, las plantas y el nuestro propio cuerpo humano.

La degradación del medio ambiente en los países empobrecidos, a menudo llamados países menos desarrollados, es, según el Banco Asiático de Desarrollo, "omnipresente, acelerada e incesante" (Awasthi et al., 2018). La Organización Mundial de la Salud (OMS) afirma que 2.600 millones de personas no tienen acceso a retretes higiénicos. Utilizan cubos, arbustos, zanjas o ríos; si tienen suerte, disponen de letrinas. Más de mil millones carecen de agua potable.

La OMS calcula que cada año se pierden al menos 1,6 millones de vidas por falta de acceso a saneamiento y agua potable. Otros millones padecen enfermedades crónicas a causa del agua que deben beber. Cada año se producen millones de muertes por infecciones causadas por la ingestión de alimentos contaminados. Sólo por respirar el aire, los niños de una ciudad muy contaminada como Nueva Delhi inhalan el equivalente a dos paquetes de cigarrillos cada día (Awasthi, Zeng & Li, 2016).

Vivir en zonas rurales puede ser peor: hasta 3 millones de muertes se producen cada año en el mundo por la contaminación del aire; cerca de la mitad de ellas se deben a la intolerable contaminación del aire interior. Esto ocurre porque casi el 90% de los hogares empobrecidos queman paja, leña o estiércol seco dentro de sus casas para cocinar y, a menudo, para calentarse, con una ventilación muy deficiente. Las mujeres y los niños son los más afectados.

Los efectos de la contaminación van más allá de las muertes y afectan a la capacidad de las personas para llevar una vida sana. Un ejemplo: casi la mitad de la población mundial, especialmente los niños pequeños, puede sufrir enfermedades transmitidas por el agua.

Los diversos contaminantes ambientales son capaces de provocar una amplia gama de enfermedades en las personas, empeorando su calidad de vida, perjudicando a la familia, al aparato productivo de una nación y al gasto público en general, e incluso son responsables de altas tasas de mortalidad, especialmente entre los grupos más vulnerables, como los pobres y los niños.

Es imprescindible educar, concienciar y aunar esfuerzos, reforzar la cooperación entre los gobiernos de los distintos países, las organizaciones no gubernamentales y las instituciones nacionales e internacionales, así como la aportación de estudios sobre contaminación y salud, para preservar el planeta y mejorar la calidad de vida y la del entorno.

1.6 Contaminantes emergentes

El término contaminante emergente hace referencia a un gran número de productos químicos utilizados actualmente en la industria, la medicina, la agricultura, el tratamiento de aguas, etc., que se liberan al medio ambiente y generan efectos negativos en los ecosistemas. El conocimiento sobre ellos es escaso, aunque en los últimos años organizaciones como la OMS, la EPA y/o la Comisión Europea han promovido su investigación.

Gran parte de estos contaminantes no pueden ser eliminados en las plantas de tratamiento de aguas y acaban siendo liberados al medio ambiente, donde pueden acumularse en los sistemas acuáticos naturales y causar daños a los seres vivos y a los ecosistemas. Estos compuestos son persistentes y bioacumulables, por lo que pueden ascender por la cadena alimentaria y acabar afectando a todos los seres vivos.

Aunque es necesario seguir avanzando en el conocimiento de estos compuestos en el medio ambiente, existen evidencias de que tienen efectos tóxicos y han sido catalogados como cancerígenos, mutagénicos o incluso disruptores endocrinos.

Los contaminantes emergentes llegan al medio ambiente desde diversas fuentes antropogénicas y se distribuyen por las matrices ambientales. Aunque en las últimas décadas se han producido grandes avances en la detección y el análisis de contaminantes traza, debido al continuo desarrollo y perfeccionamiento de técnicas específicas, es necesario identificar y cuantificar una amplia gama de contaminantes no detectados de interés medioambiental emergente en diversos componentes medioambientales y tejidos biológicos.

Estos contaminantes pueden ser móviles y persistentes en el aire, el agua, el suelo, los sedimentos y los receptores ecológicos, incluso a bajas concentraciones. Todavía faltan datos sólidos sobre su destino y comportamiento en el medio ambiente, así como sobre las amenazas para la salud ecológica y humana. Además, la importancia ecotoxicológica de algunos microcontaminantes emergentes sigue siendo en gran medida desconocida, porque a menudo no existen datos satisfactorios para determinar su riesgo.

Una de las peculiaridades de estos nuevos compuestos es que aparecen en el medio ambiente en bajas concentraciones (generalmente en partes por millón o partes por billón), lo que dificulta su determinación analítica, ya que los métodos analíticos disponibles para algunos de ellos son muy limitados. Esta dificultad en su determinación analítica condiciona el escaso conocimiento que se tiene de ellos y de sus efectos en el medio acuático.

Además, no suelen estar incluidos en las redes de vigilancia de la calidad del agua (superficial interior, marina, subterránea, etc.). Sin embargo, el hecho de que las concentraciones a las que aparecen sean bajas no disminuye sus efectos negativos, ya que su eliminación o transformación se ve compensada por su constante incorporación al medio, ya que hay muchísimos compuestos o fuentes de contaminantes emergentes (Carrasco et al., 2017).

El desconocimiento de estos compuestos es la principal razón por la que la mayoría de ellos permanecen sin regular en muchos países, aunque son candidatos a una futura regulación. Sin embargo, estos contaminantes son de gran interés para la comunidad científica, ya que dadas sus propiedades fisicoquímicas (alta solubilidad en el agua y escasa biodegradabilidad) y su baja tasa de eliminación en los sistemas de tratamiento de aguas, son capaces de llegar a cualquier medio natural y representan un grave riesgo para el ecosistema.

El concepto de contaminante emergente incluye una amplia variedad de compuestos originados por diversas actividades humanas. A continuación, se describen los principales grupos.

Plaguicidas o pesticidas. Los plaguicidas son sustancias destinadas a prevenir, destruir o mitigar las plagas. Como se han utilizado durante muchas décadas, se han estudiado en profundidad y se conocen bien sus concentraciones y su destino en los sistemas acuáticos. Este conocimiento ha permitido su regulación. Sin embargo, en los últimos años se ha renovado la preocupación y el interés no por ellos mismos, sino por sus productos de degradación (que antes se ignoraban) porque se ha demostrado que pueden ser incluso más tóxicos y aparecer en concentraciones más altas que los propios plaguicidas.

Productos farmacéuticos. Los tres grupos de fármacos (analgésicos, antihipertensivos y antimicrobianos) más utilizados en todo el mundo, acaban siendo vertidos al medio acuático principalmente a través de las aguas residuales. Por lo tanto, las plantas de tratamiento actúan como puerta de entrada de estos productos a otras masas de agua (ya que muchos de estos compuestos no quedan retenidos en sus procesos) y son transportados a través del ciclo del agua en diferentes rutas. Dependiendo de las propiedades fisicoquímicas de estos fármacos, de sus metabolitos, de sus productos de degradación y de las características del suelo, estas sustancias pueden llegar a las aguas subterráneas y contaminar los acuíferos o quedar retenidas en el suelo y acumularse pudiendo afectar al ecosistema y al ser humano a través de la cadena trófica (Barceló y López, 2012). En cualquier

caso, la presencia de estos productos y sus productos de degradación en los ecosistemas ha sido reconocida como una preocupación, especialmente porque algunos de estos fármacos, como el ibuprofeno, han sido identificados en el agua potable.

Tensioactivos. Los tensioactivos o surfactantes son productos químicos que ejercen su efecto sobre la superficie de contacto entre dos fases (interfaz) modificando su tensión superficial. Se utilizan ampliamente en el sector industrial para la fabricación de celulosa, pasta de papel, cemento, metalurgia, agricultura, textiles, curtidos, pinturas, lacas, detergentes, plásticos, caucho, barnices y, sobre todo, en la industria alimentaria. Estos compuestos actúan como agentes espumantes, dispersantes, emulsionantes, detergentes, solubilizantes, humectantes, plastificantes y espesantes. El problema de estos compuestos es que pasan al medio ambiente directamente desde las plantas de tratamiento de aguas residuales, donde sólo se degradan parcialmente. Hay estudios que han evaluado la concentración de este tipo de productos en ríos, lagos y aguas costeras.

Retardantes de llama y fuego. Los retardantes de llama engloban una gran variedad de sustancias que se añaden a diferentes productos como muebles, plásticos, tejidos, pinturas, dispositivos electrónicos y transportes (aviones, trenes, etc.) para evitar o reducir la propagación del fuego. El término retardante se refiere a la función que realizan y no a una familia de compuestos químicos, pero entre ellos se encuentran los retardantes de llama bromados, que son compuestos organobromados muy utilizados. El problema de estos compuestos es que, como no se eliminan completamente en las plantas de tratamiento, son omnipresentes en el medio ambiente. De hecho, se han detectado en una gran variedad de muestras humanas y de la vida silvestre (invertebrados acuáticos, peces, aves). Estos compuestos, debido a su persistencia y biodisponibilidad, pasan a la cadena alimentaria y tienen efectos sobre la salud como la toxicidad neuroconductual, los disruptores endocrinos y posiblemente el cáncer.

Productos de cuidado personal. Los productos de cuidado personal que se encuentran entre los contaminantes emergentes

son: perfumes, fragancias, cosméticos, fungicidas, agentes de protección solar y repelentes de insectos, entre otros. Las principales características de todos ellos es que se utilizan directamente sobre el cuerpo humano y que en muchos casos se utilizan en cantidades muy superiores a las recomendadas y, por tanto, se introducen en el medio ambiente en altas concentraciones. Además, la principal vía de entrada no son sólo las plantas de tratamiento de aguas residuales, sino que muchos de ellos se liberan directamente en masas de agua continentales o marinas o se volatilizan en el aire.

Productos para el tratamiento del agua. Los procesos de desinfección química se incluyen en el tratamiento del agua potable para reducir el riesgo de infecciones patógenas que puedan suponer una amenaza para la salud humana. Sin embargo, estos tratamientos de desinfección conducen a la formación de subproductos que no son deseables, debido al potencial de toxicidad crónica. Además, hay que tener en cuenta que los contaminantes antropogénicos en su composición, bromuro y/o yoduro, son frecuentes en el agua. Así, el uso de cloro como desinfectante en presencia de otros halógenos puede generar cloroformo, bromodiclorometano, clorodibromometano, bromoformo, etc. Estos compuestos entran en el cuerpo humano por ingestión directa del agua del grifo, por inhalación de trihalometanos evaporados, por absorción dérmica, en el baño o la ducha y también en las piscinas.

La tabla 1 resume los principales usos de algunos de los contaminantes emergentes más frecuentes.

Tabla 1. Contaminantes emergentes y su uso

CONTAMINANTE	USO
FTALATOS (BBP, DBP, DEHP)	Plastificantes de PVC principalmente, aunque también de celulosa, acetato de polivinilo y poliuretano. Componente de recubrimientos; insecticidas y repelentes; perfumes, esmalte de uñas, laca de pelo y otros cosméticos. Agente lubricante en textiles.

CONTAMINANTE	USO
BISFENOL-A	<p>Aglutinante, estabilizante, plastificante y endurecedor de productos plásticos, lacas, pinturas, colas, y materiales de relleno.</p> <p>Constituye la materia prima para la fabricación de pinturas y plásticos con resinas epoxi (presentes en las latas de conserva) y policarbonatos.</p> <p>Producto intermedio en la fabricación de fungicidas, antioxidantes, tintes, resinas fenoxi y de poliéster.</p> <p>Pirorretardantes.</p>
P-NONIFENOL	<p>Detergentes industriales. Espermicidas incorporados en los preservativos.</p>
ESTIRENO	<p>Fabricación de poliestireno y copolímeros de estireno. Fabricación de pinturas, lacas y barnices. Industria de papel, pasta de papel y tableros. Industria de polímeros.</p>
AGROQUÍMICOS	<p>Fungicidas, insecticidas, moluscocidas, herbicidas, desinfectantes. Moluscocida utilizado como agente antiincrustante en barcos, boyas, muelles, etc. Biocidas en albañilería. Desinfectante. Biocida de sistemas de refrigeración, torres de refrigeración de plantas eléctricas, fábricas de papel y pasta, cerveceras, curtidos y fábricas textiles.</p>
PCBs	<p>Dieléctricos de transformadores y condensadores eléctricos. Fluidos hidráulicos de maquinaria. Líquidos de corte. Plastificante de pinturas, plásticos, selladores y papel Autocopiativo. También se forman como subproductos indeseados en varios procesos industriales y la incineración de residuos es una fuente importante.</p>

Tomado de: Gil et al. (2012)

Los contaminantes emergentes que están ampliamente distribuidos en el medio ambiente tienen múltiples efectos. Estos compuestos pueden ser cancerígenos, mutagénicos, teratogénicos o actuar alterando el sistema endocrino de los organismos.

Las sustancias cancerígenas inducen o aumentan la incidencia del cáncer en los organismos expuestos. Por ejemplo, los tensioactivos no aniónicos del tipo alquilfenolpolioletoxilato son cancerígenos (Gil et al., 2012). La acrilamida, que se utiliza industrialmente para producir plásticos y tintes, también tiene efectos cancerígenos. Además, recientemente se ha estudiado la altísima concentración de este compuesto en productos alimenticios que han sido sometidos a procesos de fritura y horneado a temperaturas superiores a 120C (patatas fritas), y varios estudios han concluido que el cáncer es el principal efecto tóxico de este compuesto (Sanz 2017).

Los contaminantes mutagénicos aumentan la frecuencia de mutación en las células y/u organismos. Se ha estudiado que los trihalometanos originados en los procesos de cloración, como el bromodiclorometano, el clorodibromometano, el bromoformo y el tetracloruro de carbono son mutagénicos y pueden generar la aparición de tumores benignos o malignos, patologías relacionadas con el sistema inmunológico y efectos adversos en mujeres embarazadas (Nieuwenhuijsen et al., 2009).

Los elementos teratogénicos son sustancias que pueden producir alteraciones en el feto durante su desarrollo. Se sabe que algunos fármacos utilizados en quimioterapia y algunos hidrocarburos aromáticos policíclicos tienen estos efectos en los organismos.

Por último, los contaminantes emergentes también pueden alterar el sistema endocrino. Este sistema es el responsable de la síntesis de las hormonas, que son las biomoléculas encargadas de todas las funciones vitales de los seres vivos: crecimiento, reproducción y comportamiento. Cuando estos compuestos entran en los organismos vivos (por ejemplo, a través de la cadena alimentaria) pueden alterar la homeostasis hormonal porque son

capaces de modificar la relación hormona-célula. Esta alteración puede deberse al bloqueo hormonal, impidiendo que la hormona se una a su célula receptora, intensificando la respuesta o minimizándola. Por ejemplo, los insecticidas clorados, como el DDT, han causado efectos hormonales que han provocado el adelgazamiento de la cáscara de los huevos en diferentes especies, el deterioro de la función reproductiva en el hombre y cambios de comportamiento en los seres humanos (Colborn et al., 2002). El bisfenol A, utilizado en la fabricación de resinas epoxi y plásticos de policarbonato, tiene actividad estrogénica (hormonas sexuales femeninas) y puede afectar al desarrollo reproductivo de los mamíferos y aumentar el riesgo de cáncer de mama en el hombre. (García-Gómez, et al. 2011).



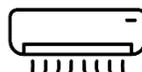
CAPÍTULO 2. RESIDUOS ELECTRÓNICOS

El sector de la fabricación de equipos eléctricos y electrónicos (AEE) se está expandiendo rápidamente en todo el mundo. La dependencia de los AEE ha aumentado con la industrialización, la expansión económica, el desarrollo tecnológico y los estilos de vida lujosos. De manera general se define como aparato o equipo eléctrico y electrónico a todo aquel que funcione adecuadamente a base de electricidad como fuente de energía.

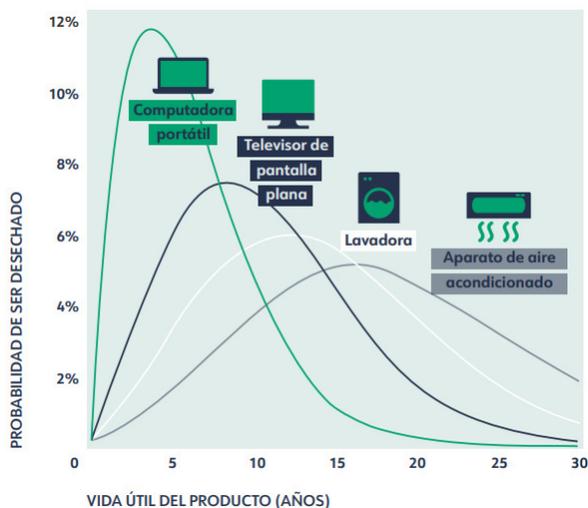
Los avances tecnológicos han reducido la vida útil de los productos de AEE. El fin de la vida útil de los productos AEE (Figura 1) suele definirse como el momento en que se consideran obsoletos y/o se desechan como residuos o desechos cuya nomenclatura en español es RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos) o en Inglés WEEE (Waste Electrical and Electronical Equipament).

Figura 1. Ejemplos de vida útil de AEE

Probabilidad de ser desechado



C.Portatil - T.Pantalla Plana - Lavadora - A. de aire acondicionado



Tomado de: Wagner, M., Baldé, C. P., Luda, V., Nnorom, I. C., Kuehr, R., & Iattoni, G. (2022). Monitoreo regional de los residuos electrónicos.

https://residuoselectronicosal.org/wpcontent/uploads/2022/01/REM_LATAM_2022_ESP_Final.pdf.

En el presente capítulo se detallan las características de los RAEE, su impacto en el medioambiente y en la salud humana, la necesidad de su gestión y la situación de los RAEE en América Latina y en el Ecuador en particular.

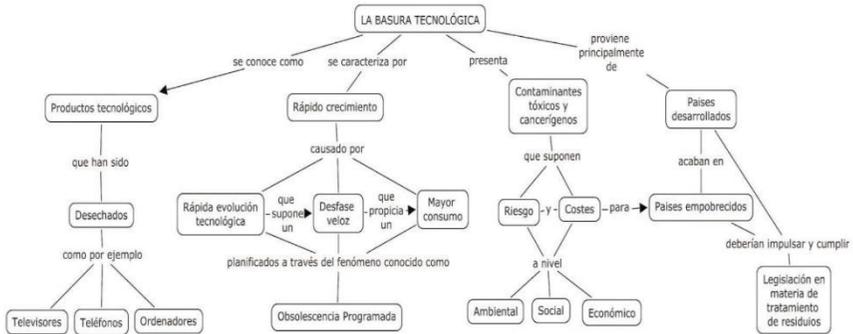
2.1 Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) son un grupo de residuos clasificados como peligrosos que proceden de equipos electrónicos desechados como ordenadores, teléfonos móviles, televisores, impresoras, etc. Los RAEE están compuestos por materiales que, si se exponen al medio ambiente, pueden causar graves daños al ecosistema.

Los materiales que componen los residuos electrónicos son en su mayoría metales como el plomo, el cadmio, el aluminio, el mercurio y el arsénico, entre otros. Cuando estos metales entran en contacto con el medio ambiente, liberan gases tóxicos que ponen en

peligro nuestra salud y la de nuestro ecosistema (Maldonado, 2017). Los RAEE también se conocen como residuos electrónicos, desechos electrónicos, chatarra electrónica o basura electrónica (Figura 2).

Figura 2. Caracterización de la Basura electrónica o RAEE



Tomado de: Molina Zambrano, H. E. (2020). Modelo de procedimientos sobre el manejo de desechos electrónicos en la Universidad Estatal del Sur de Manabí (Bachelor's thesis, Jipijapa. UNESUM).

Tomado de: Molina Zambrano, H. E. (2020). Modelo de procedimientos sobre el manejo de desechos electrónicos en la Universidad Estatal del Sur de Manabí (Bachelor's thesis, Jipijapa. UNESUM).

En cualquier caso, el término RAEE incluye todos los componentes, subconjuntos y consumibles que forman parte del producto en el momento de su eliminación. El documento del Proyecto Regional para la Armonización de la Gestión de Residuos Electrónicos en América Latina, implementado por la Plataforma RELAC, señala que "los RAEE son residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que son desechados por el consumidor al final de su vida útil y que, por sus características, requieren una gestión especial y deben ser transferidos a un sistema de gestión ambientalmente adecuado" (p.8).

La iniciativa StEP la define como "los residuos electrónicos son un término que incluye todos los tipos de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) y sus piezas que han sido eliminados como

residuos por el propietario, sin intención de reutilizarlos". Los principales actores, es decir, los productores, los distribuidores y los consumidores, son directamente responsables de la gestión de los RAEE. Por ello, los municipios también están obligados a promulgar ordenanzas que faciliten la correcta eliminación de los equipos electrónicos desechados, evitando así la contaminación ambiental y la propagación de enfermedades entre la población (Landa, & Miranda, 2019).

Es bien sabido que estos dispositivos se utilizan a nivel industrial, comercial, educativo, doméstico y personal, ya que representan ventajas competitivas y marcan el grado de paridad en su progreso con el desarrollo tecnológico. Por lo tanto, es necesario identificar los principales dispositivos que eventualmente se convierten en residuos, y se pueden mencionar los siguientes:

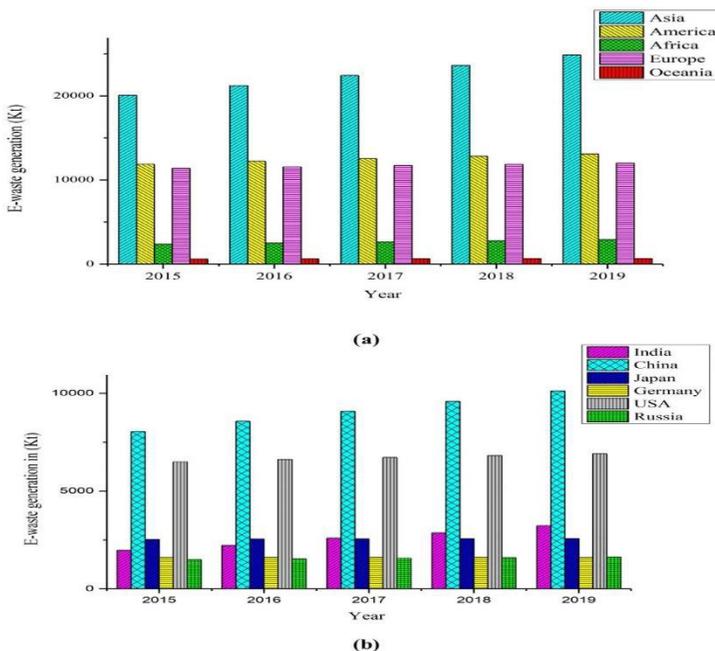
1. Las tarjetas electrónicas utilizadas en el control industrial.
2. Herramientas eléctricas.
3. Lámparas fluorescentes.
4. Ordenadores de sobremesa.
5. Ordenadores portátiles.
6. Monitores.
7. Impresoras.
8. Escáneres.
9. Cámaras de vídeo.
10. Equipos de audio.
11. Televisores.
12. Reproductores de Dvd.
13. Juguetes electrónicos.
14. Teléfonos fijos.
15. Teléfonos móviles.
16. Electrodomésticos en general.

Una simple inspección, no tan rigurosa, es suficiente para darse cuenta de que la gran mayoría de estos aparatos están formados por elementos como metales, vidrios y plásticos que, por el tipo de inspección, no parecerían un problema a primera vista, salvo por el espacio que ocuparían en los vertederos al ser eliminados.

En general, se considera residuo cualquier material que deba tirarse o eliminarse. Sin embargo, estos residuos pueden ser beneficiosos si se toman medidas para reducirlos, reutilizarlos y reciclarlos; por ejemplo, los residuos inorgánicos se utilizan para fabricar plásticos, cartón, vidrio, etc., y los orgánicos para producir humus, un abono natural para la agricultura. Si de estos procesos de reciclaje o tratamiento quedan residuos, éstos deben ser eliminados o depositados en vertederos (Almeida et al., 2021).

Según el informe "Global E-waste Monitor" de la UNU 2020, en 2019 se generaron 53,6 Mt. (millones de toneladas métricas) a nivel mundial, frente a las 44,75 Mt. de 2016 (Baldé et al., 2017). La Figura 3 representa (a) los patrones de generación de residuos electrónicos por continentes de 2015 a 2019 y (b) la información sobre los cinco principales países contribuyentes.

Figura 3. Presentación gráfica de la generación de residuos electrónicos: (a) por continentes (b) generación de residuos electrónicos en los cinco principales países que varían de 2015 a 2019 según los datos disponibles en la literatura (Awasthi et al., 2019; Forti et al., 2020; Heacock et al., 2016).



La tasa de generación de residuos electrónicos varía en función del tiempo, el espacio, la población, las preferencias de estilo de vida y la situación socioeconómica. Asia encabeza la lista de continentes con 24,9 Mt., seguida de 13,1 Mt. en América, 2,9 Mt. en África, 12 Mt. en Europa y 0,7 Mt. en Oceanía (Tabla 2). La generación media mundial de residuos electrónicos per cápita en 2019 fue de 7,3 kg, con 16,2 kg en Europa, 13,1 kg en América, 2,9 kg en África y 5,6 kg en Asia (Forti et al., 2020).

Tabla 2. Patrones mundiales de generación de residuos electrónicos

Región	AEE en el mercado		Residuos electrónicos generados		Residuos electrónicos recogidos formalmente	Tasa de recogida de residuos electrónicos
	(Miles de toneladas)	(kg/persona)	(Miles de toneladas)	(kg/persona)	(Miles de toneladas)	(%)
1. África	4.4	3.8	2.94	2.5	0.03	0.9
2. Asia	42.1	9.5	24.9	5.6	2.9	11.7
3. Europa	13.6	18.4	12	16.2	5.1	42.5
4. América	16.2	16.5	13.1	13.3	1.2	9.4
5. Oceanía	0.8	19.7	0.7	16.1	0.06	8.8
6. Global	77.1	-	53.6	7.3	9.3	17.4

Nota: Tomado de Forti, V., Balde, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2020). The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential.

Ya existen consideraciones medioambientales por el impacto negativo que están causando y que se acentuaría si no se implementan técnicamente procesos para fabricarlos, identificarlos, localizarlos, recogerlos, transportarlos, desmontarlos, reutilizar piezas con las que se puedan fabricar nuevos productos, reciclar componentes y, finalmente, deshacerse de ellos sin contaminar el medio ambiente ni afectar a la salud humana.

Lógicamente, para reducir los efectos del problema, lo ideal sería consumir el mínimo de elementos tóxicos en cualquier fase de la existencia del aparato y, al mismo tiempo, intentar sustituirlos por elementos más respetuosos con el medio ambiente y el ser humano.

En cualquier caso, el problema está presente y afecta directa o indirectamente tanto a los países industrializados como a los que están en vías de desarrollo, por lo que las soluciones tienen que ser integrales, estandarizadas y asumidas por toda la humanidad antes de que sea irreversible o demasiado costoso de resolver o remediar.

Se está avanzando en el reciclaje como parte de la solución, pero actualmente el 90% de los equipos acaban en vertederos tras ser abandonados en la calle o arrojados sin ningún criterio en contenedores que los transporten.

Cabe destacar que, de este tipo de residuos, cerca del 50% son metales que pueden ser extraídos y reprocesados, el resto son plásticos y vidrios que pueden seguir el mismo camino y por lo tanto pueden adquirir valor económico, beneficiando a quienes lo gestionan técnicamente.

2.2 Clasificación de los RAEE

Según Kumar, Holuszko y Romano (2017); en el 2012, la clasificación de los RAEE en el marco internacional de la Unión Europea comprendía solo 10 categorías, actualmente se han instaurado 6 categorías de AEE orientadas a los RAEE; las nuevas categorías competen a: “Aparatos de intercambio de temperatura, monitores, pantallas y aparatos con pantalla de superficie superior a las de 100 cm, lámparas, grandes aparatos, pequeños aparatos y equipos de informática y telecomunicaciones pequeños” (p.33).

Dicha clasificación supone un mejor tratamiento y disposición final de la basura electrónica, cada categoría tiene diferentes estructuras en cuanto al volumen, economía, valores y sobre todo los efectos ocasionados a la sanidad y al hábitat (Baldé et al., 2017, p.11; Torres et al., 2015, p.4). 8 Baldé et al. (2017), menciona la estimación de la totalidad de restos electrónicos del 2016, diferenciado de acuerdo a las categorías ya establecidas y fueron los siguientes: Pequeños aparatos (16.8 Mt), grandes equipos (9.1 Mt), aparatos de intercambio de temperatura (7.6 Mt), pantallas (6.6 Mt), lámparas y pequeños aparatos TI (0.7 Mt) y (3.9 Mt) respectivamente (p.40).

De acuerdo a las definiciones y al anexo I de la Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del consejo (Julio 2012) sobre Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos que tiene vigencia a partir del 13 de agosto del 2012 hasta el 14 de agosto del 2018 (periodo transitorio) los aparatos eléctricos y electrónicos se dividen en 10 categorías ():

1. Grandes Electrodomésticos
2. Pequeños electrodomésticos
3. Equipos de informática y telecomunicaciones
4. Aparatos electrónicos de consumo y paneles fotovoltaicos
5. Aparatos de alumbrado
6. Herramientas eléctricas y electrónicas
7. Juguetes o equipos deportivos y de ocio
8. Productos sanitarios
9. Instrumentos de vigilancia y control
10. Máquinas expendedoras.

Esta categorización europea está ampliamente aceptada a nivel mundial y por Latinoamérica y el caribe, es posible que se vuelva un estándar mundial. Sin embargo, en América latina y el caribe y algunos países se los conoce o divide en tres grupos o categorías:

1. Línea Blanca: Refiere a los aparatos eléctricos y electrónicos que se utilizan en el hogar para la conservación y preparación de alimentos denominados electrodomésticos: neveras, cocinas, hornos, refrigeradoras, lavadoras.
2. Línea Gris: En esta categoría está incluida los equipos dedicados a la tecnología de la información y Comunicación, TIC, tales como computadoras, impresoras, faxes, celulares.
3. Línea Marrón: En esta categoría están incluidos los equipos de consumo audiovisuales tales como los televisores, radios, equipos de música.

Entre las categorías de RAEE desde la perspectiva del reciclaje, para ser tratados de acuerdo a la gestión y el manejo de residuos correspondientes, se encuentran las que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Categorías de RAEE desde la perspectiva del reciclaje

Categoría	Ejemplo	Justificación
1 Aparatos que contienen refrigerante.	Congeladores, neveras	Requiere un transporte seguro y un tratamiento individual
2 Electrodomésticos grandes y medianos	Todos los demás electrodomésticos grandes y pequeños.	Contienen metales y plásticos pueden ser manejado según los estándares actuales
3 Equipos de iluminación	Tubos fluorescentes, bombillos.	Requieren procesos especiales de reciclaje o valorización.
4 Aparatos con monitores y pantallas.	Televisores, monitores TRC, monitores LCD.	Requiere un transporte seguro y un tratamiento individual
5 Otros aparatos eléctricos y electrónicos	Equipos de entretenimiento de la línea marrón.	Requieren procesos especiales de reciclaje o valorización semejante.

2.3 Contenido de los residuos electrónicos, su riesgo ambiental y sobre la salud humana

Los residuos electrónicos se componen de varios metales y no metales que hacen que su composición sea única y diversa. Un patrón de composición típico de los residuos electrónicos es un 30% de materiales orgánicos (por ejemplo, polímeros, retardantes de llama y fibra de vidrio), un 30% de materiales cerámicos (por ejemplo, sílice, mica y alúmina) y un 40% de materiales inorgánicos (por ejemplo, metales ferrosos y no ferrosos).

Los materiales inorgánicos en los residuos electrónicos consisten en metales básicos (por ejemplo, aluminio, hierro, cobre y estaño), metales nobles (por ejemplo, plata, oro y paladio), metales pesados (por ejemplo, cadmio, níquel, cromo, zinc, mercurio, berilio y plomo) y metales de tierras raras (por ejemplo, grupos de galio, tantalio y platino) (Kaya, 2018).

La presencia de materiales peligrosos como el plomo, el cadmio, el mercurio, el níquel, el cromo hexavalente y los retardantes de llama bromados (BFR) aumenta la complejidad del tratamiento de los residuos electrónicos (por ejemplo, para su recuperación). Por lo tanto, la eliminación de los residuos peligrosos es un reto importante en la gestión de los residuos electrónicos.

Los niveles de cobre y plomo en los tubos de rayos catódicos (TRC) oscilan entre 732 y 468 mg/kg y 429 y 9900 mg/kg, respectivamente (Olubanjo et al., 2015). En las placas de cableado de impresión, el nivel de cobre es de 83.100 a 705.300 mg/kg, mientras que el plomo se encuentra en niveles de 18.060 a 400.560 mg/kg. Así, ambos superan los límites permitidos (por ejemplo, 1,3 mg/L y 10 µg/L, respectivamente) (Olubanjo et al., 2015).

El contenido medio de plomo en los monitores CRT oscila entre 1,2 kg y 3,2 kg (Lv et al., 2018). Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) emitidos por la combustión de los cristales líquidos en las pantallas de cristal líquido (LCD) se asocian a graves impactos tanto en el medio ambiente como en la salud humana (Chien y Shih, 2006; Ylä-Mella et al., 2014). Las concentraciones de níquel, cobre, bario y plata en los smartphones también han aumentado de 2006 a 2015 con la llegada de características y funciones avanzadas (Singh et al., 2018a).

La quema a cielo abierto (es decir, la incineración) de los residuos electrónicos contribuye a la emisión de varios contaminantes en forma de humo, aceites y carbón vegetal (Sivaramanan, 2013). Los plásticos de los residuos electrónicos contienen polímeros ignífugos para productos de uso final sensibles, como las carcasas de ordenadores de desecho, los cables y los bifenilos policlorados (PCB) con retardantes de llama (p. ej, BFRs) generan dibenzofuranos policlorados (PCDFs)/ dibenzofuranos polibromados (PBDFs) nocivos, y dibenzop-dioxinas policloradas (PCDDs)/ dibenzo-p-dioxinas polibromadas (PBDDs) (Chakraborty et al., 2018).

La quema de cloruro de polivinilo (PVC) en la basura electrónica también produce PCDD y PCDF, que son dioxinas tóxicas corrosivas clasificadas como contaminantes orgánicos persistentes (COP) por la Organización Mundial de la Salud. Los contaminantes orgánicos persistentes derivados de la basura electrónica incluyen los PBDF, los PBDD, los polibromados (PBBs), PCDFs, PCDDs y PCBs.

La incineración de residuos electrónicos convierte los PBDEs en PBDDs y PBDFs (Fu. Z; et al., 2016), que son toxinas antropogénicas que persisten durante largos períodos, lo que resulta en riesgos para la salud a largo plazo asociados con múltiples trastornos genéticos y otros efectos nocivos, como la contaminación de la leche materna humana (Devika, 2010).

Los PBDD/F son lipofílicos y pueden bioacumularse a través de la red alimentaria en el cuerpo humano (Dai et al., 2020). Los bifenilos policlorados, que se utilizan habitualmente como plastificantes, lubricantes y refrigerantes en transformadores y condensadores, suponen diversas amenazas para el medio ambiente, no sólo en forma de lluvia ácida sino también a través del agotamiento de la capa de ozono. Además, la quema de residuos electrónicos a cielo abierto y el lavado con ácido tienen graves efectos en los microbios del suelo (Wu et al., 2019a).

Los seres humanos pueden estar expuestos a los metales pesados a través de varias vías, que incluyen la inhalación, la ingestión y el contacto dérmico y transplacentario (Grant et al., 2013). Algunos efectos en la salud humana y el medioambiente de los contaminantes liberados por los desechos electrónicos se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4. Aumento de la concentración de contaminantes en el cuerpo humano debido al reciclaje informal de residuos electrónicos.

Contaminantes en	Concentración	Descripción del sitio	Ubicación	Referencias
[1] Sangre humana	($\mu\text{g/L}$)			
1 Ag	0.27	Antiguas fábricas de desmantelamiento de residuos electrónicos	Taizhou (China)	(Li et al., 2020)
2 As	15.02	Antiguas fábricas de desmantelamiento de residuos electrónicos	Taizhou (China)	(Li et al., 2020)
3 Cd	1.9	Antiguas fábricas de desmantelamiento de residuos electrónicos	Taizhou (China)	(Li et al., 2020)

RESIDUOS ELECTRÓNICOS

4	Cd	21	Lugar de alta exposición a los residuos electrónicos	Guiyu (China)	(Chen et al., 2019)
5	Cd	1.7	Centro de reciclaje de residuos electrónicos	Agbogbloshie, Accra (Ghana)	(Srigboh et al., 2016)
6	Cu	778.94	Antiguas fábricas de desmantelamiento de residuos electrónicos	Taizhou (China)	(Li et al., 2020)
7	Cu	509-1152	Zona residencial de quema de residuos electrónicos	Moradabad (India)	(Gangwar et al., 2016)
8	Cu	1063	Lugar de reciclaje de residuos electrónicos	Agbogbloshie, Accra (Ghana)	(Srigboh et al., 2016)
9	Pb	45.37	Antiguas fábricas de desmantelamiento de residuos electrónicos	Taizhou (China)	(Li et al., 2020)
10	Pb	87	Lugar de alta exposición a los residuos electrónicos	Guiyu (China)	(Chen et al., 2019)
11	Pb	651	-	Guiyu y Haojiang (China)	(Huo et al., 2019a)
12	Pb	166.05	-	Guiyu y Haojiang (China)	(Huo et al., 2019a)
13	Pb	72.32	Ciudad de reciclaje de residuos electrónicos	Guiyu (China)	(Zheng et al., 2019)
14	Pb	0-687	Zona residencial de quema de residuos electrónicos	Moradabad (India)	(Gangwar et al., 2016)
15	Pb	79.3	Lugar de reciclaje de residuos electrónicos	Agbogbloshie, Accra (Ghana)	(Srigboh et al., 2016)
16	Hg	1.8	Centro de reciclaje de residuos electrónicos	Agbogbloshie, Accra (Ghana)	(Srigboh et al., 2016)
17	Hg	3.64	Antiguas fábricas de desmantelamiento de residuos electrónicos	Taizhou (China)	(Z. Li et al., 2020)
18	Ni	4.68	Antiguas fábricas de desmantelamiento de residuos electrónicos	Taizhou (China)	(Li et al., 2020)
19	Ni	0-354	Zona residencial de quema de residuos electrónicos	Moradabad (India)	(Gangwar et al., 2016)
20	Zn	5574	Lugar de reciclaje de residuos electrónicos	Agbogbloshie, Accra (Ghana)	(Srigboh et al., 2016)
21	Zn	4940.98	Antiguas fábricas de desmantelamiento de residuos electrónicos	Taizhou (China)	(Li et al., 2020)
22	Zn	8153-16,844	Zona residencial de quema de residuos electrónicos	Moradabad (India)	(Gangwar et al., 2016)

RESIDUOS ELECTRÓNICOS

23	Cr	0.3–1105	Zona residencial de quema de residuos electrónicos	Moradabad (India)	(Gangwar et al., 2016)
24	Cr	1.32	Antiguas fábricas de desmantelamiento de residuos electrónicos	Taizhou (China)	(Li et al., 2020)
25	Mn	9.8	Lugar de reciclaje de residuos electrónicos	Agbgbloshie, Accra (Ghana)	(Srigboh et al., 2016)
26	Se	164	Centro de reciclaje de residuos electrónicos	Agbgbloshie, Accra (Ghana)	(Srigboh et al., 2016)
[2] Orina humana		($\mu\text{g/L}$)			
27	As	77.5	Centro de reciclaje de residuos electrónicos	Agbgbloshie, Accra (Ghana)	(Srigboh et al., 2016)
28	As (III)	1.37	Centro de reciclaje de residuos electrónicos	Agbgbloshie, Accra (Ghana)	(Yang et al., 2020)
29	As (V)	0.37	Centro de reciclaje de residuos electrónicos	Agbgbloshie, Accra (Ghana)	(Yang et al., 2020)
30	As (dimetilarsinato)	21.34	Centro de reciclaje de residuos electrónicos	Agbgbloshie, Accra (Ghana)	(Yang et al., 2020)
31	As (metilarsonato)	1.84	Centro de reciclaje de residuos electrónicos	Agbgbloshie, Accra (Ghana)	(Yang et al., 2020)
32	As-B (arsenobetaina)	18.35	Centro de reciclaje de residuos electrónicos	Agbgbloshie, Accra (Ghana)	(Yang et al., 2020)
33	ΣPAH	6.33	Centro de reciclaje de residuos electrónicos	Guiyu (China)	(Zheng et al., 2019)
34	Zn	659	Centro de reciclaje de residuos electrónicos	Agbgbloshie, Accra (Ghana)	(Srigboh et al., 2016)
35	Co	1.7	Centro de reciclaje de residuos electrónicos	Agbgbloshie, Accra (Ghana)	(Srigboh et al., 2016)
36	Cr	0.9	Centro de reciclaje de residuos electrónicos	Agbgbloshie, Accra (Ghana)	(Srigboh et al., 2016)
37	Hg	0.2	Centro de reciclaje de residuos electrónicos	Agbgbloshie, Accra (Ghana)	(Srigboh et al., 2016)
38	Ni	15.9	Centro de reciclaje de residuos electrónicos	Agbgbloshie, Accra (Ghana)	(Srigboh et al., 2016)
39	Pb	9	Centro de reciclaje de residuos electrónicos	Agbgbloshie, Accra (Ghana)	(Srigboh et al., 2016)
40	Cu	23.8	Centro de reciclaje de residuos electrónicos	Agbgbloshie, Accra (Ghana)	(Srigboh et al., 2016)
[3] Cabello humano		Unit ($\mu\text{g/g}$)			
41	Cr	0.4	Sitios de reciclaje de patio trasero	Bangalore (India)	(Ha et al., 2009)
42	Co	0.054	Centros de reciclaje de patio trasero	Bangalore (India)	(Ha et al., 2009)
43	Cu	22.8	Plantas de reciclaje en el patio trasero	Bangalore (India)	(Ha et al., 2009)
44	Mo	0.032	Plantas de reciclaje en el patio trasero	Bangalore (India)	(Ha et al., 2009)

RESIDUOS ELECTRÓNICOS

45	Mn	1.86	Plantas de reciclaje en el patio trasero	Bangalore (India)	(Ha et al., 2009)
46	Zn	141	Sitios de reciclaje en el patio trasero	Bangalore (India)	(Ha et al., 2009)
47	Pb	16.1	Centros de reciclaje en el patio trasero	Bangalore (India)	(Ha et al., 2009)
<i>[4] Músculo pectoral de las aves</i>		<i>Unit (ng/g)</i>			
48	PBDEs	84.9	Reserva natural cerca de la zona de reciclaje de residuos electrónicos	Reserva Natural Nacional de Simentai, cerca de Qingyuan (China)	(Zhang et al., 2019)
49	Bifenilos policlorados	397	Reserva natural cerca de la zona de reciclaje de residuos electrónicos	Reserva Natural Nacional de Simentai, cerca de Qingyuan (China)	(Wu et al., 2019c)
50	DDTs	2150	Reserva natural cerca de la zona de reciclaje de residuos electrónicos	Reserva Natural Nacional de Simentai, cerca de Qingyuan (China)	(Wu et al., 2019c)
<i>[5] Insectos</i>		<i>Unit (ng/g)</i>			
51	Tris(2-etilhexil) fosfato (TEHP)	5.8	Zona de reciclaje de residuos electrónicos	Longtang (China)	(Poma et al., 2019)
52	Trifenilfosfato (TPHP)	2.5	Zona de reciclaje de residuos electrónicos	Longtang (China)	(Poma et al., 2019)
53	Fosfato de tris(1-cloro-2-propilo) (TCIPP)	2.2	Área de reciclaje de residuos electrónicos	Longtang (China)	(Poma et al., 2019)
54	Tris(2-cloroetil) fosfato (TCEP)	0.8	Zona de reciclaje de residuos electrónicos	Longtang (China)	(Poma et al., 2019)

Nota: Tomado de: Rautela, R., Arya, S., Vishwakarma, S., Lee, J., Kim, K. H., & Kumar, S. (2021). E-waste management and its effects on the environment and human health. *Science of the Total Environment*, 773, 145623.

Un estudio (Zhang et al., 2019) descubrió que los cultivos agrícolas cercanos a los estanques de agua y las muestras de orina humana cerca de los sitios de reciclaje de desechos electrónicos tienen mayores concentraciones de metales pesados. La inhalación directa de metales pesados en los lugares de reciclaje de residuos electrónicos se asocia con un mayor riesgo de anomalías en la tiroides, proliferación celular, cambios en el estado de ánimo y el comportamiento, efectos neonatales negativos y deterioro de la función pulmonar (C.-L. Huang et al., 2016).

En un estudio realizado en China, alrededor de 81.300 niños se vieron afectados por un trastorno neurológico con una reducción media de 1,2 puntos de coeficiente intelectual por niño tras estar expuestos a actividades de reciclaje de residuos electrónicos en bruto (Geeraerts et al., 2015). Se informó de que la exposición directa a los PBDE a través de la ingestión de polvo planteaba riesgos para la salud en numerosos lugares de eliminación de residuos electrónicos (Zhang et al., 2019).

La exposición a metales peligrosos como el Pb y el Cd conlleva graves complicaciones para la salud (por ejemplo, producción de citoquinas en la sangre (reducción de la inmunidad eritrocitaria), alteración del desarrollo óseo (osteoporosis) (Huo et al., 2019a) y alteración del metabolismo hepático (Chen et al., 2019). Los hallazgos colectivos de varios estudios (Huo et al., 2019b; Zeng et al., 2020) también encontraron conexiones con tasas elevadas de abortos espontáneos, nacimientos prematuros y pesos reducidos al nacer.

En Dakar, varias alertas de intoxicación por plomo en un barrio de la periferia de Dakar (NGagne Diaw) permitieron identificar una elevada contaminación por plomo debida al reciclaje informal de baterías de coche (ácido de plomo). Niveles de plomo en el suelo de hasta 126.840 mg/kg han provocado graves intoxicaciones. La caracterización química de los suelos contaminados por la actividad de reciclaje de RAEE identificó la presencia de elementos metálicos traza (As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn) en concentraciones de hasta 226 mg/kg de As; 35 mg/kg de Cd; 11.596 mg/kg de Pb; 4.768 mg/kg de Zn; 4.562 mg/kg de Cu; 659.251 mg/kg de Fe y 3.843 mg/kg de Mn (Peleka et al., 2021).

En la India, se observó la contaminación de las aguas superficiales por metales (As, Cr, Pb y Cd) en la zona de reciclaje de residuos electrónicos en Mandoli (Nueva Delhi) en comparación con los valores guía de la OMS. En efecto, las concentraciones fueron de 0,4 mg/l de As, 0,6 mg/l de Cr, 0,4 mg/l de Pb y 0,05 mg/l de Cd. El trabajo de Singh et al. (2018) sobre la evaluación de la exposición de los trabajadores informales de reciclaje de RAEE reveló que los niveles de Hg (8,12 mg/l), As (3,25 mg/l) y Zn (0,35

mg/l) en un río cercano al sitio de procesamiento de residuos electrónicos eran preocupantes. Todos estos elementos metálicos pueden transferirse a través del agua a los sedimentos, la biomasa y los suelos.

En Nigeria, se ha informado de la contaminación de plantas cultivadas cerca de una zona de reciclaje de residuos electrónicos (Olafisoye et al., 2013). Las concentraciones más altas de los elementos Pb, Zn, Cr, Cd y Ni fueron de 32,25 mg/kg, 10,20 mg/kg, 1,82 mg/kg, 0,13 mg/kg y 5,40 mg/kg respectivamente. Se evaluaron los elementos metálicos Zn, Cu, Cd, Pb e Hg en suelos y hortalizas cultivadas en Pakistán (Ahmad et al., 2019).

Los resultados de este trabajo muestran, en las muestras de suelo, concentraciones de 37,9 - 66,26 mg/kg de Zn; 8,32 - 1640 mg/kg de Cu; 0,42 - 1,92 mg/kg de Cd; 0,98 - 4,42 mg/kg de Pb y 0,84 - 1,84 mg/kg de Hg. Las verduras estaban contaminadas con Zn, Cu, Cd y Pb, mostrando concentraciones de 10,96 - 30,12 mg/kg, 2,86 - 10,12 mg/kg, 0,32 - 2,37 mg/kg y 0,37 - 22,12 mg/kg respectivamente. Del mismo modo, en Nigeria, las coles producidas en un suelo que puede concentrar hasta 1.696 mg/kg de Mn contienen 300 mg/kg de este elemento, mientras que los tomates cultivados en un suelo con un contenido tan elevado de Mn sólo concentran 27 mg/kg de este elemento (Gebeyehu et al 2020).

Según Aguilera (2010), cada monitor de ordenador o pantalla de televisión contiene entre 2 y 8 libras de plomo. Ese plomo es absorbido por el suelo cuando esa pantalla va a un vertedero en el campo, con los años se desintegra y, cuando llueve, pasa a las aguas subterráneas. Al final, a largo plazo, una persona beberá agua de allí y el plomo entrará en su cuerpo. Del mismo modo, cuando se acumule al aire libre, los demás componentes peligrosos contaminarán el suelo, el agua y el aire, causando probablemente graves problemas de salud en poco tiempo.

A continuación, se presenta una caracterización de los efectos sobre la salud humana y el medio ambiente de cada una de las sustancias de los componentes peligrosos, basada en las Fichas Internacionales de Seguridad Química (International Labour Organization, 2019).

Plomo

Se presenta como plomo u óxido de plomo, en las soldaduras, en las placas de las baterías, en los tubos de rayos catódicos de los ordenadores y en los televisores. Se calcula que un televisor contiene unos 2 kg de plomo y un ordenador personal unos 0,4 kg. Se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión. La evaporación a 20°C (temperatura ambiente) es insignificante; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire.

La exposición a corto plazo puede causar efectos en el tracto gastrointestinal, la sangre, el sistema nervioso central y el riñón, provocando cólicos, shock, anemia, daños renales y encefalopatías. La exposición puede provocar la muerte. Los efectos pueden no aparecer inmediatamente. Se recomienda la vigilancia médica.

La exposición prolongada o repetida puede afectar al tracto gastrointestinal, al sistema nervioso, a la sangre, al riñón y al sistema inmunitario, provocando cólicos graves, parálisis muscular, anemia, cambios de personalidad, retraso en el desarrollo mental, nefropatías irreversibles. Puede provocar un retraso en el desarrollo de los recién nacidos. Posibilidad de efectos acumulativos.

Esta sustancia puede ser peligrosa para el medio ambiente; debe prestarse especial atención al aire y al agua. Se produce una bioacumulación en la cadena alimentaria humana, especialmente en las plantas y en los organismos acuáticos, sobre todo en los peces.

Mercurio

Se calcula que más del 90% del mercurio presente en los RAEE procede de las pilas y los sensores de posición, aunque también se encuentra en pequeñas cantidades en tubos fluorescentes. Puede ser absorbido por inhalación, a través de la piel y también como vapor. Por evaporación de esta sustancia a 20°C, se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire. La

exposición a corto plazo, la inhalación del vapor puede causar neumonitis.

El mercurio puede causar efectos en los riñones y en el sistema nervioso central. Los efectos pueden no aparecer inmediatamente. Se recomienda la vigilancia médica. Con una exposición prolongada o repetida, la sustancia puede afectar al sistema nervioso central y al riñón, provocando inestabilidad emocional y psicológica, temblores, alteraciones cognitivas y del habla. Peligro de efectos acumulativos. La experimentación en animales muestra que esta sustancia puede causar efectos tóxicos en la reproducción humana.

En el medio ambiente, esta sustancia es muy tóxica para los organismos acuáticos. Se produce una bioacumulación en la cadena alimentaria, especialmente en los peces.

Cadmio

Se estima que más del 90% del cadmio de los RAEE procede de las pilas recargables, también se lo encuentra en determinados componentes de los circuitos impresos y es utilizado como estabilizador en el PVC.

Al cadmio se lo puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión. La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire. Por efecto de una exposición de corta duración la sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio.

La inhalación del humo puede originar edema pulmonar y fiebre de los humos metálicos. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica. Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida a las partículas de polvo. La sustancia puede afectar al riñón, dando lugar a proteinuria y disfunción del riñón. Esta sustancia es probablemente carcinógena para los seres humanos.

Bario

Se utiliza generalmente en los paneles frontales de los tubos de rayos catódicos para proteger a los usuarios de la radiación. El bario puede ser absorbido por ingestión. Esta sustancia irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias. Los estudios han demostrado, que ciertas exposiciones al bario han provocado el agrandamiento y endurecimiento del cerebro, la flacidez muscular, daños al corazón y al hígado (Alavan Huamán, 2019).

Cromo

El cromo metal está presente en los elementos ferrosos o de acero, ya que es un componente del mismo. El cromo VI conocido como cromo hexavalente se utiliza en el cromado en tintes y pigmentos. El cromo puede absorberse por inhalación del aerosol y por ingestión. La evaporación a 20°C es insignificante; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire cuando se dispersa. El contacto prolongado o repetido puede causar sensibilización de la piel.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha determinado que el cromo hexavalente es cancerígeno en los seres humanos; en el mismo sentido, el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) de los Estados Unidos ha determinado que ciertos compuestos de cromo hexavalente producen cáncer en los seres humanos y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ha establecido que el cromo hexavalente en el aire es cancerígeno en los seres humanos (Castro & Murillo, 2021).

Arsénico

Se encuentra en los viejos tubos de rayos catódicos. El arsénico puede ser absorbido por inhalación del aerosol, a través de la piel y por ingestión. La evaporación a 20°C es insignificante; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire. Debido a la exposición a corto plazo, la sustancia irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias.

La sustancia puede causar efectos en el sistema circulatorio, el sistema nervioso, el riñón y el tracto gastrointestinal, provocando convulsiones, alteraciones renales, hemorragias graves, pérdida de líquidos y electrolitos, shock y muerte. La exposición puede provocar la muerte. Los efectos pueden no aparecer inmediatamente. Se recomienda la vigilancia médica (Medina-Pizzali et al., 2018).

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. El contacto prolongado o repetido puede producir sensibilización de la piel. La sustancia puede afectar a las membranas mucosas, la piel, el riñón y el hígado, dando lugar a neuropatías, trastornos de la pigmentación, perforación del tabique nasal y alteraciones de los tejidos. La sustancia es cancerígena para los seres humanos. El arsénico es tóxico para los organismos acuáticos.

Selenio

Suele estar presente en las placas de circuitos como rectificador de la fuente de alimentación. El selenio puede ser absorbido por inhalación, a través de la piel y por ingestión. La evaporación a 20°C es insignificante; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por dispersión. La exposición a corto plazo provoca irritación de los ojos y de las vías respiratorias. La inhalación de polvo puede provocar un edema pulmonar.

La inhalación de humo puede provocar síntomas de asfixia, escalofríos, fiebre y bronquitis. Los efectos pueden no aparecer inmediatamente. El contacto prolongado o repetido con la piel puede causar dermatitis. La sustancia puede afectar a las vías respiratorias, al tracto gastrointestinal y a la piel, provocando náuseas, vómitos, tos, amarilleamiento de la piel, pérdida de uñas, aliento alíaceo y alteraciones dentales (Cordero Casallas, 2015).

Bifenilos policlorados (PCB)

Poseen magníficas propiedades dieléctricas, y de longevidad, no son inflamables y son resistentes a la degradación térmica y

química. (PCBs) tienen 12 congéneres a los que la Organización Mundial de la Salud ha asignado factores de equivalencia de toxicidad debido a su comportamiento similar en este aspecto al de la dioxina (Loayza et al., 2015).

Antes de ser prohibidos se utilizaban en la fabricación de: transformadores eléctricos, condensadores eléctricos, balastos de lámparas, interruptores eléctricos, y otros accesorios, cables eléctricos, motores eléctricos y electroimanes, además de utilizarse como plastificante en el cloruro de polivinilo, neopreno y otras resinas artificiales.

Terfenilos policlorados (PCT)

Poseen propiedades físicas y químicas muy similares a los PCBs por lo que fueron utilizados en las mismas aplicaciones, son prácticamente insolubles en agua y muy resistentes a la degradación, además de ser menos volátiles que los PCBs. Las cantidades utilizadas en aplicaciones eléctricas eran muy pequeñas (Ocampo & Santa Catarina, 2018).

Bifenilos policromados (PBBs)

Son sustancias sólidas o cerosas a temperatura ambiente. Son prácticamente insolubles en agua y muy resistentes a la degradación. Los PBB se utilizaron principalmente como retardantes de la llama. Se añadían al plástico de acrilonitrilo butadieno estireno, a las pinturas, a las lacas y a la espuma de poliuretano.

Los RAEE que contienen o están contaminados con PCBs, PCTs o PBBs consisten en artículos como: condensadores, disyuntores, cables eléctricos, motores, electroimanes, interruptores, transformadores, reguladores de voltaje, disolventes, selladores, pinturas, fluidos dieléctricos y plásticos (Ocampo & Santa Catarina, 2018).

Retardantes de llama

Son sustancias químicas que se añaden a los componentes plásticos (carcasas) en el caso de los equipos electrónicos, con el

propósito de evitar que el fuego se propague fácilmente. Los más utilizados son los siguientes:

1. Éteres difenólicos polibromados (PBDE)

Se trata de sustancias químicas persistentes en el medio ambiente, algunas de las cuales son altamente bioacumulables y tienen la capacidad de interferir en el desarrollo normal del cerebro de los animales. Se sospecha que varios de estos PBDS son disruptores endocrinos y tienen el potencial de interferir con las hormonas relacionadas con el crecimiento y el desarrollo sexual. Hay estudios en los que se ha demostrado que afectan al sistema inmunitario.

2. Tetrabromobisfenol - A (TBBPA)

Se ha demostrado que interfieren con las hormonas tiroideas, que tienen efectos sobre el crecimiento y el desarrollo, y se cree que tienen efectos potenciales sobre otros sistemas hormonales, el sistema inmunológico, el hígado y los riñones.

3. Fosfato de trifenilo (TPP)

Altamente tóxico para la vida acuática, es un fuerte inhibidor de un sistema enzimático vital en la sangre humana. Puede causar dermatitis de contacto en algunas personas y es un posible disruptor endocrino.

De acuerdo con lo expuesto hasta ahora, la eliminación de los RAEE también puede provocar los siguientes efectos:

1. Debido a su peso y volumen, ocupan una gran cantidad de espacio cuando se envían como basura convencional a los llamados vertederos. Al no gestionarse técnicamente su eliminación total, el gran peligro es la contaminación del suelo, el aire y el agua con sustancias tóxicas para la salud humana, que incluso pueden derivarse de la interacción con el medio ambiente, que también se contaminará con consecuencias muy negativas.

2. La presencia de muchas personas en los vertederos, gestionando de forma antitécnica este tipo de residuos, con el fin de obtener de ellos plásticos, metales, vidrios y otros materiales con el grave riesgo de verse afectados por las sustancias tóxicas de estos artefactos o las producidas como consecuencia de la interacción con el medio ambiente.
3. La imposibilidad de un reciclaje fácil, rentable, seguro para el ser humano y respetuoso con el medio ambiente conlleva un elevado consumo de energía y recursos naturales. "Y la situación se agrava si se considera el uso de recursos en el sector de la electrónica. La fabricación de un PC con pantalla plana de 17 pulgadas requiere 240 kg de combustible fósil, 22 kg de productos químicos y 1500 litros de agua. Otro ejemplo: una fábrica de chips consume 7 millones de litros de agua cada día" (Rodríguez et al., 2019).

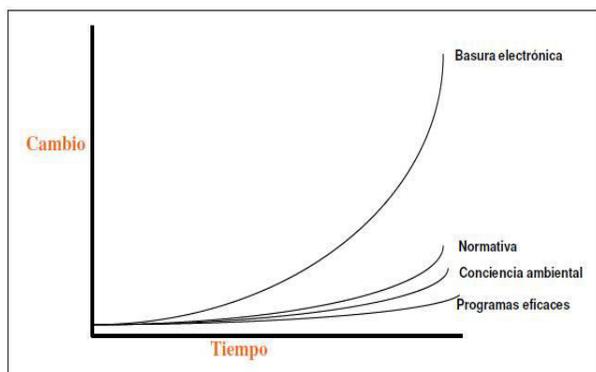
Debido a su naturaleza peligrosa, el reciclaje y la recuperación de recursos de los residuos electrónicos son cuestiones importantes. Sin embargo, solo el 17,4 % de los residuos electrónicos se recogen y reciclan formalmente, mientras que el 82,6 % restante se comercializa a través de mercados ilegales y se elimina en vertederos y basureros (Forti et al., 2020; Li et al., 2013).

Muchos países en desarrollo (por ejemplo, Benín, Costa de Marfil, Liberia, Kenia, Sudáfrica, Uganda, Senegal, Filipinas, India, China, Malasia, Indonesia, Vietnam, Bangladesh, Nigeria, Pakistán, Bután, Nepal y Sri Lanka) importan residuos electrónicos sin una planificación adecuada ni una gestión estratégica. Por ello, la mayoría de estos residuos acaban en vertederos municipales o se almacenan en almacenes de operaciones de reciclaje primitivas (Herat y Agamuthu, 2012; J. Li et al., 2013; Mihai et al., 2019).

Como una consecuencia en el crecimiento de la tasa de renovación tecnológica y la gran acumulación de equipos que han cumplido su ciclo de vida, los aparatos electrónicos y sus residuos crecen más rápido que la implementación de nuevos equipos y mucho más que la conciencia ambiental junto con su normativa y los programas eficaces para su manejo que se fomenten. En la figura

4 se muestra este comportamiento con lo que se llama la "Ley de la basura electrónica" (Joירו, 2015).

Figura 4. Ley de la Basura Electrónica



El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUD), universidades de los cinco continentes y empresas como Dell, Microsoft, Hewlett Packard y Philips, entre otras muchas, han presentado la iniciativa "Solving the E-Waste Problem" (STEP) como forma de frenar el crecimiento de la basura electrónica, con el objetivo de estandarizar el reciclaje en todo el mundo, alargar la vida útil de los dispositivos y homogeneizar la legislación.

2.4 Normas y reglamentos sobre los residuos electrónicos

En todo el mundo se han promulgado normas sobre los residuos electrónicos. Según el Global E-waste Monitor 2020, aproximadamente el 71% de la población mundial vive en jurisdicciones con legislación y políticas de gestión de residuos electrónicos.

Sobre la base de una revisión crítica, se supone que se tienen en cuenta las siguientes cuestiones a la hora de promulgar y aplicar las normativas: 1) un conocimiento considerable de los materiales reciclables; 2) la supervisión de las sustancias peligrosas que se generan potencialmente durante la fabricación de nuevos productos electrónicos y el tratamiento de los residuos electrónicos;

3) la experiencia técnica con metodologías de tratamiento avanzadas; 4) la participación activa de la comunidad; 5) el cumplimiento de normativas estrictas y obligatorias; 6) la aplicación efectiva de planes y políticas (Zeng et al., 2017).

La Unión Europea ha establecido directivas para los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) y la Restricción de Sustancias Peligrosas (RoHS) (Directivas 2002/96/CE; (Directiva, 2013). La directiva RAEE tenía como objetivo reducir los impactos nocivos de las emisiones tóxicas del reciclaje de residuos electrónicos en la salud humana y el medio ambiente, fomentando la aplicación de las 4R en la gestión de los residuos electrónicos y desalentando la eliminación en vertederos (Ylä-Mella et al., 2014).

Se considera que los fabricantes y productores son responsables de garantizar una gestión eficaz y segura de los residuos electrónicos y la recuperación de recursos (Herat y Agamuthu, 2012). La directiva RoHS prohíbe el uso de determinadas sustancias nocivas en la fabricación de diferentes tipos de AEE (Jandric et al., 2020), lo que restringe el uso de plomo, cadmio, mercurio, cromo hexavalente, PBDE y PBB en los AEE.

La RoHS 3 (Directiva, 2013; Murphy et al., 1998) también prohíbe cuatro nuevas sustancias restringidas: el ftalato de bis (2-etilhexilo) (DHEP), el ftalato de dibutilo (DIBP), el ftalato de butilo (BBP) y el ftalato de dibutilo (DBP), a partir de 2021 (RoHS 3; EU 2015/863) (Intrakamhaeng et al., 2019). Garantiza un mayor nivel de seguridad para la salud humana y el medio ambiente, al tiempo que promueve la competencia, la creatividad y el libre intercambio de sustancias en el mercado interior (Žukauskas et al., 2018).

El objetivo del programa Sustainable Cycles (SCYCLE), actualmente en transición de la Universidad de las Naciones Unidas (UNU) al Instituto de las Naciones Unidas para la Formación y la Investigación (UNITAR), es capacitar a las sociedades para que reduzcan la carga medioambiental causada por la producción, el consumo y la eliminación de bienes ubicuos y, especialmente, de los AEE a niveles sostenibles mediante actividades de investigación y formación independientes,

exhaustivas y prácticas que construyan una base empírica más completa para la elaboración de políticas y la toma de decisiones.

SCYCLE lidera la investigación mundial sobre los RAEE y la formación correspondiente y promueve estrategias para la gestión sostenible de los RAEE basadas en el concepto de ciclo de vida. La implementación del Monitoreo Regional de Residuos Electrónicos para América Latina: Resultados de los trece países participantes en el proyecto ONUDI-FMAM 5554, fue llevada a cabo por el programa Ciclos Sostenibles (SCYCLE), copatrocinado por la UNU y el UNITAR.

2.5 Situación de los residuos electrónicos en América Latina

La gestión y acondicionamiento de un sistema de gestión de RAEE genera un valor económico para la población; los RAEE en general suponen un reto particular porque, por un lado, tienen elementos de alto valor y piezas que pueden ser recuperadas de forma rentable, pero al mismo tiempo contienen piezas con sustancias tóxicas y materiales que no tienen valor en el mercado (Gollakota, Gautam y Shu, 2020, p.77). Las organizaciones que se ocupan de la recuperación y valorización de los RAEE tienen que pasar por estos retos que, en un entorno como el de la mayoría de los países de América, pueden ser complicados de resolver.

Argentina

Argentina cuenta con la Ley 14321: Gestión Sustentable de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) publicada el 15/12/2011 y actualmente cuenta con la resolución 269/19: Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) publicada el 05/06/2019. Aun así, la problemática respecto a los RAEE aborda esto se debe a la ausencia de espacios institucionales que sean claros para promover una gestión adecuada (Constantin et al., 2019, p.17).

En cuanto a las etapas de gestión, se puede decir lo siguiente: Forti et al. (2020) afirman que el país en 2019 generó 465 kt y 10,3 per cápita (p.105). Asimismo, Ilankoon et al. (2018) mencionan que Argentina en 2017, produjo 7 kg per cápita. En este sentido, ha diferenciado la recolección a través del programa de "puntos verdes especiales" fijos y móviles.

En el caso de los RAEE de generación ciudadana, estos se reciben desde 2012 en algunos de los 50 "puntos verdes especiales" y en "puntos verdes móviles". Asimismo, las entidades públicas y/o privadas pueden solicitar la recogida de sus RAEE, existiendo también un servicio de recogida gratuita de residuos voluminosos, entre los que se encuentran los grandes electrodomésticos. Ante esto, en el período de 2015 - 2018, el programa recolectó 619 toneladas (Maffei y Burucua, 2020, p.32).

Existen también en la nación recolectores urbanos informales denominados "los chatarreros" que recuperan los RAEE de los contenedores, en los cuales son destinados a sus propios domicilios, donde realizan tareas de clasificación y desmontaje para su posterior venta. Asimismo, estos residuos son transportados a entidades públicas y privadas mediante la recogida por parte de empresas dedicadas a la gestión de RAEE.

En algunos casos, los gestores de RAEE disponen de su propia flota de camiones y se encargan también del transporte y la retirada; en muchos casos, el servicio está externalizado (Maffei y Burucua, 2020, p.33). Posteriormente, los residuos electrónicos son separados, desmontados y recuperados para ser exportados. Entre los años 2014-2018 se exportaron 991,518 de plaquetas a Bélgica y el máximo fue en 2018 con 360,433 kg, esto ocurrió con la participación de 03 empresas en el mercado. La última etapa es la disposición final donde son tratadas a través de empresas habilitadas para ello (Maffei y Burucua, 2020, p.36).

Argentina ha hecho parte de compromisos internacionales y regionales en cuanto al tratamiento de la basura e incluso de los RAEE, estos son el Convenio de Basilea y el Acuerdo del Mercado Común del Sur (MERCOSUR) (Baldé et al., 2015, p.14).

Adicionalmente, existen iniciativas concretas y específicas llevadas a cabo por el gobierno nacional, que consisten en campañas y seminarios, o los programas del Ministerio de Educación para el reciclaje de computadoras que se destinan a las escuelas públicas. El proyecto cuenta con una escuela taller de reparación y reciclaje con el objetivo de crear oportunidades de

trabajo. La industria del reciclaje en el país cuenta con asociaciones que asumen esta tarea con fines económicos, pero también con un compromiso con el desarrollo sostenible y el cuidado del medio ambiente (Baldé et al., 2015, p.14).

Entre los principales retos que debe enfrentar este país, se puede mencionar la falta de información en la población, así como la falta de conciencia social, y en otros sectores vinculados a la gestión y disposición integral de estos residuos. Para solucionar estos inconvenientes, Argentina ha realizado talleres de capacitación e información entre otras medidas (Baldé et al., 2015, p.14).

Bolivia

En Bolivia no existen políticas públicas en materia de RAEE, por otro lado, a nivel gubernamental, el país cuenta con el trabajo contiguo del Ministerio de Ambiente y Agua (en adelante MMMYA) y el Ministerio de Desarrollo Productivo y Plural para enfrentar el desafío de la gestión de los RAEE. El principio de REP se atribuye ante la ausencia de una legislación acorde al sector (Baldé et al., 2015, p.15).

En este sentido, se apoya en la norma NB 69019 Residuos Sólidos - Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y/o Electrónicos RAEE publicada el 12/10/12 que tiene como objetivo prevenir, reducir y amortiguar los impactos nocivos que la gestión puede causar sobre la salud y el medio ambiente, además ninguno de los municipios de Bolivia ha implementado verazmente un sistema de gestión en materia de RAEE y tampoco cuentan con una normativa específica y clara. Sin embargo, se ha establecido un equipo de trabajo con delegados del sector público y privado donde se incrementan las acciones puntuales y con efectos muy limitados, junto con otras instituciones, para recolectar y reciclar los RAEE (Luján et al., 2017, p.2 como se cita en Baldé et al., 2015, p.15).

Marinkovic (2017) afirma que durante 2014-2015, el país generó 2,6 kg/hab/año de RAEE, sin embargo, Forti et al. (2020) afirma que Bolivia en 2019 generó 41 kt y 3,6 per cápita (p.106). En este sentido, la Dirección Nacional de Residuos Sólidos, en 2015 declara

el ingreso legal de 47.000 toneladas de RAEE, por lo que la generación de RAEE se origina en la importación de AEE. Asimismo, del total de AEE importados, el 60% es de contrabando, es decir, ingresa ilegalmente (p.1).

Según la guía de descarga de RAEE, Bolivia enfrenta el problema de generación de RAEE; como señalan las cifras, la generación per cápita de RAEE establece 5,44 kg/hab/año en 2017. Sin embargo, un diagnóstico de la trascendencia de la generación de RAEE se considera que para el 2025 indicará 94.476 tn/año y para el 2035 esta cantidad será de 157.236 tn/año de RAEE (2019, p.14).

La fase de recogida y transporte no se ejecuta en ninguno de los municipios ya que ocasiona altos costes durante el proceso de gestión, dentro de los municipios esta etapa se está llevando a cabo a través de campañas de recogida organizadas por diferentes entidades que posteriormente recogen los RAEE recogidos o los trasladan a organizaciones que los desmontan.

En cuanto a la recuperación de RAEE, existen algunas experiencias de reacondicionamiento de componentes como ordenadores para poder reutilizarlos en telecentros o centros educativos (Luján et al., 2017, p.7). Por otro lado, existen diferentes asociaciones y/o empresas privadas dedicadas a la disposición final de RAEE que operan en los departamentos de La Paz, Cochabamba y la ciudad de Santa Cruz (Baldé et al., 2015, p.15).

El mencionado país no cuenta actualmente con iniciativas formales de reciclaje, pero sin embargo, se han realizado varias campañas de reciclaje denominadas "reciclatón" en diciembre de 2019 con el objetivo de buscar la participación de instituciones para la gestión y manejo de RAEE, esto se realizó en conjunto con el MMAYa, municipios de La Paz y El Alto, Cámara Nacional de Industrias, Tecnología Sostenible, RAEE RECICLA, fundación VIVA y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Mayor de San Andrés (Swisscontact, 2020).

Asimismo, se están implementando estrategias por parte de las instituciones para sensibilizar a la población e involucrar a los

consumidores en el manejo adecuado de este tipo de residuos. Además, en coordinación con empresas, universidades e instituciones, establecen encuentros y talleres sobre la correcta gestión de los RAEE (MMAyA, 2020).

Finalmente, aún existen retos en cuanto a la implementación de la normativa para la correcta gestión de los RAEE. Por ello, es fundamental fortalecer las iniciativas nacionales, al tiempo que se incrementan las capacidades nacionales en instalaciones e infraestructura para el desmantelamiento y reciclaje de RAEE, las empresas dedicadas a la recuperación y valorización de RAEE tienen que enfrentar estos retos que, en un entorno como el nuestro, pueden ser difíciles de resolver (Luján et al., 2017, p.6).

Brasil

La producción de residuos eléctricos y electrónicos en Brasil fue de 7 kg/habitante en 2016, es decir, un total de 1,4 Tm en ese año. En 2017 Brasil se destacó con la mayor tasa de residuos electrónicos per cápita (aumento anual de 0,8 kg/habitante), lo que equivale a 7,1 kg/habitante. Según Echegaray y Hansstein (2017, p.2), menos del 60% del total de los residuos sólidos se dispone adecuadamente en terrenos autorizado y actualmente sólo el 4% del total de los residuos se recicla.

Souza (2020) afirma que en 2017 Brasil produjo 7 kg de residuos electrónicos per cápita este aumento se debió especialmente a las exportaciones ilegales de residuos de otros países industrializados (p.377).

En cuanto a la normativa el 5 de agosto de 2010 se aprobó la Ley Federal N° 12.305 sobre la Política Nacional de Residuos Sólidos dentro de la cual se incluye la gestión de los RAEE, así como las etapas de gestión priorizando la reducción y reutilización de los residuos (Dias et al., 2018, p.9; Florin et al., 2019, p.17; Souza, 2020, p.377).

Brasil se ha propuesto un sistema de logística inversa con cuatro pasos principales: mantenimiento, recogida, clasificación y

eliminación de metales y además dentro de la cadena de reciclaje de residuos electrónicos se lleva a cabo mediante tres pasos principales: recogida, desmantelamiento y preprocesamiento (incluyendo la clasificación, el desmantelamiento y el tratamiento mecánico) y el procesamiento final por otro lado en Brasil, la gestión de los residuos electrónicos todavía no está bien establecida prácticamente no hay información sólida sobre el comercio ilegal de RAEE en Brasil (Reis de Oliveira et al., 2015, p.1604-1605).

El principio REP también se ha introducido para los fabricantes, importadores, distribuidores y minoristas. El Ministerio de Desarrollo, Industria y Comercio Exterior de Brasil propuso en 2013 una clasificación nacional para los RAEE (Moura et al., 2017, p.68) presentando cuatro categorías de residuos: la de línea verde, que incluye PC, impresoras, monitores y teléfonos celulares; la de línea marrón, que incluye televisores, monitores y productos de audio; la de línea blanca, que incluye equipos pesados como refrigeradores, congeladores, estufas, lavadoras y aires acondicionados; y la de línea azul para batidoras, licuadoras, planchas y taladros (Florin et al., 2019, p.17).

En la ciudad de Sao Paulo, se decretó en 2010 la Ley Estatal N. 13.576 donde se establecen normas y procedimientos para la correcta gestión de los RAEE, en el país también se incluye el Principio de Responsabilidad Compartida (PRC) dentro del ciclo de vida de los AEE (Dias et al., 2018, p.16 como se cita en Souza, p.379), sin embargo estos acuerdos legales siguen siendo desconocidos para los consumidores y son poco aplicados entre los fabricantes y las autoridades locales (Echegaray y Hansstein, 2016, p.2 como se cita en Dias et al., 2018, p.16).

Brasil como estrategia aplicó botes de basura para la recolección de RAEE, y aparte las empresas operadoras presentan campañas publicitarias a través de los medios de comunicación; así como estrategias de comunicación interna con el fin de capacitar y reciclar sus dispositivos electrónicos, teléfonos celulares. Así, "Recicle Seu Celular" cuenta con más de 3600 puntos de recogida de teléfonos móviles, baterías y accesorios en desuso y ha recogido más de 2,8 millones de artículos, de los cuales cerca de 1 millón corresponden

a teléfonos móviles. Por lo tanto, las actividades empresariales de AEE están relacionadas con la responsabilidad posconsumo para la recogida, el tratamiento y la eliminación ambientalmente correcta de los dispositivos (Román, 2014, p.16).

Brasil tiene un gran desafío en cuanto a la viabilidad de los sistemas de recolección de residuos electrónicos; ya que, al ser un país continental en términos de territorio e infraestructura logística, depende en gran medida del transporte por carretera para trasladarlos a las empresas operadoras encargadas de manejar este tipo de residuos (Gabbay, 2020, p.382).

Chile

Chile no cuenta con una normativa propia para la gestión de los RAEE en específico, sin embargo, en 2016 se estableció la "Ley Marco de Gestión de Residuos, Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje" con el objetivo de minimizar la producción de residuos y al mismo tiempo fomentar su reutilización, reciclaje y valorización a través de REP y otros instrumentos de gestión de residuos (Silva y Baigorrotegui, 2020, p.520). Esta normativa establece etapas de gestión como la prevención, la reutilización, el reciclaje, la valorización energética y la eliminación (Ministerio del Medio Ambiente, 2016).

Durante el 2016 se comercializaron en el país 353,350 toneladas y en el 2017, 372,912 toneladas de RAEE y con ello se generaron 168,813 (2016) y 168,116 (2017) toneladas de RAEE. A su vez se calculó que, se generan 9,9 kg/hab/día en promedio de los dos años mencionados (MMA, 2016, p.1). Sin embargo, el mencionado país consumió 17,8 kg/hab/día, de los cuales subirán a 19,4 kg/hab/día en 2027, trayendo un aumento de 44,8% en 10 años (La Tercera, 2019). Por otro lado, Forti et al. (2020) afirman que México en 2019 generó 186 kt y 9,9 per cápita.

En cuanto a la recolección afirman que el 95% es entre empresas, el 4% son entregas directas a gestores, el 1% a través de campañas realizadas por municipios y el 0,1 desde puntos verdes.

La tasa media de crecimiento anual de las ventas y de los RAEE es la siguiente: 0,8% esperando llegar a 391,00 toneladas en 2027, 4,3 esperando llegar a 267,486 toneladas en 2027, con el mayor incremento asociado a los paneles fotovoltaicos, respectivamente (MMA, 2019).

Las estrategias aplicadas en Chile son las campañas de reciclaje de RAEE como "Reciclaje Electrónico para Chile" esta fue una acción conjunta de empresas como la fundación Recyclápolis y Entel desarrollada en septiembre de 2017, con el único fin de incentivar las buenas prácticas de reciclaje electrónico y la conciencia ambiental por parte de las personas.

Del mismo modo, se plantearon los Acuerdos de Producción Limpia (APL), que va de la mano del MMA y las empresas privadas, promoviendo la economía circular, estas organizaciones vienen implementando acciones que promueven la reducción y recuperación de residuos, optando por la reutilización y el reciclaje (MMA, 2019, p.1). Tal es el caso de Samsung que se comprometió a trabajar en el marco de este acuerdo para abordar los desafíos que implica la implementación de la REP (Samsung, 2019, p.1).

Los desafíos que enfrenta Chile son la formalidad de los recicladores de base, ya que están sometidos a altos riesgos de peligrosidad de los componentes, por otro lado, presenta desafíos en cuanto a la escasa información sobre el correcto manejo de los RAEE, incluir estándares mínimos de producto e incentivos para la mejora continua, mejor innovación de diseños, restricción en el contenido de sustancias peligrosas, implementar el derecho a la reparación por parte de los ciudadanos, entregar información a los consumidores, etiquetado, establecer metas de recolección y preparación para la reutilización y reciclaje a través del decreto REP, promover un sistema de compras públicas que prefiera productos y servicios sustentables (MMA 2019).

Colombia

En cuanto a la normatividad, Colombia cuenta con la Ley 1672 de 2013 y la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos

de Aparatos Eléctricos y Electrónicos aprobada en 2017, con el propósito de promover la gestión integral de los RAEE a través de la prevención y minimización de la generación de RAEE y el fomento de la producción responsable (Baldé et al., 2015, p.18).

Asimismo, se pretende promover la gestión de los RAEE, con el fin de reducir los riesgos sobre la salud y el medio ambiente, y fomentar los beneficios de los RAEE de forma ambientalmente positiva, al dar como alternativa la generación de puestos de trabajo y, finalmente, fomentar la colaboración de productores, comerciantes y consumidores de AEE en el desarrollo de estrategias, planes, proyectos para la gestión integral de los RAEE (p.57-59).

Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (en adelante Minambiente), la producción de RAEE domésticos en 2014 fue de 252.000 toneladas, lo que equivale a 5,3 kg/habitante (2017). Forti et al. (2020) afirma que Colombia en 2019 generó 318 kt y 6,3 per cápita (p.107). No obstante, estudios específicos del Minambiente estiman que se generan 130,00 ton/año en residuos de computadores, impresoras, celulares y electrodomésticos comunes. Por otro lado, la tasa de aprovechamiento y recuperación en 2016 es del 17%, confiando en que para 2018 se alcance una tasa del 20% (Ríos, 2017, p.170).

En Colombia existen algunos sistemas de recolección autorizados, sin embargo, la mayoría de los aparatos obsoletos son recolectados y tratados previamente por trabajadores informales, de los cuales se recuperan los metales; estos recicladores logran desmantelar los RAEE golpeando los objetos contra el suelo, maximizando los riesgos para la salud y el medio ambiente. Al mismo tiempo, las organizaciones formales de recicladores, conocidas como gestores de RAEE, son contratadas por los programas de posconsumo, como el de ecomputación, para el posterior tratamiento de los RAEE recogidos; sin duda, los recicladores juegan un papel complementario a los recolectores (Méndez et al., 2020, p.452).

En cuanto a las estrategias adoptadas por el país, fueron las siguientes: concienciación y educación para la productividad y el

uso responsable de los AEE, con el fin de alargar la vida útil y al mismo tiempo promover una serie de medidas capacitadas para el ecodiseño, desarrollo y creación de instrumentos para la recogida y gestión de los RAEE, uso, reciclaje, reparación y recuperación a través de operaciones de reacondicionamiento de componentes (Andina, 2019, p.1).

Otra de las estrategias del país es formar esquemas de trabajo colectivo entre el sector privado y público, es decir, de la mano de los productores, comercializadores y gestores de RAEE con el objetivo de garantizar programas de pos-consumo Ljomah y Danis (2019, p.264) indican en ese sentido que la unión de esfuerzos entre los sectores será fundamental para lograr la estrategia propuesta. Redondo et al. (2017) menciona que las estrategias de economía circular y la educación ambiental reducen al máximo la generación de RAEE, esto se debe a cuando se aumenta el ciclo de vida de los AEE y se modifican las prácticas de consumo (p.327).

Finalmente, se involucra la economía circular como estrategia, muy similar a la logística inversa en la que se plantea un sistema de reciclaje y recolección adecuada, aprovechando los elementos de los RAEE y así sumarlos a la cadena productiva. (Pascuas, Correa y Marlés, 2018, p.251), por otro lado, la estrategia de educación ambiental consiste en una serie de campañas de concientización que buscan cambiar las costumbres menos sostenibles, en Colombia los RAEE se gestionan de manera formal (Redondo et al., 2017, p.323).

Colombia no cuenta con una industria de reciclaje adecuada, por lo que implementa retos para diferentes actores de tal manera que las acciones colectivas se ejecutan a través de principios de carácter legal que llevan a considerar decisiones de responsabilidad ambiental. Esta situación da lugar a la informalidad, amenazando el ecosistema y la seguridad de los recicladores. En este sentido, presenta retos para desarrollar un sistema de gestión enfocado en alternativas para el tratamiento y aprovechamiento de los RAEE (Ríos, 2017, p.184).

Entre los retos que enfrenta Colombia se encuentra la implementación de tecnologías disponibles para la etapa de

recuperación, las demás etapas se realizan manualmente y luego se exportan para su recuperación y reciclaje (Baldé et al., 2015, p.18).

México

La industria electrónica tiene un papel crucial en la economía del país además México está bien posicionado a nivel mundial como país exportador y ensamblador de productos electrónicos, el país ha sido el principal exportador de televisores de pantalla plana además del cuarto lugar en la exportación de computadoras, y el octavo lugar en producción de teléfonos celulares a nivel mundial (Saldaña et al., 2020, p.424).

La regulación de los residuos en México se basa en un marco internacional que incluye acuerdos y tratados que ha firmado, como los acuerdos de Basilea, Estocolmo y Rotterdam, entre otros. Además de un enfoque regional, que se aplica debido a la situación de América del Norte y América Latina en materia de residuos electrónicos, en la que México tiene participación en diferentes programas y acuerdos relacionados con el tema en ambas zonas (Saldaña et al., 2020, p.429).

Según Alcántara et al. (2016), México cuenta con una política pública ambiental que consiste en una responsabilidad compartida e incluye a productores, importadores, comerciantes exportadores hasta los consumidores (NOM - 161 - SEMARNAT - 2013) (p.618).

Con respecto a las etapas de gestión en México existe una falta de control durante estas etapas y en particular con la disposición final, ya que una gran cantidad de aparatos electrónicos al final de su vida útil llegan a los sitios de disposición final mezclados con los RSU, aumentando la heterogeneidad, el espesor de la peligrosidad y el impacto de la mezcla resultante (Alcántara et al., 2016, p.423-426).

México se encuentra entre los países latinoamericanos con mayor porcentaje de generación y uso de residuos electrónicos. Saldaña et al., (2020) afirman que el país generó 1,1 Mt de residuos electrónicos en 2015, con una tasa de crecimiento anual del 2,18%, (p.429). Según Forti et al. (2020) México en 2019 generó 1220 kt y 9,7 per cápita (p.111). Además, sólo el 10% de estos residuos se recicla,

el 40% permanece en sus hogares y el 50% termina en rellenos sanitarios, chatarrerías y tiraderos a cielo abierto sin un manejo especial (Martínez, Cuevas y Osuna, 2019, p.55).

En 2015 llevó a cabo un programa para el cambio a la televisión digital, este programa tuvo consecuencias no deseadas para las prácticas de manejo de residuos electrónicos ya establecidas, en ese mismo año el gobierno federal se encargó de entregar 13.8 millones de televisores de pantalla plana para el programa, sin saber las consecuencias que podría traer como la obsolescencia.

En un principio se propuso entregar los aparatos a centros de acopio especiales, sin embargo, no lograron recolectar todo el flujo de residuos electrónicos ya que requería un alto costo para enviarlos a su destino final y procesamiento, por lo tanto, sólo se recolectó un porcentaje mínimo del 5%, equivalente a 278 mil toneladas de residuos electrónicos (Saldaña et al., 2020, p.433).

En este sentido, México implementó estrategias como las campañas de recolección de RAEE que se llevaron a cabo desde el 12 de septiembre de 2020 a través de la campaña "Desconecta" de la mano con el Gobierno Municipal de Toluca, a través de la Dirección General de Medio Ambiente y Gobierno. Este programa tiene como objetivo llevar un centro de acopio a cada delegación, subdelegaciones y parques industriales y simultáneamente ofrecer a los vecinos opciones de manejo y restitución de estos residuos de manejo singular (Municipio de Toluca, 2020).

En México operan empresas dedicadas a la gestión de RAEE como PROAMBI, REMSA, etc. que buscan la sustentabilidad a través de la economía circular de los aparatos y al mismo tiempo promueven los puntos verdes para la recolección de RAEE.

La Secretaría del Medio Ambiente (Sedema) fomenta la educación ambiental, promoviendo el reciclaje, el manejo adecuado y la separación, en conjunto con la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), donde se recolectaron 38 toneladas de RAEE y 2,200 kilos de pilas (Sedema, 2020).

México enfrenta importantes retos, entre los que destacan: Combatir el mercado informal, controlar las importaciones, trabajar para obtener suficiente capacidad de procesamiento de RAEE, crear sistemas de calidad en su tratamiento, mitigar la presencia de RAEE en los sitios de disposición final, reducir la quema a cielo abierto y la falta de normas o instrumentos para su manejo (Saldaña et al., 2020, p.433).

Perú

En los últimos años ha habido un incremento en la adquisición de Equipos Eléctricos y Electrónicos en Perú. Según el MINAM, en el 2017 se alcanzaron las 42 mil toneladas de residuos; mientras que en el 2018 fueron más de 46 mil y media toneladas a nivel nacional (p.1). Asimismo, Forti et al. (2020) señala que en el Perú en el 2019 se generaron 204 mil toneladas y 6,3 per cápita (p.112).

Al respecto, el MINAM propuso estrategias que buscan promover la valorización de estos residuos; al mismo tiempo reforzar el principio de REP, esto por parte de los fabricantes, importadores y ensambladores de AEE, quienes serán responsables de sus bienes hasta la fase de posconsumo como lo indica el Decreto Supremo N° 0092019-MINAM denominado (Régimen Especial de Gestión y Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos). Este decreto clasifica los RAEE en 11 categorías de las cuales el 84% del consumo nacional de AEE se centra en las cuatro primeras, es decir, grandes electrodomésticos, pequeños electrodomésticos, equipos de computación y telecomunicaciones y electrónica de consumo (2019).

El Perú cuenta actualmente con 05 empresas operadoras de AEE legalmente registradas en la Dirección General de Salud Ambiental y Seguridad Alimentaria (DIGESA) y estas son: Perú Recicla "COIPSA", San Antonio Recycling, Comimtel, Akstarcom y Perú verde reciclaje, estos operadores procesan alrededor de 2 mil toneladas de RAEE durante el año (IPES, 2016, p.1).

A su vez aplicaron estrategias como las campañas "Tecnorecicla Lima", esta busca crear una cultura de reciclaje de residuos

eléctricos y electrónicos a nivel de Lima Metropolitana, esto lleva a recolectar un total de 19,25 toneladas de RAEE a la fecha entre televisores, lavadoras, controles, celulares; esto se logró en conjunto con el MINAM, municipalidades distritales y a la par con las empresas de telecomunicaciones, operadores y productores. (Andina, 2019, p.1) Por otro lado, a la fecha existen 157 centros de acopio de RAEE a nivel nacional, esto se dio gracias a los planes de gestión de RAEE implementados por los productores de estos AEE. De igual manera, existen casos en los que se establecieron centros de acopio a la par de las municipalidades (MINAM, 2018, p.1).

Por otro lado, el Perú enfrenta retos como la construcción de infraestructuras adecuadas de desmantelamiento y desmontaje, disposición final de RAEE, formalidad de los recicladores, educación ambiental y REP, los cuales deben ser agilizados ya sea en el corto o mediano plazo para dar solución a esta problemática (Baldé et al., 2015, p.4).

2.6 Situación de los residuos electrónicos en Ecuador

Diversos autores estiman un aumento en los RAEE que podría generarse desde los hogares y empresas de Ecuador (Acurio Morejón, 2019; Almeida et al., 2021; Rodríguez et al., 2019; Zamora Mora, 2020). Mediante el uso de la información proporcionada en la página web de la Aduana del Ecuador, se obtuvo de acuerdo a las partidas presupuestarias los equipos electrónicos importados para consumo, las subpartidas presupuestarias de los equipos que se importan cada año, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Partidas presupuestarias según las categorías de importación de equipos electrónicos

Subpartida	Descripción arancelaria	Descripción Comercial
8471300000	Máquinas automáticas para tratamiento o procesamiento de datos, digitales, portátiles, de peso inferior o igual a 10 kg, que estén constituidas, al menos, por una unidad central de	Computador portátil / tablet

RESIDUOS ELECTRÓNICOS

Proceso, un teclado y un visualizador

8471410000	Que incluyan en la misma envoltura, al menos, una unidad central de proceso y, aunque estén combinadas, una unidad de entrada y una de salida	Computador all in one
8471490000	Las demás presentadas en forma de sistemas	Computador
8471500000	Unidades de proceso, excepto las de las subpartidas 8471.41 u 8471.49, aunque incluyan en la misma envoltura uno o dos de los tipos siguientes de unidades: unidad de memoria, unidad de entrada y unidad de salida	Servidor
8471602000	Teclados, dispositivos por coordenadas x y	Teclado
8471700000	Unidades de memoria	Disco duro
8471700000	Unidades de memoria	Dvd writer
8471800000	Las demás unidades de máquinas automáticas para tratamiento o procesamiento de datos	Computadora Personal
8528510000	De los tipos utilizados exclusiva o principalmente con máquinas automáticas para tratamiento o procesamiento de datos de la partida 84.71	Monitor
8528590000	Menor o igual a 20 pulgadas.res. 70	Monitor de vídeo de 17 pulgadas

Tomado de la página web de la Aduana del Ecuador <https://www.aduana.gob.ec/>

Según los datos proporcionados por el INEC la población en un 3% entrega los residuos electrónicos en un centro de acopio, el 6% quema o entierra los desperdicios electrónicos, un 15% los guarda, vende o regala los desperdicios electrónicos y un 76% bota sus antiguos equipos electrónicos como basura común, estos datos fueron proporcionados por la información ambiental en hogares del año 2017 (INEC, 2017a), se debe considerar estos aspectos para promover políticas que permita realizar un manejo adecuado de la basura electrónica.

En Ecuador, el principal organismo gubernamental encargado de legislar y supervisar los residuos electrónicos y los COP, es el Ministerio de Medio Ambiente, Agua y Transición Ecológica

(MAATE). Los municipios son los encargados de la gestión de los residuos en su jurisdicción (incluidos los residuos electrónicos) y realizan campañas dirigidas a los consumidores.

Los principales actores involucrados en el sector de los residuos en el Ecuador y sus funciones se describen en la tabla 6.

Tabla 6. Actores involucrados en el sector de los residuos en el Ecuador

Partes interesadas	Responsabilidad
Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE)	La autoridad ambiental del Ecuador, que ejerce efectiva y eficientemente el papel rector de la gestión ambiental para asegurar un ambiente sano y equilibrado desde el punto de vista ecológico, como una manera de hacer del país una nación que conserva y utiliza de manera sostenible su biodiversidad, manteniendo y mejorando su calidad ambiental.
Servicio Nacional de Aduana del Ecuador (SENAE)	El Servicio Nacional de Aduana se centra en servir a los usuarios con integridad y compromiso en la gestión pública a fin de fomentar la competencia y mantener al mismo tiempo un equilibrio entre el control efectivo y la facilitación del comercio.
Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca	Ministerio centrado en fomentar el desarrollo productivo, mejorar la competencia y desarrollar las inversiones.
Comité de Comercio Exterior (COMEX)	El Comité de Comercio Exterior (COMEX) es el órgano que aprueba las políticas públicas nacionales en materia de política comercial. Es un órgano colegiado público intersectorial encargado de regular todas las cuestiones y procesos relacionados con la política comercial.
Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)	El instituto se centró en el aumento de la infraestructura de calidad en la normalización, la reglamentación técnica y la evaluación de la conformidad orientada al desarrollo de los sectores productivo y de servicios.
Cámaras de Comercio del Ecuador	Las Cámaras de Comercio dirigen la comunidad empresarial y promueven un entorno empresarial eficiente para el desarrollo del país.
Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC)	El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador coordina, regula y evalúa la producción de información estadística oficial del sistema estadístico nacional mediante la planificación, ejecución, y análisis de operaciones estadísticas oportunas y fiables, así como la generación de estudios especializados que contribuyan a la toma de decisiones públicas y privadas y a la planificación nacional.

Con sus respectivos sistemas de cumplimiento, los productores/importadores de AEE contribuyen a la correcta gestión de los residuos electrónicos a través del sistema de

responsabilidad ampliada del productor. Las responsabilidades generales de los productores que comercializan AEE (y de los importadores, que a menudo se definen como productores en la legislación) consisten en crear una infraestructura para la recogida y el tratamiento/reciclaje de los residuos, y los productores suelen contar con mecanismos de financiación impuestos por la ley para garantizar que, en última instancia, cubren los costes necesarios para la descontaminación y el reciclaje.

En la actualidad, el país cuenta con pequeñas y medianas instalaciones de reciclaje y tratamiento en las que se procesan o recuperan los residuos electrónicos. Algunas de estas instalaciones aceptan y reciclan todas las categorías de residuos electrónicos, mientras que otras son más específicas. La mayoría de los operadores de residuos electrónicos (gestores de residuos electrónicos) autorizados para realizar la gestión de residuos electrónicos tienen funciones adicionales, como la recogida, el transporte, el reacondicionamiento, el desmantelamiento/recuperación, el almacenamiento, la recuperación parcial, el reciclaje y la exportación de todo tipo de equipos electrónicos.

Los operadores de residuos electrónicos o los centros de recuperación autorizados pueden recibir los residuos electrónicos a través de múltiples canales, como las campañas de recogida, directamente de los consumidores, de otros distribuidores/recolectores autorizados y de los municipios (recogidos tras una previa recogida selectiva en los hogares).

Los operadores de residuos electrónicos de la región se centran generalmente en la recogida y el embalaje de los residuos electrónicos para su posterior exportación y el desmantelamiento de los equipos para obtener fracciones valiosas como metales ferrosos y no ferrosos, placas de circuitos impresos y plástico.

Por ejemplo, los operadores de residuos electrónicos suelen desmontar/desmantelar los residuos electrónicos y separar las partes valiosas (por ejemplo, las placas de circuitos) de las que no tienen valor. Las piezas valiosas se venden en el país (aluminio,

hierro, etc. a fundiciones) o se almacenan en contenedores, y una vez que se acumulan suficientes materiales (como placas de circuitos, baterías, etc.), se exportan a Estados Unidos o a otros países para su procesamiento. Las piezas sin valor suelen eliminarse con la basura doméstica.

En la actualidad, Ecuador cuenta con cinco empresas registradas para gestionar los residuos electrónicos. Sin embargo, no dispone de instalaciones para el tratamiento de los COP contenidos en los plásticos de los residuos electrónicos (por ejemplo, PCB y retardantes de llama bromados [BFR]). Los residuos electrónicos de plástico suelen triturarse y eliminarse en vertederos.

Existe en el país una empresa que separa los plásticos bromados y no bromados de los residuos electrónicos y elimina sus PCB en celdas de seguridad en los vertederos. Como parte del Proyecto de Residuos Electrónicos en América Latina (PREAL), actualmente se están realizando estudios para evaluar la gestión de los COP contenidos en los plásticos de los RAEE, en particular la evaluación de la capacidad y viabilidad de las instalaciones de tratamiento para gestionarlos en diferentes países.

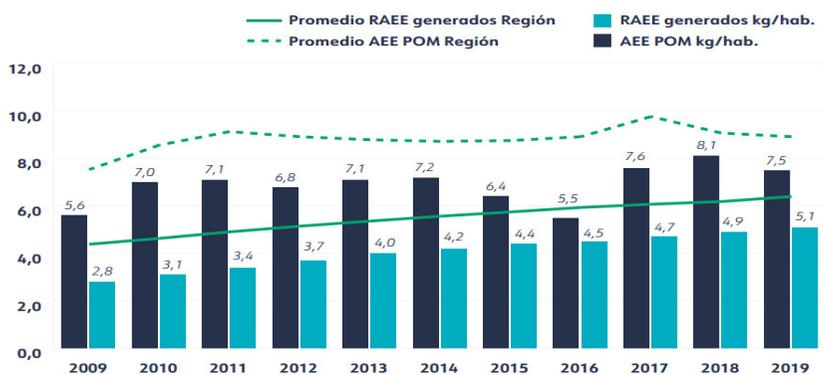
En el año 2022 se publicó el informe de Monitoreo regional de los residuos electrónicos para América Latina, resultados de los trece países participantes en el proyecto UNIDO-GEF 5554 (Wagner et al., 2022). Según este informe actualmente no se están recopilando estadísticas sobre RAEE en el Ecuador. El Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) elaboró una base de referencia para cuantificar la generación de RAEE en el Ecuador en 2015. No obstante, antes de 2010, la información sobre las importaciones y exportaciones de AEE no se llevaba a cabo sistemáticamente en el país.

Sin embargo, la información oficial está disponible a nivel nacional en el Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Industrias y Pesca (MPCEIP), MAATE y el Servicio Nacional de Aduana del Ecuador (SENAE). Las estadísticas ecuatorianas no diferencian entre equipos nuevos o usados importados y exportados. Además, el SENAE procesa y almacena la información

sobre las importaciones y exportaciones tomando como referencia el peso bruto de los AEE (es decir, incluyendo el peso del envasado); no diferencian entre el peso de los aparatos y el peso de los envasados. Por tanto, se utilizó el peso bruto total de los AEE para calcular los aparatos puestos en el mercado y los RAEE generados.

El Ecuador no tiene una industria de fabricación de aparatos electrónicos, pero tiene empresas que ensamblan y reparan aparatos. El análisis de la información del período 1996-2020 se llevó a cabo utilizando la información proporcionada por el MAATE, como ilustra la Figura 5.

Figura 5. AEE puestos en el mercado (POM) y RAEE generados en el Ecuador

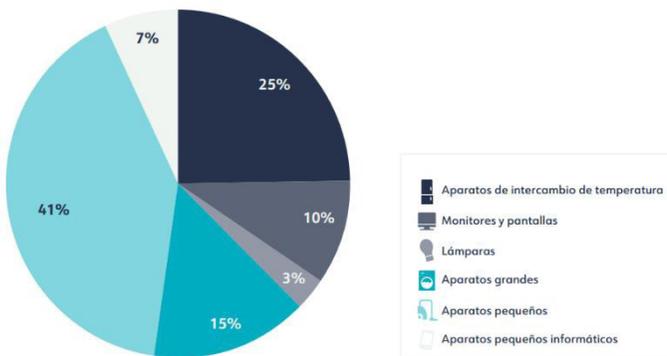


Tomado de: Wagner, M., Baldé, C. P., Luda, V., Nnorom, I. C., Kuehr, R., & Iattoni, G. (2022). Monitoreo regional de los residuos electrónicos. https://residuoselectronicosal.org/wpcontent/uploads/2022/01/REM_LATAM_2022_ESP_Final.pdf.

Según los datos proporcionados por el MAATE, la cantidad de AEE comercializados (POM) en Ecuador fue de 129,9 kt (7,5 kg/habitante) en 2019. La Figura 5 muestra que la cantidad de AEE POM ha aumentado en la última década, pasando de 5,6 kg/habitante (82,1 kt) en 2009 a 7,5 kg/habitante (129,9 kt) en 2019. En comparación con el promedio regional, tanto la cantidad de AEE como de RAEE de la POM generados es menor que en el resto de América Latina.

En las categorías de MOE de la UE-6, los pequeños electrodomésticos (Cat. V con 3,1 kg/hab), los equipos de intercambio de temperatura (1,9 kg/hab, Cat. I) y los grandes electrodomésticos (Cat. IV con 1,1 kg/hab) registran el mayor porcentaje (80% del total). Las lámparas (Cat. III con 0,2 kg/hab) y las pantallas (Cat. II con 0,7 kg/hab) tienen el porcentaje más bajo (Figura 6). El porcentaje de las categorías EU-6 lo calculan sobre la masa total.

Figura 6. Porcentajes de las categorías UE-6 en los AEE (2019)



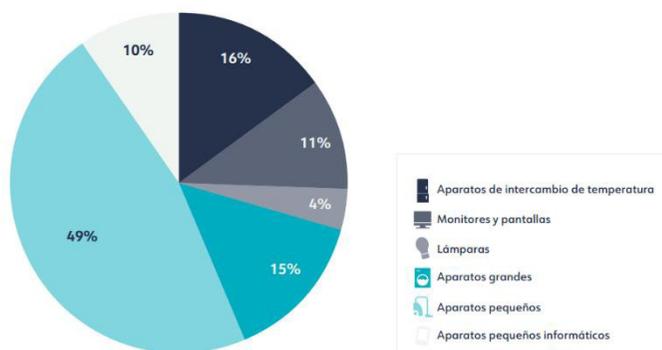
Tomado de: Wagner, M., Baldé, C. P., Luda, V., Nnorom, I. C., Kuehr, R., & Iattoni, G. (2022). Monitoreo regional de los residuos electrónicos. https://residuos electronicosal.org/wpcontent/uploads/2022/01/REM_LATAM_2022_ESP_Final.pdf.

Ecuador principalmente importa AEE. Según datos del MAATE, Ecuador exportó solo 1,64 kt (0,10 kg/hab) de AEE en 2019, mientras que importó 130,79 kt (7,68 kg/hab). La mayor parte de los equipos exportados correspondieron a frigoríficos, equipos de vigilancia doméstica y equipos de refrigeración profesional. La mayoría de los equipos importados fueron lavadoras, juguetes electrónicos y televisores de pantalla plana. Los RAEE generados aumentaron significativamente de 2,8 kg/habitante (41,8 kt) en 2009 a 5,1 kg/habitante (87,6 kt) en 2019.

El análisis de la serie temporal de la generación de residuos electrónicos en las categorías de la UE-6 muestra que aumentan linealmente a lo largo de los años. En 2019, los pequeños aparatos informáticos (Cat. VI) tuvieron el mayor porcentaje con 40,6 kt

(equivalente a 2,3 kg/habitante), seguido de los equipos de intercambio de temperatura (Cat. I) con 13,9 kt (equivalente a 0,8 kg/habitante) y los grandes aparatos (Cat. IV) con 12,4 kt (equivalente a 0,7 kg/habitante) (Figura 7).

Figura 7. Porcentaje de las categorías UE-6 en los residuos electrónicos generados (2019)



Tomado de: Wagner, M., Baldé, C. P., Luda, V., Nnorom, I. C., Kuehr, R., & Iattoni, G. (2022). Monitoreo regional de los residuos electrónicos. https://residuoselectronicosal.org/wpcontent/uploads/2022/01/REM_LATAM_2022_ESP_Final.pdf.

Ecuador cuenta con cinco instalaciones de tratamiento, situadas en Quito y Guayaquil, para todas las categorías con una capacidad anual de 6.000 toneladas. Un total de 3.000 t/año de residuos electrónicos son tratados por el sector oficial.

La legislación ambiental vigente prohíbe la disposición de los RAEE en los vertederos municipales. Según la información obtenida del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), Ecuador cuenta con cinco instalaciones de tratamiento con una capacidad anual combinada de 20.000 toneladas. Sin embargo, según los informes presentados al MAATE por las plantas y operadores de reciclaje oficiales en 2016, se tratan oficialmente 3.000 t de RAEE al año. Además, un estudio preliminar elaborado en el marco del proyecto PREAL indicó que la tasa de recogida ha sido constante a lo largo de los años. De las cinco plantas identificadas como gestoras de RAEE, dos representan aproximadamente el 80-85% de los RAEE recogidos.

En Ecuador no se han elaborado estudios ni estadísticas para cuantificar la cantidad de RAEE tratados por el sector informal. El sector informal suele recoger los RAEE puerta a puerta. Desmontan los aparatos para extraer las partes valiosas que se llevan a las instalaciones locales de tratamiento, y las partes menos valiosas se eliminan de manera informal en los vertederos. No se conocen asociaciones o alianzas entre el sector formal y el informal.

Las iniciativas de voluntariado para el reciclaje de RAEE se llevan a cabo a través de los municipios que realizan campañas de consumo. A lo largo de los años, se han llevado a cabo algunas campañas de sustitución de frigoríficos y lámparas obsoletas por otras más eficientes. Además, los operadores de telefonía realizan campañas de consumo de acuerdo con el Acuerdo Ministerial 191. En el pasado, el MAATE, a través del Programa Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PNGIDS), colaboró con diversos actores en la recuperación y reciclaje de teléfonos celulares.

Actualmente, Ecuador está desarrollando normas técnicas e iniciativas de cooperación nacional y regional para la gestión ambientalmente racional de los COP en los desechos electrónicos. En el país se tiene una fuerte cultura de reparación, y existen varios talleres de reparación en el país, especialmente de electrodomésticos. Los aparatos electrónicos usados desechados que aún son aptos para su reutilización se venden principalmente como aparatos de segunda mano.

El plástico derivado de los RAEE se separa por tipo (por ejemplo, PP, ABS, PC, etc.) y por plástico que contiene PCB. Según cuestionarios y entrevistas (Wagner et al., 2022), el Ecuador cuenta con una empresa que separa los plásticos bromados y no bromados de los RAEE. Sin embargo, no dispone de una planta de tratamiento capaz de reciclar el plástico, por lo que se tritura y se exportan sin tratamiento previo. Actualmente se están realizando estudios para evaluar la viabilidad de reutilizar el plástico en el Ecuador o darle una disposición final adecuada.

Existen varias alternativas que el país podría adoptar para mejorar la gestión; como, por ejemplo, incluir al sector informal

dentro de la cadena de gestión de los desechos electrónicos, lo cual contribuye a mejorar su bienestar, al mismo tiempo que se incrementa la tasa de reciclaje de este tipo de residuos. (Bermeo et al., 2019, p.29) Asimismo se deberían fomentar las certificaciones internacionales para garantizar que se apliquen las mejores técnicas disponibles e implementar sistemas de recolección y esquemas de toma de datos, de la mano del gobierno central y los municipios.

Hasta el momento el país ha adoptado la estrategia de educación ambiental a través de la campaña "conéctate con el planeta", la cual tuvo como objetivo sensibilizar y capacitar a las instituciones públicas sobre el manejo de los RAEE. Al mismo tiempo, se lograron acuerdos con el sector público y privado, entre ellos Telefónica, con el objetivo de promover la concientización y capacitación en la población sobre el manejo adecuado de los residuos electrónicos, incluyendo los celulares en desuso, así como promover el reciclaje y la educación ambiental (MAE, 2019).

Ecuador enfrenta retos en materia de educación ambiental, ya que actualmente presenta una limitada conciencia ambiental sobre los residuos electrónicos (Venegas et al., 2020, p.500-501), además de la ausencia de la gestión de los residuos electrónicos en la agenda política a nivel nacional y local, junto con la falta de presupuestos para estos temas imposibilita la creación de un sistema de gestión de RAEE, trabajar en un marco legislativo adaptado a la dinámica del gobierno y una regulación específica de los RAEE alineada con la REP del productor (Venegas et al., 2020, p.497).

2.7 Marco legal nacional relacionado con los RAEE

La República del Ecuador cuenta con un amplio marco legal y normativo relacionado con los residuos peligrosos y químicos, incluyendo leyes secundarias específicas relacionadas con los RAEE y, en particular, con los teléfonos celulares.

Entre los principales instrumentos legales y reglamentarios relacionados con los residuos electrónicos, se destacan los siguientes:

- Acuerdo Ministerial No. 026 "Procedimientos para el registro de generadores de residuos peligrosos, el manejo de residuos peligrosos previo al licenciamiento ambiental y para el transporte de materiales peligrosos" publicado en el Diario Oficial No. 334 del 12 de mayo de 2008 (Finder, 2012).
- Acuerdo Ministerial No. 142 "Listado Nacional de Sustancias Químicas Peligrosas y Residuos Peligrosos", publicado en el Diario Oficial No. 856 de 21 de diciembre de 2012.
- Acuerdo Ministerial N.º 190 "Política Nacional de Posconsumo de Equipos Eléctricos y Electrónicos en Desuso", publicado en el Diario Oficial del 29 de enero de 2013.
- Acuerdo Ministerial N.º 191 "instructivo para la aplicación del principio de responsabilidad ampliada establecido en el reglamento para la prevención y control de la contaminación por sustancias químicas peligrosas, residuos peligrosos y especiales, para equipos celulares en desuso" publicado en el Diario Oficial 29/01/2013 (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2021).
- Código Orgánico del Ambiente (COA) publicado en el Suplemento del Registro Oficial N° 983 del 12 de abril de 2017.
- Reglamento del Código Orgánico Ambiental, Decreto N° 752, publicado en Gaceta Oficial N° 507 del 12 de junio de 2019 (Gobierno del Ecuador, 2019).

El Código Orgánico del Ambiente (COA) de 2017 consolida el marco normativo ambiental nacional en un solo documento (Serrano, 2018). Su objetivo es garantizar y proteger el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. El Código también regula varias cuestiones ambientales a nivel nacional. El título IV del tercer libro sobre la calidad del medio ambiente establece los principios para la gestión nacional integrada de los productos químicos (CEERS, 2019).

Los RAEE están regulados en el Reglamento del Código Orgánico del Ambiente, Decreto N° 752, publicado en la Gaceta Oficial N° 507 del 12 de junio de 2019. El Título VI detalla en

profundidad la gestión integral de las sustancias químicas. El Título VII detalla la gestión integral de desechos y residuos. El Título VIII detalla la responsabilidad ampliada del productor y el Título IX detalla la producción y el consumo sostenible (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2021).

Entre otras metas, el Plan Nacional de Desarrollo de Ecuador 2017-2021(114) tiene como uno de sus objetivos implementar sistemas de gestión integral de pasivos ambientales, residuos sólidos, descargas líquidas y emisiones atmosféricas, así como de residuos tóxicos y peligrosos. También establece como meta en 2021 aumentar el reciclaje global de residuos sólidos del 17% al 35% (del total de residuos generados) (Gobierno del Ecuador, 2017).

En diciembre de 2012, Ecuador introdujo un esquema de REP para los productores e importadores de AEE. En 2013 se publicó en el Registro Oficial la Política Nacional de Posconsumo de Aparatos Eléctricos y Electrónicos en Desuso, con el objetivo de regular la gestión de los aparatos eléctricos y electrónicos. Introduce el sistema REP dirigido a los productores e importadores de aparatos eléctricos y electrónicos (artículos 2 y 4).

El Acuerdo Ministerial N° 191 de 2013 especifica la aplicación del sistema REP en lo que respecta a la gestión de teléfonos celulares y establece un porcentaje anual de reciclaje del 3% del total de teléfonos celulares puestos en el mercado durante el año regulatorio. Con respecto a los COP, Ecuador mantiene listas de materiales y sustancias químicas peligrosas que requieren permisos específicos.

El Acuerdo Ministerial No. 026 de 2008 establece que toda persona (natural, jurídica, nacional o extranjera) que genere o maneje residuos peligrosos o transporte materiales peligrosos en el Ecuador debe obtener la autorización respectiva del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), con base en los procedimientos definidos en los Anexos de este Acuerdo Ministerial (A, B y C, respectivamente) (CEERS, 2019).

El Acuerdo Ministerial No. 142 incluye la lista de sustancias químicas peligrosas prohibidas con toxicidad aguda y crónica

(Anexo A). En el Anexo B del Acuerdo Ministerial se detallan los desechos peligrosos por fuentes específicas y no específicas, y en el Anexo C se presenta la lista nacional de desechos especiales.

En el futuro, Ecuador clasificará los aparatos eléctricos y electrónicos en seis categorías. Como resultado de la implementación del proyecto PREAL² y del desarrollo del proyecto de norma técnica, se establecerá la siguiente clasificación de AEE:

- Aparatos de intercambio de temperatura.
- Monitores, pantallas y aparatos con una superficie de pantalla superior a 100 cm².
- Aparatos grandes (con una dimensión externa superior a 50 cm).
- Aparatos pequeños (con una dimensión exterior inferior a 50 cm).
- Pequeños aparatos de informática y telecomunicaciones (con una dimensión exterior inferior a 50 cm).
- Paneles fotovoltaicos.

Ecuador cuenta con una normativa de seguridad e higiene ambiental en materia de productos químicos y residuos peligrosos. El Código Orgánico del Ambiente establece los procedimientos para obtener los diferentes permisos ambientales. El permiso requerido dependerá de la actividad y su impacto ambiental. La autoridad suprema es el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), que velará por el establecimiento de procedimientos y permisos para garantizar estrictas normas ambientales (Serrano, 2018).

El Decreto Ejecutivo 2393 "Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores", promulgado con el Registro Oficial 565 del 17 de noviembre de 1986 (modificado por última vez en 2003), fue aprobado con el objetivo de prevenir, reducir o eliminar los riesgos laborales. El capítulo V trata de los riesgos ambientales y laborales debidos a factores físicos, químicos y biológicos, mientras que el capítulo VII se centra en las condiciones de seguridad en el trabajo

² Residuos Electrónicos América Latina

durante la manipulación, almacenamiento y transporte de mercancías peligrosas (CEERS, 2019).

El Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) ha emitido las siguientes normas técnicas sobre productos químicos peligrosos:

- NTE INEN 2288 Productos químicos industriales peligrosos. Etiquetado precautorio. Requisitos en el año 2000.
- NTE INEN 2266 Transporte, almacenamiento y manipulación de materiales peligrosos. Requisitos en 2013 (CEERS, 2019).

El Ecuador carece de legislación específica respecto de la exportación de residuos peligrosos y otros residuos en relación con la eliminación final. Sin embargo, el artículo 646 del Reglamento al Código Ambiental Orgánico establece que para la exportación de residuos o desechos peligrosos y/o especiales, puede obtenerse un permiso de exportación emitido por la Autoridad Ambiental Nacional, siempre que se cumplan los siguientes requisitos, según aplique:

- a) Que el exportador cuente con la autorización administrativa ambiental correspondiente de su actividad, otorgada por la Autoridad Ambiental Competente.
- b) Que el exportador cuente con el registro de generador de residuos o desechos peligrosos y/o especiales.
- c) Que el exportador cuente con el seguro, fianza o garantía correspondiente que cubra daños y perjuicios que pudiera ocasionar al ambiente o las personas, así como la reimportación o alternativas gestión ambientalmente racional de los residuos o desechos en los casos en los que no pueda completarse el movimiento transfronterizo por cualquier razón.
- d) Que el envasado, la identificación y la transportación se realicen de conformidad con lo establecido en normas nacionales e internacionales
- e) Que las autoridades competentes del país importador y de los países de tránsito, hayan aprobado la importación o indiquen su no objeción a la misma.

- f) Otros que determine la Autoridad Ambiental Nacional.

Si los residuos peligrosos contienen material radiactivo, deben cumplirse los requisitos establecidos por la autoridad reguladora de radiación y las normativas aplicables. En el caso de los residuos peligrosos, deben cumplirse los requisitos del mecanismo de notificación y consentimiento previos establecidos en el Convenio de Basilea. En el Ecuador no se permiten las importaciones de residuos peligrosos para su recuperación y eliminación final ni para ningún otro propósito.

El Ecuador es Parte de los Convenios de Basilea, Rotterdam y Estocolmo, y ha implementado la enmienda de prohibición de Basilea. También ha ratificado el Convenio de Minamata sobre el Mercurio.

En virtud del artículo 15, la Constitución del Ecuador de 2008 prohíbe, entre otras cosas, la importación de COP, agroquímicos internacionales y tecnologías nocivas, así como la importación de residuos tóxicos y nucleares en el territorio nacional. Además, como parte de sus anexos, el Acuerdo Ministerial 142 (AM 142) contiene un listado de sustancias prohibidas que incluye PBDE.

La Constitución del Ecuador y el Código Orgánico Ambiental prohíben la introducción de COP y otros residuos peligrosos en el país, con la excepción de sustancias o materiales utilizados exclusivamente para uso en laboratorio. No existe una legislación específica para la exportación relacionada con la eliminación final, pero existen restricciones relacionadas con la exportación en general.

El MAATE permitirá la exportación de residuos peligrosos, siempre que:

1. el exportador haya obtenido la licencia ambiental otorgada por el MAATE;
2. el envasado, la identificación y el transporte se realicen cumpliendo con la ley, las guías técnicas y las prácticas internacionales establecidas;

3. la autoridad ambiental del país importador haya autorizado la importación;
4. el exportador incluya el seguro correspondiente que cubra los daños potencialmente causados al medio ambiente o a las personas jurídicas y naturales.

El MAATE no permitirá la exportación de residuos peligrosos en los siguientes casos:

1. Si los residuos pueden reciclarse o reutilizarse dentro del país en condiciones ambientales seguras.
2. Si los residuos peligrosos pueden tener una eliminación final técnicamente adecuada en el país.
3. Si la entidad intentó exportar los residuos a lugares más alejados de los 60 grados de latitud sur.
4. Si la exportación se realiza a estados que, por ley, hayan prohibido la importación de residuos peligrosos.
5. Si la exportación se realiza a un estado que no pueda demostrar que manejará adecuadamente los residuos.
6. Si la exportación se realiza a estados que no forman parte del Convenio de Basilea, a menos que exista un acuerdo bilateral o multilateral con dichos estados.
7. Si las condiciones de su transporte a través del territorio nacional implican riesgos inaceptables.

El Ecuador no ha presentado informes anuales al Convenio de Basilea para 2018 y 2019, por lo que no se notificaron exportaciones de RAEE, PCB y mercurio en esos años. En 1998, el Ecuador aplicó la Enmienda de Prohibición del Convenio de Basilea, restringiendo en parte la exportación de residuos peligrosos y otros residuos para su eliminación final (como se describe en el Anexo IV A del Convenio de Basilea).



CAPÍTULO 3. APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ELECTRÓNICOS

Mientras que muchos países intentan gestionar los residuos sólidos municipales, la planificación de la gestión de los residuos electrónicos suele ser ignorada. Las instalaciones de reciclaje y tratamiento de los residuos electrónicos requieren grandes inversiones de capital, pero pocos países asignan presupuestos a la gestión de los residuos electrónicos.

En la mayoría de los países en desarrollo, los residuos electrónicos se tratan y gestionan de manera informal y no autorizada. Gran parte de la población de los países en desarrollo sigue sin conocer los residuos electrónicos, las políticas, normas y reglamentos pertinentes, y su gestión, debido a la falta de aplicación de la legislación vigente.

En los países en vías de desarrollo, la aplicación de un marco legal para la RPA suele ser inexistente y descuidada. La escasa atención administrativa y las tecnologías ineficaces dificultan a muchos países en desarrollo la creación de unidades formales de reciclaje de residuos electrónicos. A muchos recicladores les resulta difícil obtener una certificación industrial para el reciclaje responsable, como el programa de certificación E-Stewards, que proporciona directrices para el reciclaje y la eliminación seguros de los residuos electrónicos.

Un sistema de desarrollo sostenible unido a la gestión de los residuos electrónicos puede desempeñar un papel crucial en la consecución de los objetivos mundiales de desarrollo sostenible para 2030, incluida la reducción de las muertes y las complicaciones de salud debidas a la composición peligrosa y tóxica de los residuos electrónicos y a la exposición al medio ambiente circundante; entornos de trabajo seguros y protegidos, en particular para las mujeres y los niños; reducción de las amenazas medioambientales derivadas de la contaminación del aire por la quema al aire libre, la contaminación del agua por la lixiviación ácida y química, y la contaminación del suelo por los efluentes tóxicos y el vertido de residuos; y fomento del consumo y la producción responsables de recursos.

Transformar a los actores informales en microempresarios puede ayudar a alcanzar objetivos como la buena salud y el bienestar, las oportunidades de empleo, el crecimiento económico y las ciudades y comunidades sostenibles. Son necesarias campañas de concienciación eficaces para ofrecer una visión a los trabajadores sobre las consecuencias de los residuos electrónicos.

Una hoja de ruta sostenible para un sistema de gestión de residuos electrónicos exitoso puede adaptarse para salvar las diferencias existentes entre los sectores de reciclaje formal e informal, crear entornos sostenibles y resistentes, mejorar la salud y la seguridad laboral y ampliar las oportunidades de negocio y de empleo.

3.1 Gestión sostenible de los residuos electrónicos

Los retos de la gestión de los residuos electrónicos surgen de la falta de conocimientos técnicos, la escasa infraestructura, el apoyo financiero inadecuado y el compromiso inactivo de la comunidad. Este estudio ofrece una revisión sistemática de los esfuerzos para superar estos retos en el contexto de los protocolos de reciclaje inadecuados de los residuos electrónicos y sus efectos tóxicos en la salud humana y el medio ambiente.

Un inventario de productos electrónicos al final de su vida útil, que puede establecerse mediante la creación de un régimen

normativo de reciclaje respetuoso con el medio ambiente, es esencial para el control adecuado de los residuos electrónicos. Se ha articulado un enfoque para ayudar a aplicar una gestión eficaz de los residuos electrónicos tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. Se espera que la aplicación de medidas sistemáticas de gestión de los desechos electrónicos en los países en desarrollo, junto con las mejores prácticas, minimice los impactos adversos y contribuya a mantener un medio ambiente sostenible y resistente.

La gestión eficaz de los residuos electrónicos requiere una combinación de políticas y estrategias de cuna a cuna (Adanu et al., 2020). La perspectiva de estas intervenciones estratégicas debe estar asociada a la disponibilidad tecnológica periférica, a la asequibilidad económica y social, al entorno sostenible y resistente y a la concienciación de los consumidores.

Sobre la base de las prácticas de gestión actuales, una hoja de ruta sostenible junto con la intervención estratégica (por ejemplo, (i) el enfoque del principio de precaución, (ii) la evaluación integral de las operaciones de residuos, (iii) la colaboración estratégica y la creación de equipos, (iv) la aplicación y las modificaciones de las normas y la legislación, y (v) el seguimiento y la presentación de informes son cruciales para un plan eficaz de gestión de los residuos electrónicos.

La disponibilidad de tecnologías periféricas asociadas a la gestión de los residuos electrónicos, (como la hidrometalurgia, la pirometalurgia y las prácticas informales) deben ser intervenidas con enfoques sostenibles y rentables. La biohidrometalurgia es una de las mejores alternativas de estos métodos que pueden considerarse para restringir el flujo de metales pesados al medio ambiente. Las otras tecnologías asociadas implican los enfoques del principio de precaución, es decir, el diseño de productos de AEE respetuosos con el medio ambiente y la conversión del valor de los residuos (Arya y Kumar, 2020).

El primero es un primer paso hacia la creación de una hoja de ruta sostenible para la extracción urbana segura y eficiente de los

residuos electrónicos. La creación de una La evaluación exhaustiva de una operación de residuos debe abarcar la recogida, las fuentes secundarias y la segregación adecuada.

Un estudio (Forti et al., 2020) descubrió que sólo se recogía el 17,4% de los residuos electrónicos y que el 82,6% se abandonaba, lo que indica la existencia de importantes lagunas en el marco de la legislación sobre gestión de residuos electrónicos. Por lo tanto, una hoja de ruta sostenible para la recogida efectiva de los residuos electrónicos sólo puede lograrse mediante el reparto de responsabilidades entre todas las partes interesadas.

Las relaciones recíprocas entre fabricantes, productores, mayoristas, consumidores, comerciantes y recicladores deben considerarse bajo la supervisión de los organismos reguladores gubernamentales. El reciclaje, la recuperación de recursos, la reutilización de los aparatos funcionales desechados y la eliminación final deben incluirse en el sistema bajo los auspicios de los organismos gubernamentales y funcionales del país.

Las políticas, como la EPR³, y la responsabilidad ampliada del consumidor (ECR), la tasa de reciclaje anticipada (ARF) y el crédito fiscal deberían reforzarse en la legislación para fijar las responsabilidades obligatorias de los consumidores hacia los aparatos desde el momento de la compra hasta el EoL ⁴(Arya y Kumar, 2020).

Los organismos locales urbanos también son actores cruciales en la recogida, el tratamiento, el transporte y el almacenamiento sistemáticos de los residuos electrónicos. El modelo SWICO/S.EN-S de Suiza es un sistema de reciclaje de residuos electrónicos basado en un ARF en el que la recogida de residuos electrónicos va acompañada de registros exhaustivos tanto de los AEE adquiridos como del momento en que un producto queda obsoleto tras una vida útil media (Streicher-Porte, 2006).

³ Exposición con prevención de respuesta

⁴ Fin de vida útil. End of Life (EoL) por sus siglas en inglés

El transporte de los residuos electrónicos es un reto importante debido a la cantidad no identificada de residuos electrónicos generados y recogidos en las ciudades. Los residuos electrónicos de los países desarrollados se transportan a los países en desarrollo, donde a menudo se almacenan en condiciones deficientes. Debido a la estricta legislación, que prohíbe el movimiento transfronterizo de los residuos electrónicos en muchos países, el comercio se está interrumpiendo.

El transporte sostenible de los residuos electrónicos puede lograrse estableciendo canales adecuados de recogida y estaciones de transferencia similares a los utilizados para los residuos sólidos urbanos. Los fabricantes, los recicladores y los consumidores desempeñan un papel crucial a la hora de permitir un transporte fluido y seguro de los residuos electrónicos generados en una ciudad mediante la aplicación de normativas.

El sector informal sigue participando activamente en el transporte de residuos electrónicos sin el beneficio de vehículos específicos ni de la protección reglamentaria. La formalización de los sectores informales es un enfoque importante para mantener la asequibilidad socioeconómica. Por ejemplo, un enfoque seguro y de trabajo intensivo para el reciclaje puede llevar a la recuperación manual de metales y no metales, incluyendo vidrio, plásticos, cerámica, aluminio, acero y cables de cobre. Los materiales recuperados pueden devolverse fácilmente a los fabricantes a un precio razonable para su uso en la fabricación de otros productos, satisfaciendo los objetivos del concepto de economía circular.

Este modelo se ha desarrollado para apoyar un uso más circular de los recursos y aumentar la longevidad de los productos en general mediante la aplicación de un enfoque de 4 R para la gestión de los residuos electrónicos en circuitos cerrados. Requiere agencias fiables y autorizadas y un marco normativo que garantice una gestión sostenible.

La colaboración activa y una buena relación de trabajo entre las partes interesadas son cruciales para mantener un sistema eficaz de gestión de los residuos electrónicos. Debido a la escasa aplicación

de las normas y la legislación (Awasthi et al., 2016) y a la falta de inventarios, el sistema de gestión de los residuos electrónicos en la mayoría de los países en desarrollo no goza de los beneficios de unos planes de gestión eficaces.

El seguimiento, la documentación, la valoración y la evaluación de los sistemas de residuos electrónicos son esenciales para mantener los análisis de costes y beneficios en los que se basa el reciclaje y la recuperación del negocio de los residuos electrónicos y para evaluar los ciclos de vida en las cadenas de valor de los residuos electrónicos.

Asimismo, deben desarrollarse y adoptarse programas de concienciación para las personas que están directa o indirectamente relacionadas con las actividades de reciclaje y gestión de los residuos electrónicos. Por lo tanto, es necesario promover este tipo de iniciativas entre los responsables políticos, las autoridades locales y todas las demás partes interesadas para la aplicación de un sistema eficaz de gestión de residuos electrónicos.

3.2 Reciclaje formal

Las instalaciones formales de reciclaje de residuos electrónicos reciclan materiales reutilizables como plásticos y metales. Entre los centros de reciclaje de residuos electrónicos que funcionan en todo el mundo se encuentran las instalaciones de reciclaje de Kayser (Austria), la planta de reciclaje de Kosaka (Japón), las plantas de Metallo-Chimique N.V. (Bélgica y España), las fundiciones de Rönnskär (Suecia), las instalaciones integradas de fundición y refinado de Umicore (Hoboken, Bélgica) y la operación de Noranda (Quebec, Canadá) (Ceballos y Dong, 2016; Khaliq et al., 2014).

Las principales etapas del reciclaje formal de los residuos electrónicos son la recogida, el preprocesamiento, el postprocesamiento y la eliminación. Los residuos electrónicos pueden recogerse a través de programas de conducción y planes de devolución y comprarse a traperos. El preprocesamiento hace que los desechos electrónicos sean más homogéneos al agrupar los materiales de un tipo similar, seguido del fraccionamiento de los metales refinados (Ashiq et al., 2019).

Tras el preprocesamiento, los elementos valiosos (por ejemplo, los metales preciosos) de los grupos homogéneos se extraen mediante métodos térmicos, químicos y metalúrgicos (por ejemplo, hidrometalurgia, pirometalurgia, electrometalurgia y biometalurgia), o una combinación de dos o más procesos (Arya y Kumar, 2020).

Se ha empleado una lista de métodos mecánicos (por ejemplo, trituración, separación magnética, separación por corrientes de Foucault, molienda de bolas y separación por gravedad) para hacer la separación entre las fracciones metálicas y no metálicas de los residuos de circuitos impresos (WPCB) (Kaya, 2018).

El uso de la trituración/trituración es favorable para reducir el tamaño de las partículas de los WPCB para las operaciones sucesivas. El metal ferroso puede recuperarse de las partes trituradas de los WPCB utilizando imanes permanentes. La separación por corrientes de Foucault se utiliza para desviar la fracción metálica no ferrosa de los PCB triturados induciendo corrientes de Foucault alternas para crear una fuerza de repulsión para la separación de las partículas metálicas no ferrosas (Zheng et al., 2017).

La separación por gravedad es el método más eficaz para clasificar las fracciones metálicas y no metálicas de los WPCB triturados utilizando el movimiento relativo de las partículas basado en la gravedad. El proceso de molienda de bolas se utiliza preferentemente para la extracción de metales preciosos (Chen et al., 2020). Se considera que un desmantelamiento manual sistemático de los residuos electrónicos es la mejor manera de evitar enormes costes de capital (por ejemplo, la instalación de la tecnología, la eficiencia de la recuperación de materiales y otros costes de operación y mantenimiento) (Awasthi et al., 2017).

Entre los métodos de posprocesamiento metalúrgico, los procesos hidrometalúrgicos lixivian los metales de los residuos electrónicos utilizando soluciones ácidas (por ejemplo, ácido nítrico, ácido clorhídrico, ácidos sulfúricos fuertes y agua regia) (Ashiq et al., 2019). El proceso consiste principalmente en la

lixiviación (solubilización de los metales de E-waste en lixiviados utilizando productos químicos acuosos) y la recuperación (recuperación selectiva de los metales disueltos en los lixiviados) (Sethurajan et al., 2019).

En la pirometalurgia, los E-residuos⁵ se sumergen en un baño de metal fundido (1250 °C) para recuperar los metales de valor añadido mediante la sinterización, la fundición en un horno y la incineración (Cui y Zhang, 2008; Khaliq et al., 2014). Sin embargo, este proceso produce humos de metales pesados (que contienen cadmio, plomo y mercurio) y dioxinas/furanos halogenados mixtos que se asocian con graves efectos adversos para la salud humana.

En el proceso de pirólisis, los WPCB se convierten en carbón, aceite y gases combustibles en ausencia de oxígeno a una temperatura de entre 200 °C y 600 °C durante un máximo de 10-60 minutos. Sin embargo, los subproductos (carbón, aceite y gases) contienen compuestos halogenados que actúan como contaminantes secundarios. Por lo tanto, los absorbentes como el CaCO₃ se utilizan para la eliminación de los contaminantes secundarios (Jadhao et al., 2020).

La planta de reciclaje de Umicore en Bélgica cuenta con fundidores equipados con controles de emisiones avanzados y de alto coste para reducir los riesgos que suponen las emisiones de gases (Hsu et al., 2019).

Los principales retos asociados a las prácticas de reciclaje existentes son la generación de subproductos posteriores al procesamiento (por ejemplo, residuos de desecho y efluentes ácidos) en enormes cantidades que, en última instancia, deben tratarse (por ejemplo, vertedero o incineración).

La informática verde es uno de los enfoques más novedosos para la gestión sostenible de los residuos electrónicos, es decir, la minimización de los materiales peligrosos, la aplicación de las 4R

⁵ Residuos electrónicos

(reducir, reutilizar, reciclar y recuperar) y el uso de tecnología ecológica.

Hay varias opciones para llevar a cabo la informática ecológica: 1) modos de ahorro de energía (por ejemplo, modo nocturno y modo de ahorro de batería) en los aparatos de AEE; 2) concienciación sobre la eliminación de los residuos electrónicos; 3) I+D en productos de AEE ecológicos; y 4) producción de hardware y software ecológicos (Debnath et al., 2016).

Del mismo modo, la biolixiviación es una de las opciones significativas para la recuperación sostenible de recursos de los residuos electrónicos con muchas ventajas (por ejemplo, la reducción de la liberación de gases nocivos y lixiviados en el medio ambiente). Para este proceso se utiliza una amplia gama de microorganismos, como bacterias heterótrofas, termófilas, quimiolitótrofas y hongos, aunque su aplicación se limita todavía al estudio a escala de campo debido al lento proceso de extracción.

3.3 Reciclaje informal

Los métodos no científicos y rudimentarios adoptados para la recuperación de recursos de los residuos electrónicos se denominan reciclaje informal o de patio. En este caso, las actividades de gestión de los residuos electrónicos (por ejemplo, el transporte, el procesamiento, la separación, la reparación, el reacondicionamiento y el desmantelamiento) son llevadas a cabo por personas no cualificadas de forma inadecuada.

Aproximadamente el 82,6% de los residuos electrónicos generados en el mundo se reciclan de manera informal en países como India, Ghana y China (Forti et al., 2020). Los traperos del sector del reciclaje informal desempeñan un papel importante en la reducción de la carga medioambiental de los residuos electrónicos (Chi et al., 2011).

Las principales categorías de residuos electrónicos que manejan los sectores informales son los equipos de intercambio de temperatura, los equipos grandes, las pantallas y los equipos de

tecnología de la información (Baldé et al., 2015). Japón, Australia, Nueva Zelanda, Corea del Sur, América del Norte y Europa exportan más del 80% de sus residuos electrónicos a países como China, Pakistán, India, Nigeria y Ghana, así como a otros del sudeste asiático (Visvanthan et al., 2010). La Red de Acción de Basilea (BAN) ha reforzado el seguimiento y la notificación del comercio ilegal de residuos electrónicos.

La recogida la llevan a cabo traperos locales y los restos de residuos electrónicos recogidos se venden en los barrios marginales y en los patios traseros a quienes están interesados en recuperar valiosos metales preciosos. El desmantelamiento manual a gran escala y las técnicas de reciclaje rudimentarias (por ejemplo, la fundición, el astillado, el calentamiento, el decapado y el desmantelamiento físico) reducen los volúmenes (Chi et al., 2011).

Los residuos posteriores a la recuperación (materiales no deseados) y los efluentes suelen depositarse en vertederos y se vierten en los desagües, ríos, lagos u océanos cercanos. El reciclaje de residuos electrónicos en patios traseros tiene efectos perjudiciales para el medio ambiente, ya que contamina el suelo (mediante la lixiviación de elementos tóxicos y el vertido de efluentes), el agua (vertido de efluentes ácidos, lavado de placas de circuitos, vertido de los residuos en los sistemas de drenaje cercanos) y el aire (quema abierta de placas de circuitos, emisión de humos tóxicos y partículas en suspensión).

Para extraer metales de valor añadido de los residuos electrónicos, se suele utilizar la lixiviación ácida. Las placas base, las placas de circuito impreso y los cables se sumergen en un disolvente ácido (por ejemplo, HCl, H₂SO₄, HNO₃ o agua regia) durante un periodo prolongado (Jadhav y Hocheng, 2015).

Los residuos electrónicos y el disolvente ácido se mezclan hasta que se depositan cristales de sulfato de cobre y virutas de hierro. A continuación, se drena el lodo que contiene cobre, seguido de un ciclo de intercambio de iones. Luego, se puede recuperar el cobre de la solución y el residuo se elimina sin más tratamiento (Shibayama et al., 2010). El oro y la plata también se recuperan de los residuos electrónicos mediante métodos similares.

El reciclaje y el procesamiento informal de los residuos electrónicos en los países en desarrollo, como China, la India y Ghana, han tenido graves repercusiones en el medio ambiente y la salud humana. Los principales focos de reciclaje informal de residuos electrónicos son Guiyu, Taizhou y Longtang, en China (Li y Achal, 2020; Lu et al., 2015); Delhi, Bombay, Calcuta y Moradabad, en la India (Joon et al., 2017; Kumar et al., 2018); y Agbogbloshie y Accra, en Ghana, que albergan las mayores cantidades de residuos electrónicos.

En estos países, el reciclaje suele consistir en el astillado, el desmantelamiento de los cables de fusión, la quema, el calentamiento y la lixiviación ácida para la recuperación de metales (Agyei-Mensah y Oteng-Ababio, 2012; Vaccari et al., 2019). Estas actividades liberan una gran cantidad de contaminantes al medio ambiente en forma de metales peligrosos, al medio ambiente y a la salud humana.

En 1972, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico elaboró y definió el concepto de responsabilidad ampliada del productor (RPE) y el principio de "quien contamina paga". Los principales objetivos de la RPE eran garantizar: (1) una mayor recogida, reutilización, reacondicionamiento y reciclaje de los productos de desecho electrónico para reducir los residuos en los vertederos; y (2) la responsabilidad financiera del producto a lo largo de su ciclo de vida, reduciendo al mismo tiempo el coste de fabricación de un nuevo producto.

La EPR abarca toda la vida útil de un producto, incluida la recuperación por parte del productor, los enfoques basados en el mercado del productor y el consumidor, y las normas y la economía de las cantidades. En el marco de la RPE, los fabricantes de AEE están obligados a asumir la responsabilidad del impacto ambiental de un producto durante toda su vida útil (Khajuria, 2015; Leclerc y Badami, 2020). A pesar de las importantes políticas y directivas sobre residuos, su aplicación es limitada debido a varios desafíos.

En muchos países, las políticas de gestión de residuos electrónicos están diseñadas para equipar la infraestructura, el

crecimiento económico bruto y la comunidad (por ejemplo, la recogida, el transporte, la importación y el tratamiento). Algunas de las políticas de gestión de residuos electrónicos, como la RPE, se basan efectivamente en varios factores (por ejemplo, apoyo financiero, enfoque de recuperación, tasa de reciclaje anticipada (ARF), objetivo fijado para la recogida de residuos electrónicos, restricción del uso de los residuos electrónicos, etc.).

En la recogida de residuos, la restricción del uso de materiales peligrosos (RoHS), la restricción de su importación (movimiento transfronterizo de materiales peligrosos), la regulación del vertido de residuos peligrosos y la adopción del reciclaje sostenible).

3.4 Tecnologías para el reciclaje de RAEE en Ecuador

En el año 2014, Llerena Padilla llevó a cabo un “Estudio de factibilidad para la creación de una microempresa de recolección, procesamiento y comercialización de “basura electrónica” en la ciudad de Riobamba”. En el mismo, encontró en la ciudad de Riobamba no existen empresas o microempresas dedicadas al reciclaje de "residuos electrónicos", este se realiza de manera doméstica y muy esporádica a través de campañas de reciclaje; esto garantiza la inversión en este tipo de microempresas.

Para el establecimiento de microempresas orientadas al reciclaje electrónico, es indispensable el cumplimiento de algunos requisitos legales, y en especial de la licencia ambiental, ya que se trabaja con elementos que afectan la salud y el medio ambiente.

Los criterios de evaluación financiera permitieron inferir las ventajas de la inversión y la rentabilidad del proyecto; ya que por un lado no hay competencia, y por otro, la existencia de un alto porcentaje de encuestados (63,1%) que no encuentran recicladores que puedan adquirir sus equipos electrónicos obsoletos o en desuso, lo que les generará ganancias a lo largo del período proyectado.

La inversión necesaria para el proyecto es de 5.934,38 dólares, que se financiará con el capital propio de la empresa. La falta de

recicladores de residuos electrónicos genera un problema de adquisición de equipos electrónicos obsoletos o en desuso, causando un grave impacto tanto en el medio ambiente como en la salud de la población.

En 2016, Sinaluisa Lozano propuso un modelo de gestión para el tratamiento de la basura electrónica en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Este modelo se constituyó por seis (6) componentes: marco legal, generación de RAEE, recolección y transporte, recuperación, almacenamiento temporal y monitoreo y control (Figura 8).

Figura 8. Modelo de gestión para el tratamiento de la basura electrónica en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de Sinaluisa Lozano (2016)



Tomado de: Sinaluisa Lozano, I. F. (2016). Modelo de Gestión para el tratamiento de la Basura Electrónica en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Master's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

El objetivo planteado en el modelo es promover alternativas para minimizar los residuos electrónicos mal manipulados para evitar su acumulación en las instalaciones de la Institución o peor

aún, evitar que entren en el sistema municipal de residuos, promover la valorización de los residuos electrónicos a través de la reutilización para reducir su exposición directa al medio ambiente y concienciar a la comunidad politécnica sobre la sensibilización ambiental para fomentar la correcta gestión de los residuos electrónicos y la participación activa en la protección del medio ambiente.

Las estrategias del modelo de gestión se basan en la identificación y análisis de las expectativas (objetivos) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo alineados a los requisitos legales estatales, y en función a la protección del medio ambiente.

Las directrices y procedimientos propuestos buscan una gestión integrada dirigida a las actividades relacionadas con la manipulación, la separación en origen, los puntos de recogida, el movimiento interno, el transporte y el almacenamiento temporal. Luego, seleccionar un gestor ambiental adecuado que cumpla con las características de transporte, tratamiento y disposición final de acuerdo a la normativa nacional vigente.

A través del análisis y cuantificación de los residuos, basado en el diagrama de Pareto, se concluyó que el 82% de los RAEE generados por la Politécnica son aparatos de consumo masivo de la rama de informática y telecomunicaciones pertenecientes a la categoría 3. La propuesta de mejora presentada como resultado del estudio y análisis del proceso, se centró en combatir las debilidades detectadas a través del diagnóstico realizado.

Zamora Mora (2020) en su Estudio de factibilidad para el montaje de una empresa gestora de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en la ciudad de Cuenca-Ecuador, concluye que la implementación de una planta de reciclaje de RAEE es necesaria debido a la inexistencia de una planta de similares características en la ciudad de Cuenca; la generación de residuos electrónicos crecerá exponencialmente con el paso de los años y aumentará el nivel de contaminación debido a que este tipo de residuos, una vez terminado su ciclo de vida y al entrar en contacto con elementos naturales, muchos de sus componentes comienzan a

perder sus propiedades, provocando el vertido de sustancias nocivas que dañan la salud de las personas y el medio ambiente.

El estudio de mercado estimó que a partir del año 2021 en la ciudad de Cuenca existirá una demanda potencial insatisfecha de entre 87 a 107 toneladas métricas mensuales, los precios de venta de los productos ofrecidos a los clientes fluctuarán de acuerdo al valor registrado en el mercado, además de cubrir los costos de producción y mantener un margen de utilidad para la empresa.

Esta información permitió concluir que las condiciones del mercado son favorables para la creación de una planta especializada en la gestión de este tipo de residuos. Luego de realizar el estudio técnico, se determinó que el proyecto de inversión es viable debido a que la ciudad de Cuenca-Ecuador cuenta con factores favorables para su funcionamiento, considerando que es la tercera ciudad más grande del Ecuador, lo que permitirá obtener la cantidad necesaria de materia prima para los procesos de reciclaje.

La planta tendrá un área de 1.645 metros cuadrados con una capacidad de procesamiento de 4 toneladas por día, trabajando de lunes a sábado como taller. Con base en el estudio económico-financiero, se concluyó que los ingresos esperados cubrirán los costos y gastos involucrados durante un periodo de planeación de 5 años, mostrando un incremento de utilidades año con año. Asimismo, se estimó que el proyecto generará un flujo de caja neto positivo, sin tener problemas de liquidez generados por la elevada inversión inicial, por lo que se concluyó que el proyecto de inversión es viable en base a los resultados obtenidos del estudio económico-financiero.

Con el análisis de la evaluación económico-financiera se obtuvieron los siguientes indicadores que miden el valor del dinero en el tiempo: VAN de 660 dólares. 395,66 tras el quinto año de funcionamiento; una TIR del 77,881%, superior a la TMAR del 20,43%, lo que significa que la rentabilidad esperada de la ejecución del proyecto es superior a la rentabilidad mínima establecida; una TIR de 1,95 años, equivalente a 23 meses, que es un periodo

relativamente bajo para recuperar la inversión en comparación con el elevado importe invertido, e indica que el proyecto de inversión es viable.

A través del análisis de riesgos e impactos fue posible identificar los factores que podrían perjudicar o beneficiar al proyecto cuando esté en funcionamiento. Se identificó que el principal impacto negativo es la monopolización del mercado, que podría afectar a los recicladores y recicladoras informales en el desempeño de sus actividades, por lo que se establecieron estrategias de gestión para minimizar el impacto que podría afectar a este grupo.

Por otro lado, la planta de tratamiento de RAEE puede tener un impacto positivo en el medio ambiente al reducir la contaminación mediante la gestión adecuada de estos residuos y el suministro de materia prima reciclada a las empresas (clientes). En términos generales, el proyecto de instalación de una empresa de reciclaje de RAEE en la ciudad de Cuenca, en la provincia de Azuay, se considera viable en base a los resultados obtenidos en los diferentes estudios. Además, es una alternativa para reducir el impacto ambiental a través del reciclaje responsable.

Por su parte Tigua Chele (2020), diseñó un Plan de manejo de basura electrónica para su correcto tratamiento, con el propósito de contribuir con el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Jipijapa a través de la entrega de un plan de manejo para el correcto tratamiento de la basura electrónica. Esta propuesta toma en cuenta la normativa vigente en Ecuador que visibiliza los derechos y obligaciones para minimizar la contaminación ambiental y la salud humana. Se espera que sea revisada en el corto plazo por las autoridades del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Jipijapa.

Para obtener datos precisos, se realizaron encuestas a los habitantes del Cantón Jipijapa, también a los técnicos que reparan equipos eléctricos y electrónicos y un diagnóstico interno en la municipalidad del Cantón Jipijapa, específicamente en el área de residuos sólidos para determinar la situación actual de los RAEE y su disposición final.

Para cumplir con lo anterior, se realizó una investigación de campo, con un número de 453 encuestas dirigidas a los ciudadanos del Cantón Jipijapa, y actualmente 39 personas dedicadas a la reparación de equipos eléctricos y electrónicos, diagnóstico al Departamento de Residuos Sólidos de la Municipalidad de Jipijapa.

El resultado del diagnóstico muestra que el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Jipijapa realiza una clasificación general de los residuos comunes, en cuanto a los residuos eléctricos y electrónicos no se recolectan, manejan, disponen adecuadamente, por lo que se presenta la normativa vigente en el Ecuador para su correcta gestión con el fin de elaborar las ordenanzas municipales acompañadas de un plan de gestión para el correcto tratamiento de los RAEE, que será llevado en su momento por el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Jipijapa.

El plan de gestión propuesto se conforma de 7 planes específicos, a saber: Plan de prevención y mitigación de impactos; Plan de Manejo de Desechos electrónicos; Plan de Comunicación y Capacitación; Plan de Relaciones Comunitarias; Plan de Contingencias; Plan de Seguridad y Salud Ocupacional y el Plan de Monitoreo y Seguimiento. En todos los planes se detalla el aspecto ambiental al que responde, el impacto ambiental, las medidas propuestas, los indicadores, los medios de verificación, los responsables de ejecución, frecuencia de ejecución y período. Un resumen de este plan de gestión se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Plan de manejo de basura electrónica para su correcto tratamiento de Tigua Chele (2020)

Plan de prevención y mitigación de impactos						
<i>Objetivo: Realizar campaña de prevención para deposición de aparatos electrónicos.</i>						
Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Medidas propuestas	Indicadores	Medios de verificación	Frecuencia de ejecución	Período
Visibilidad	Impacto visual	Realizar la clasificación por diferentes categorías o tipos de aparatos para facilitar su posterior	Kg/ día recolectados de RAEE	Hojas de registros, Fotografías, Informes mensuales	Una vez	Mensual

RESIDUOS ELECTRÓNICOS

		entrega a empresas especializadas				
Metales Lixiviados	Contaminación atmosférica	Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que se depositen en punto de recolección no deben ser desensamblados ni manipulados.	Kg/día depositados temporalmente los RAEE en contenedores, estibas o en cajas de rejillas.	Fotografías	Una vez	Diario

Plan de Manejo de Desechos electrónicos

Objetivo: Definir acciones necesarias para el manejo adecuado de residuos electrónicos

Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Medidas propuestas	Indicadores	Medios de verificación	Frecuencia de ejecución	Período
Generación de residuos eléctricos y electrónicos Contaminación del suelo		Capacitar al personal en manejo de RAEE	1 obrero capacitado sobre manejo de RAEE	Registros de	Diario	Permanente
		Maximizar prácticas de reciclaje y reúso.	39 Talleres a personas que prestan servicios de reparación participan en un programa de reciclaje y reúso AEE	Fotografía Registro de venta a recicladora. Informe del cumplimiento de la medida Lista de participantes	2 veces	Semestral
		Transporte seguro y deposición final de los RAEE.			Una vez	Semanal

Plan de Comunicación y Capacitación

Objetivo: Capacitar a la comunidad sobre el cuidado y respeto al medio ambiente

Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Medidas propuestas	Indicadores	Medios de verificación	Frecuencia de ejecución	Período
Seguridad y salud ocupacional y ambiental	Riesgos laborales. Riesgo a la salud de los trabajadores. Contaminación ambiental.	Buenas prácticas ambientales de seguridad y salud Normas y manejo de residuos	18 operadores del municipio conocen buenas prácticas, normas de seguridad, etc.	Registros de capacitación Fotografías	Diario	Permanente

RESIDUOS ELECTRÓNICOS

Plan de Relaciones Comunitarias						
<i>Objetivo: Implementar acciones que permitan concientizar a la población del Cantón Jipijapa a la participación de un ambiente sano</i>						
Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Medidas propuestas	Indicadores	Medios de verificación	Frecuencia de ejecución	Período
Social	Conflictos sociales	Realizar talleres sobre la contaminación que provocan los RAEE.	4 talleres anuales para concientizar a la ciudadanía de Jipijapa	Registro de asistencia. Informe de ejecución de talleres. Registros fotográficos	Cada tres meses	Anual
Plan de Contingencias						
<i>Objetivo: Implementar medidas preventivas enfocadas a controlar y evitar eventualidades emergentes.</i>						
Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Medidas propuestas	Indicadores	Medios de verificación	Frecuencia de ejecución	Período
Riesgos a la salud pública y de trabajadores.	Accidentes ocasionados por eventualidades emergentes	Capacitar a todo el personal que labora para que sepan que procedimiento a seguir.	4 operadores conocen los procedimientos a seguir en el manejo y deposición final de RAEE 6 capacitaciones realizadas y planificadas	Registro fotográfico	Mensual	Anual
Plan de Seguridad y Salud Ocupacional.						
<i>Objetivo: Prevenir enfermedades laborales</i>						
Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Medidas propuestas	Indicadores	Medios de verificación	Frecuencia de ejecución	Período
Riesgos a la salud y seguridad de los trabajadores	Afecciones a la salud y seguridad del personal	Aplicar, en todo momento, el reglamento de seguridad y salud de los trabajadores. Protección del trabajador que incluye: Guantes resistentes a los cortes Lentes de seguridad Máscaras o respiradores Protectores de oídos	Se realizan al menos 12 visitas de inspección al año para verificar el cumplimiento de la normativa.	Registros de limpieza Registros de fotografía	Temporalmente	Anual

RESIDUOS ELECTRÓNICOS

		Overoles con material grueso				
Plan de Monitoreo y Seguimiento						
<i>Objetivo: Verificar el cumplimiento y eficacia del plan de manejo ambiental de las medidas planteadas del mismo.</i>						
Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Medidas propuestas	Indicadores	Medios de verificación	Frecuencia de ejecución	Período
Visibilidad	Impacto visual	Realizar la clasificación por diferentes categorías o tipos de aparatos para facilitar su posterior entrega a empresas especializadas.	Kg/día recolectados de RAEE	Visibilidad	Una vez	Diario
Metales Lixiviados	Contaminación atmosférica	Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que se depositen en punto de recolección no deben ser desensamblados ni manipulados.	Kg/día depositados temporalmente los RAEE en contenedores, estibas o en cajas de rejillas.	Metales Lixiviados	Diario	Permanente
Generación de residuos eléctricos y electrónicos	Contaminación del suelo	Capacitar al personal en manejo de RAEE. Maximizar prácticas de reciclaje y reuso. Transporte seguro y deposición final de los RAEE.	41 obreros capacitados sobre manejo de RAEE 39 técnicos de reparación participan en un programa de reciclaje y reuso AEE	Registros de fotografía Registro de venta a recicladora. Informe del cumplimiento de la medida Lista de participantes	Diario Una vez	Permanente Semana

Tomado de: Tigua Chele, N. R. (2020). Plan de manejo de basura electrónica para su correcto tratamiento en el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Jipijapa (Bachelor's thesis, Jipijapa. UNESUM).

Aunque el alcance de la propuesta es local (abarca el área urbana del cantón de Jipijapa), puede generalizarse a otros municipios del

país. Su aplicación promueve una mejor gestión y/o tratamiento de los residuos eléctricos y electrónicos para reducir la contaminación ambiental y los impactos en la salud de los habitantes. El alcance puede variar y aplicarse a todo el territorio del cantón, lo cual dependerá exclusivamente de la aprobación de la ordenanza respectiva.

El plan de manejo puede ser implementado con la participación del equipo técnico y personal operativo que conforman la Dirección de Residuos Sólidos, Dirección de Medio Ambiente, Comisionado Municipal, Comisionado Ambiental, y además cuenta con aliados estratégicos como el Ministerio de Medio Ambiente y la participación de estudiantes y docentes de la UNESUM, con quienes se ejecuta el proyecto "Gestión Integral de Residuos Sólidos de Jipijapa", que entre otros resultados busca el manejo y disposición adecuada de los residuos que llegan al vertedero municipal.

En el mismo sentido, Analuisa Roldán (2021), propone una guía de manejo de desechos eléctricos electrónicos para microempresas del sector de catering de la ciudad de Quito bajo un enfoque sustentable. Con el diagnóstico de situación, se identificó que el entorno de la industria de gestión y reciclaje de residuos de RAEE presenta un ligero grado de atractivo de una industria para sus actores, lo que lleva a la decisión de desarrollar esta guía metodológica como una oportunidad de negocio.

Esta guía metodológica incluye aspectos técnicos y teóricos relacionados con el proceso administrativo, específicamente de las disciplinas de prospectiva estratégica, gestión de operaciones, gestión de procesos y control estratégico.

Es importante señalar que, al no contar con una organización beneficiaria directa, se trabajó con datos y valores de mercado mediante la simulación de los mismos, debido a que el tamaño empresarial de las organizaciones que ofrecen servicios de restauración es disperso y sus necesidades y requerimientos dependen de la demanda de estos servicios. Para conseguir este efecto, la guía se divide en los siguientes apartados:

- Mapa de contexto
- Declaración de la visión del proyecto
- Análisis del árbol de decisiones
- Sistema de costes
- Plan de mantenimiento
- Análisis de procesos
- Sistema de indicadores
- Riesgo operativo
- Cuadro de mando integral
- Planes de contingencia

Se construyó una propuesta técnica y metodológica que podría ser utilizada en el futuro por las organizaciones o empresas dedicadas a la elaboración, comercialización y prestación de servicios de alimentos y bebidas, especialmente de catering en el DMQ, a través del uso de herramientas de gestión para la toma de decisiones y ejecución de estrategias tales como: análisis de árbol de decisiones, sistema de costos y amortizaciones, plan de mantenimiento, análisis de procesos, indicadores de gestión, riesgo operacional, BSC y finalmente, formulación de planes de acción. Por último, Analuisa Roldán propone un esquema o página de aterrizaje para dar un enfoque digital a esta guía.

Aunque el proyecto no considera un análisis ambiental como tal, a partir de su implementación se concluye desde el punto de vista social, cada vez hay más conciencia ecológica para el uso de materiales RAEE, lo que incentiva el crecimiento de este sector y su práctica, además de ser un insumo para la reducción de costos, contribuye indirectamente como responsabilidad social empresarial para sus grupos de interés.

Al analizar los objetivos establecidos en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Distrito Metropolitano de Quito, Acurio Morejón (2019) señaló que están alineados con la economía circular pero las metas a alcanzar en los objetivos propuestos son muy conservadoras, si se quiere generar verdaderos cambios en el manejo de los residuos como gestores de la administración de la ciudad se deben implementar políticas agresivas en la educación a los niños y jóvenes en relación al reciclaje y la correcta clasificación

de la basura incluyendo también los residuos electrónicos, así como el acceso a puntos de reciclaje en toda la ciudad solicitando la ayuda de las diferentes administraciones barriales.

En este sentido, sin una concienciación de la población el éxito deseado será inalcanzable más que nada para lograr el 25% de residuos preparados para su reutilización en el 2025, a pesar de los esfuerzos del Municipio de Quito por colocar puntos de reciclaje en determinadas zonas de la ciudad no se logrará el éxito deseado, ya que su alcance debe ser a todo el Distrito Metropolitano con una adecuada capacitación dirigida a la población. Es recomendable capacitar a los mineros e integrarlos al sistema de recolección para capacitarlos adecuadamente en el manejo de los residuos.

Mediante el análisis prospectivo con la generación de escenarios, se examina el volumen de residuos electrónicos que se generará para el año 2023, esto permite establecer estrategias para alcanzar las metas deseadas en los nuevos objetivos propuestos para las posibles situaciones que se presenten en el transcurso del tiempo y adaptarlas para obtener el escenario deseado adaptándolas de acuerdo a la evolución del escenario elegido, En este caso, de acuerdo a los escenarios planteados, el escenario más óptimo se puede encontrar cuando los ciudadanos tengan una mayor conciencia de la clasificación de los residuos para su reciclaje en relación a la disminución del consumo por parte de la población a pesar de las mejoras tecnológicas en los equipos electrónicos.

En un principio se estableció un análisis del manejo de los residuos electrónicos, pero encontramos que el plan de desarrollo y ordenamiento territorial está enfocado en estrategias generales para el manejo de todo tipo de residuos, tanto peligrosos como no peligrosos, sin embargo todos los residuos son dirigidos a las estaciones de transferencia Norte y Sur, y sin una adecuada clasificación de los residuos desde el origen se genera un proceso infructuoso ya que muchos residuos peligrosos como pilas, componentes electrónicos entre otros se encuentran como residuos comunes, los cuales son llevados a rellenos sanitarios generando nuevamente contaminación.

Pensando en una gestión integral, la responsabilidad de los consumidores con la clasificación de la basura, los productores y los proveedores con un óptimo sistema de trazabilidad permitiría lograr una reducción de la basura en general, ya que la responsabilidad de la gestión no solo recae en las entidades públicas sino en todas las entidades que generan basura (Acurio Morejón, 2019).

Propuesta para la gestión de los residuos electrónicos en Ecuador.

El consumo de equipos electrónicos seguirá aumentando en la medida en que el desarrollo tecnológico supere las expectativas de los usuarios tanto en computadoras como en teléfonos inteligentes, el escenario deseado es aquel en el que la conciencia de las personas sobre la responsabilidad ambiental ha aumentado en relación con el reciclaje y el consumo de equipos electrónicos fabricados con materias primas ha disminuido.

En este caso, según los datos obtenidos en la proyección de los residuos electrónicos que ingresarán al sistema de recolección de residuos sólidos aumentará, siendo este el peor escenario en el que las personas desecharían sus residuos electrónicos entre la basura común y el consumo de equipos electrónicos aumenta. En este caso, se establecen estrategias para controlar el ingreso de residuos electrónicos al sistema de recolección, por lo que se requiere:

1. Reestructurar el Ordenamiento Territorial y el Plan de Desarrollo del Distrito Metropolitano de Quito para incluir a los ciudadanos como parte del grupo responsable de los desechos electrónicos.
2. Modernizar la infraestructura de EMASEO a través de la innovación, el conocimiento y la tecnología en relación a los equipos y recursos que posee la institución.
3. Ejecutar programas de reciclaje para concienciar a la población sobre la generación de residuos electrónicos en el sector educativo, industrial y comercial.

4. Establecer acuerdos con importadores, distribuidores y supermercados para adoptar políticas de trazabilidad que permitan identificar el destino final de los equipos electrónicos.
5. Ejecutar incentivos económicos y tributarios para la población en general y las empresas al importar y utilizar equipos electrónicos fabricados con materiales reciclados con capacidad de ser actualizados de manera que se incremente su vida útil, y al gestionar adecuadamente la eliminación de los residuos electrónicos y otros residuos generados. Adoptar medidas económicas correctoras para los consumidores que se deshagan indebidamente de los residuos generados.
6. Ampliar la cartera de servicios y productos enfocados a la consecución de la economía circular permitiendo la diversificación de las fuentes económicas a través de materiales reciclables y la fabricación de productos con materiales no reciclables para reducir estos residuos.
7. Fortalecer los estudios sobre los riesgos ecológicos de los vertederos y su pronta remediación a través de convenios con universidades.

Las estrategias propuestas ayudarán a evitar que el peor escenario se haga realidad, pero en el transcurso de la implementación de las estrategias y a través del uso de indicadores, permitirán corregir los avances con nuevas estrategias para lograr el escenario deseado.



CONCLUSIONES

Aunque la recuperación de recursos de los residuos electrónicos puede ser una fuente de medios de vida y oportunidades de negocio, su gestión puede adolecer de falta de infraestructuras y de metodologías científicas eficaces (Lakshmi y Raj, 2017). Los métodos informales de reciclaje de residuos electrónicos (por ejemplo, la quema a cielo abierto, la incineración, el decapado de metales y los baños ácidos) generan subproductos como metales pesados, dioxinas y furanos (Dai et al., 2020).

Ecuador cuenta con un marco normativo, legal y regulatorio sobre los residuos peligrosos y químicos, incluyendo leyes secundarias relacionadas a los residuos electrónicos. Asimismo, desde 2013, se cuenta con una Política post consumo de equipos eléctricos y electrónicos. Ecuador cuenta con normas de salud, seguridad y medio ambiente, relacionadas con a los productos químicos y residuos peligrosos.

A pesar de los numerosos esfuerzos realizados para gestionar los residuos electrónicos, todavía no se han establecido hojas de ruta ideales para los métodos de recogida, separación, almacenamiento, transporte y tratamiento sostenibles, ni normas y legislaciones de apoyo (Adanu et al., 2020).

Esta revisión ofrece una visión sistemática de la generación de residuos electrónicos y de los retos y oportunidades asociados a sus métodos de reciclaje. Se espera que este libro ayude a trazar un nuevo camino hacia la gestión sostenible de los residuos electrónicos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acurio Morejón, V. S. (2019). Análisis al sistema de tratamiento de residuos electrónicos en la ciudad de Quito (Bachelor's thesis, Escuela Politecnica Nacional.) Recuperado de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21295/1/CD%2010813.pdf>
- Adanu, S. K., Gbedemah, S. F., & Attah, M. K. (2020). Challenges of adopting sustainable technologies in e-waste management at Agbogbloshie, Ghana. *Heliyon*, 6(8), e04548. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240584402031392X>
- Aguilera, L. H. (2010). La basura electrónica y la contaminación ambiental. *Enfoque UTE*, 1(1), 46-61.
- Alavan Huamán, S. E. (2019). Conocimiento de los residuos sólidos eléctricos, electrónicos y la conciencia ambiental en los estudiantes de la Universidad Nacional de Jaén-2018-I.
- Alcántara-Concepción, V., Gavilán-García, A., & Gavilán-García, I. C. (2016). Environmental impacts at the end of life of computers and their management alternatives in México. *Journal of Cleaner Production*, 131, 615-628.
- Almeida, O. X. B., Sánchez, V. R., & Arias, V. I. G. (2021). Destino y situación actual de los desechos tecnológicos. *Ecuadorian Science Journal*, 5(4), 28-41.
- Analuisa Roldán, F. F. (2021). Propuesta metodológica y guía de manejo de desechos eléctricos electrónicos para

microempresas del sector de catering de la ciudad de Quito bajo un enfoque sustentable (Doctoral dissertation, Quito/UIDE/2021).

- Andina. (2019) Aparatos eléctricos y electrónicos: Inician Campaña de reciclaje en Lima [en línea]. [Fecha de consulta: 16 de agosto del 2022]. Disponible en <https://andina.pe/agencia/noticia-aparatos-electricos-yelectronicos-inician-campana-reciclaje-lima-772466.aspx>
- Agyei-Mensah, S., & Oteng-Ababio, M. (2012). Perceptions of health and environmental impacts of e-waste management in Ghana. *International journal of environmental health research*, 22(6), 500-517.
- Anzules, Í. D. C. P., & Castro, D. W. M. (2022). Contaminación ambiental. *Recimundo*, 6(2), 93-103.
- Arya, S., & Kumar, S. (2020). Bioleaching: urban mining option to curb the menace of E-waste challenge. *Bioengineered*, 11(1), 640-660.
- Ashiq, A., Kulkarni, J., & Vithanage, M. (2019). Hydrometallurgical recovery of metals from E-waste. In *Electronic waste management and treatment technology* (pp. 225-246). Butterworth-Heinemann.
- Awasthi, A. K., Zeng, X., & Li, J. (2016). Environmental pollution of electronic waste recycling in India: A critical review. *Environmental pollution*, 211, 259-270.
- Awasthi, A. K., Zlamparet, G. I., Zeng, X., & Li, J. (2017). Evaluating waste printed circuit boards recycling: Opportunities and challenges, a mini review. *Waste Management & Research*, 35(4), 346-356.
- Awasthi, A. K., Wang, M., Awasthi, M. K., Wang, Z., & Li, J. (2018). Environmental pollution and human body burden from improper recycling of e-waste in China: A short-review. *Environmental Pollution*, 243, 1310-1316.
- Awasthi, A. K., Li, J., Koh, L., & Ogunseitan, O. A. (2019). Circular economy and electronic waste. *Nature Electronics*, 2(3), 86-89.
- Baldé, C. P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., & Stegmann, P. (2017). The global e-waste monitor 2017: Quantities, flows and resources. United Nations University, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association.

- Carrasco, J. D. C. R., Delgado, C. Y. S., & Cobos, D. F. O. (2017). Contaminantes emergentes y su impacto en la salud. Emerging contaminants and its impact on the health. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca*, 35(2), 55-59.
- Castro, S. M. D. C. R., & Murillo, S. E. P. (2021). Tecnologías para tratamiento de efluentes industriales remoción del cromo (VI). *Savez Editorial*.
- Ceballos, D. M., & Dong, Z. (2016). The formal electronic recycling industry: Challenges and opportunities in occupational and environmental health research. *Environment international*, 95, 157-166.
- Ceers (2019). Estudio de línea base del mercado de la pintura en Ecuador: Proyecto SAICM GEF Componente Plomo en Pintura UN SAICM/GEF. Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos (CEER). https://saicmknowledge.org/sites/default/files/publications/L%C3%ADnea_Base_Ecuador_SP.pdf.
- Chakraborty, P., Selvaraj, S., Nakamura, M., Prithiviraj, B., Cincinelli, A., & Bang, J. J. (2018). PCBs and PCDD/Fs in soil from informal e-waste recycling sites and open dumpsites in India: levels, congener profiles and health risk assessment. *Science of the Total Environment*, 621, 930-938.
- Chen, X., Zhu, J., Ruan, J., Tang, Y. T., & Qiu, R. L. (2019). Debromination and decomposition mechanisms of phenolic resin molecules in ball milling with nano-zerovalent iron. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(1), 172-178.
- Chen, Y., Xu, X., Zeng, Z., Lin, X., Qin, Q., & Huo, X. (2019). Blood lead and cadmium levels associated with hematological and hepatic functions in patients from an e-waste-polluted area. *Chemosphere*, 220, 531-538.
- Chi, X., Streicher-Porte, M., Wang, M. Y., & Reuter, M. A. (2011). Informal electronic waste recycling: A sector review with special focus on China. *Waste management*, 31(4), 731-742.
- Chien, Y. C., & Shih, P. H. (2006). Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons on the combustion of liquid crystal display components. *Journal of Environmental Engineering*, 132(9), 1028-1033.
- Cordero Casallas, J. K. (2015). Fitorremediación in situ para la

remediación de suelos contaminados por metales pesados (cadmio y plomo) y evaluación de selenio en la finca Furatena alta en el municipio de Útica-Cundinamarca.

- Cui, J., & Zhang, L. (2008). Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review. *Journal of hazardous materials*, 158(2-3), 228-256.
- Dai, Q., Xu, X., Eskenazi, B., Asante, K. A., Chen, A., Fobil, J., ... & Huo, X. (2020). Severe dioxin-like compound (DLC) contamination in e-waste recycling areas: An under-recognized threat to local health. *Environment international*, 139, 105731.
- Debnath, B., Roychoudhuri, R., & Ghosh, S. K. (2016). E-waste management—a potential route to green computing. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 669-675.
- Devika, S. (2010). Environmental impact of improper disposal of electronic waste. Paper Presented at the Recent Advances in Space Technology Services and Climate Change 2010 (RSTS & CC-2010).
- Dias, P., Machado, A., Huda, N., & Bernardes, A. M. (2018). Waste electric and electronic equipment (WEEE) management: A study on the Brazilian recycling routes. *Journal of Cleaner Production*, 174, 7-16.
- Echegaray, F., & Hansstein, F. V. (2017). Assessing the intention-behavior gap in electronic waste recycling: the case of Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 142, 180-190.
- Fayiga, A. O., Ipinmoroti, M. O., & Chirenje, T. (2018). Environmental pollution in Africa. *Environment, development and sustainability*, 20(1), 41-73.
- Finder, L. (2012). Listado nacional de sustancias químicas peligrosas. Acuerdo Ministerial 142. Registro Oficial Suplemento 856 de 31.dic.-2012. Estado: Vigente Marcela Aguiñaga Vallejo. Ministra del Ambiente. Recuperado de: <https://www.cip.org.ec/attachments/article/498/ACUERDO%20MINISTERIAL%20No.%20142.pdf>
- Forti, V., Balde, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2020). The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential.
- Fu, J., Zhang, A., Wang, T., Qu, G., Shao, J., Yuan, B., ... & Jiang, G. (2013). Influence of e-waste dismantling and its regulations:

- temporal trend, spatial distribution of heavy metals in rice grains, and its potential health risk. *Environmental science & technology*, 47(13), 7437-7445.
- Fu, Z., Wang, Y., Chen, J., Wang, Z., & Wang, X. (2016). How PBDEs are transformed into dihydroxylated and dioxin metabolites catalyzed by the active center of cytochrome P450s: a DFT study. *Environmental science & technology*, 50(15), 8155-8163.
- Gaidajis, G., Angelakoglou, K., & Aktsoglou, D. (2010). E-waste: environmental problems and current management. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 3(1), 193-199.
- Galindo, D. S. (2020). Economía circular: De alternativa a necesidad. *Desarrollo y Territorio*, (8), 112-117.
- Gangwar, C., Singh, A., Kumar, A., Chaudhry, A., & Tripathi, A. (2016). Appraisal of heavy metals in respirable dust (PM10) around e-waste burning and industrial sites of Moradabad: accentuation on spatial distribution, seasonal variation and potential sources of heavy metal. *IOSR J Environ Sci Toxicol Food Technol*, 10(6), 14-21.
- García, C. V. (2019). Contaminación ambiental. *Avances*, 21(2), 138-138.
- Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. D. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción+ limpia*, 7(2), 52-73.
- Gobierno del Ecuador (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 - Toda una Vida. República del Ecuador. Consejo Nacional de Planificación (CNP). Constitución de la República del Ecuador Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - Senplades 2017 Quito (Ecuador) <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/11/PLAN-NACIONAL-DE-DESARROLLO-2017-2021.compressed.pdf>
- Gobierno del Ecuador (2019). Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, Decreto N.º 752. Registrado bajo el N.º 507. República del Ecuador, junio de 2019. http://www.emaseo.gob.ec/documentos/lotaip_2019/a/base_legal/Reglamento_al_codigo_organico_de_ambiente.pdf
- Gollakota, A. R., Gautam, S., & Shu, C. M. (2020). Inconsistencies of

- e-waste management in developing nations—Facts and plausible solutions. *Journal of environmental management*, 261, 110234.
- Grant, K., Goldizen, F. C., Sly, P. D., Brune, M. N., Neira, M., van den Berg, M., & Norman, R. E. (2013). Health consequences of exposure to e-waste: a systematic review. *The lancet global health*, 1(6), e350-e361.
- Heacock, M., Kelly, C. B., Asante, K. A., Birnbaum, L. S., Bergman, Å. L., Bruné, M. N., ... & Suk, W. A. (2016). E-waste and harm to vulnerable populations: a growing global problem. *Environmental health perspectives*, 124(5), 550-555.
- Herat, S., & Agamuthu, P. (2012). E-waste: a problem or an opportunity? Review of issues, challenges and solutions in Asian countries. *Waste Management & Research*, 30(11), 1113-1129.
- Hsu, E., Barmak, K., West, A. C., & Park, A. H. A. (2019). Advancements in the treatment and processing of electronic waste with sustainability: a review of metal extraction and recovery technologies. *Green chemistry*, 21(5), 919-936.
- Huang, C. L., Bao, L. J., Luo, P., Wang, Z. Y., Li, S. M., & Zeng, E. Y. (2016). Potential health risk for residents around a typical e-waste recycling zone via inhalation of size-fractionated particle-bound heavy metals. *Journal of Hazardous Materials*, 317, 449-456.
- Huang, J., Nkrumah, P. N., Anim, D. O., & Mensah, E. (2014). E-waste disposal effects on the aquatic environment: Accra, Ghana. *Reviews of environmental contamination and toxicology*, 19-34.
- Huo, X., Dai, Y., Yang, T., Zhang, Y., Li, M., & Xu, X. (2019). Decreased erythrocyte CD44 and CD58 expression link e-waste Pb toxicity to changes in erythrocyte immunity in preschool children. *Science of the Total Environment*, 664, 690-697.
- Huo, X., Wu, Y., Xu, L., Zeng, X., Qin, Q., & Xu, X. (2019). Maternal urinary metabolites of PAHs and its association with adverse birth outcomes in an intensive e-waste recycling area. *Environmental Pollution*, 245, 453-461.
- Ilanakoon, I. M. S. K., Ghorbani, Y., Chong, M. N., Herath, G., Moyo, T., & Petersen, J. (2018). E-waste in the international context—

- A review of trade flows, regulations, hazards, waste management strategies and technologies for value recovery. *Waste Management*, 82, 258-275.
- International Labour Organization. (2019). International chemical safety cards (ICSCs).
- Intrakamhaeng, V., Clavier, K. A., & Townsend, T. G. (2019). Initiatives to reduce lead from electronic devices: evidence of success from the toxicity characteristic leaching procedure. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 69(9), 1116-1121.
- Jadhao, P. R., Ahmad, E., Pant, K. K., & Nigam, K. D. P. (2020). Environmentally friendly approach for the recovery of metallic fraction from waste printed circuit boards using pyrolysis and ultrasonication. *Waste Management*, 118, 150-160.
- Jadhav, U., & Hocheng, H. (2015). Hydrometallurgical recovery of metals from large printed circuit board pieces. *Scientific Reports*, 5(1), 1-10.
- Jandric, A., Part, F., Fink, N., Cocco, V., Mouillard, F., Huber-Humer, M., ... & Zafiu, C. (2020). Investigation of the heterogeneity of bromine in plastic components as an indicator for brominated flame retardants in waste electrical and electronic equipment with regard to recyclability. *Journal of hazardous materials*, 390, 121899.
- Joiro, H. U. (2015). Basura electrónica: cuando el progreso enferma al futuro. *Medicina*, 37(1), 39-49.
- Joon, V., Shahrawat, R., & Kapahi, M. (2017). The emerging environmental and public health problem of electronic waste in India. *Journal of health and pollution*, 7(15), 1-7.
- Kaya, M. (2016). Recovery of metals from electronic waste by physical and chemical recycling processes. *International Journal of Chemical and Molecular Engineering*, 10(2), 259-270.
- Kaya, M. (2018). Current WEEE recycling solutions. In *Waste electrical and electronic equipment recycling* (pp. 33-93). Woodhead Publishing.
- Khajuria, A. (2015). Role of Extended Producer Responsibility in context of electronic waste-Case of India. *International Journal of Scientific and Research Publications*.

- Khaliq, A., Rhamdhani, M. A., Brooks, G., & Masood, S. (2014). Metal extraction processes for electronic waste and existing industrial routes: a review and Australian perspective. *Resources*, 3(1), 152-179.
- Kumar, A., Holuszko, M., & Espinosa, D. C. R. (2017). E-waste: An overview on generation, collection, legislation and recycling practices. *Resources, Conservation and Recycling*, 122, 32-42.
- Kumar, S., Garg, D., Sharma, P., Kumar, S., & Tauseef, S. M. (2018). Critical analysis and review of occupational, environmental and Health issues related to inadequate disposal of E-waste. *Intelligent Communication, Control and Devices*, 473-484.
- Landa, R., & Miranda, D. (2019). Análisis de la cadena de suministros de los RAEE en el Perú 2013-2017 (Doctoral dissertation, Tesis de post grado), Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú.
- Lakshmi, S., & Raj, A. (2017). A review study of e-waste management in India. *Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST) Volume, 1*, 33-36.
- Leclerc, S. H., & Badami, M. G. (2020). Extended producer responsibility for E-waste management: Policy drivers and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119657.
- Loayza, J., Silva, M., Arce, G., & Casafranca, A. (2015). Gestión integral de residuos de bifenilos policlorados-PCB (Aspectos generales y ciclo de vida). *Rev Per Quim Ing Quím*, 18(2), 31-39.
- Loja, E. (2007). Programa de las naciones unidas para el medio ambiente.
- Lv, J., Yang, H., Jin, Z., & Zhao, M. (2018). Lead extraction and glass-ceramics synthesis from waste cathode ray tube funnel glass through cooperative smelting process with coal fly ash. *Waste Management*, 76, 687-696.
- Medina-Pizzali, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35, 93-102.
- Mihai, F. C., Gnoni, M. G., Meidiana, C., Ezeah, C., & Elia, V. (2019). Waste electrical and electronic equipment (WEEE): flows, quantities, and management – a global scenario. In *Electronic waste management and treatment technology* (pp. 1-34).

Butterworth-Heinemann.

- Ministerio del Ambiente, Ecuador (2021). Acuerdo n.º 191, la Ministra del Ambiente, Lorena Tapia Núñez. Gobierno del Ecuador. Consultado el 4 de mayo de 2021. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/AM-191-Intructivo-para-reciclaje-para-celulares_final.pdf
- Molina Zambrano, H. E. (2020). Modelo de procedimientos sobre el manejo de desechos electrónicos en la Universidad Estatal del Sur de Manabí (Bachelor's thesis, Jipijapa. UNESUM).
- Ocampo, M., & Santa Catarina, C. (2018). Residuos electrónicos. Oficina de Información Científica y Tecnología para el Congreso de la Unión. Recuperado de: http://foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_18-008.pdf
- Olafisoye, O. B., Adefioye, T., & Osibote, O. A. (2013). Heavy Metals Contamination of Water, Soil, and Plants around an Electronic Waste Dumpsite. *Polish journal of environmental studies*, 22(5).
- Olubanjo, K., Osibanjo, O., & Chidi, N. I. (2015). Evaluation of Pb and Cu contents of selected component parts of waste personal computers. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 19(3), 470-477.
- Peleka, J. C. M., Diop, C., Foko, R. F., Daffe, M. L., & Fall, M. (2021). Health risk assessment of trace metals in drinking water consumed in Dakar, Senegal. *Journal of Water Resource and Protection*, 13(12), 915-930.
- Poma, G., Liu, Y., Cuykx, M., Tang, B., Luo, X. J., & Covaci, A. (2019). Occurrence of organophosphorus flame retardants and plasticizers in wild insects from a former e-waste recycling site in the Guangdong province, South China. *Science of the Total Environment*, 650, 709-712.
- Rautela, R., Arya, S., Vishwakarma, S., Lee, J., Kim, K. H., & Kumar, S. (2021). E-waste management and its effects on the environment and human health. *Science of the Total Environment*, 773, 145623.
- Rodríguez, J. P., Alarcón, C. N., & Alarcón, J. N. (2019). Análisis de la exportación de los desechos electrónicos y su incidencia en el comercio exterior del Ecuador. *Espirales revista*

- multidisciplinaria de investigación científica, 3(26), 40-49.
- Saldaña-Durán, C. E., Bernache-Pérez, G., Ojeda-Benitez, S., & Cruz-Sotelo, S. E. (2020). Environmental pollution of E-waste: Generation, collection, legislation, and recycling practices in Mexico. In *Handbook of Electronic Waste Management* (pp. 421-442). Butterworth-Heinemann.
- Sánchez, A. A., & Tello, L. L. G. (2019). La contaminación ambiental en los acuíferos de Ecuador. *Revista Visión Contable*, (19), 64-101.
- Serrano, R. (2018). The New Environmental Code Has Come Into Force (El nuevo Código Ambiental ha entrado en vigor). 19 de abril de 2018. Corral Rosales. <https://www.mondaq.com/environmental-law/693684/the-new-environmental-code-has-come-into-force>.
- Sethurajan, M., van Hullebusch, E. D., Fontana, D., Akcil, A., Deveci, H., Batinic, B., ... & Chmielarz, A. (2019). Recent advances on hydrometallurgical recovery of critical and precious elements from end of life electronic wastes-a review. *Critical reviews in environmental science and technology*, 49(3), 212-275.
- Sinaluisa Lozano, I. F. (2016). Modelo de Gestión para el tratamiento de la Basura Electrónica en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Master's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Singh, A., Dwivedi, S. P., & Tripathi, A. (2018). Study of the toxicity of metal contamination in soil samples collected from abandoned e-waste burning sites in Moradabad, India. *Nature Environment and Pollution Technology*, 17(3), 973-979.
- Singh, M., Thind, P. S., & John, S. (2018). Health risk assessment of the workers exposed to the heavy metals in e-waste recycling sites of Chandigarh and Ludhiana, Punjab, India. *Chemosphere*, 203, 426-433.
- Sitaramaiah, Y., & Kumari, M. K. (2014). Impact of electronic waste leading to environmental pollution. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences* ISSN, 974, 2115.
- Souza, R. G. (2020). E-waste situation and current practices in Brazil. In *Handbook of Electronic Waste Management* (pp.

- 377-396). Butterworth-Heinemann.
- Tigua Chele, N. R. (2020). Plan de manejo de basura electrónica para su correcto tratamiento en el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Jipijapa (Bachelor's thesis, Jipijapa. UNESUM).
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277(5325), 494-499.
- Wagner, M., Baldé, C. P., Luda, V., Nnorom, I. C., Kuehr, R., & Iattoni, G. (2022). Monitoreo regional de los residuos electrónicos. Recuperado de: https://residuoselectronicosal.org/wp-content/uploads/2022/01/REM_LATAM_2022_ESP_Final.pdf
- Wu, Q., Du, Y., Huang, Z., Gu, J., Leung, J. Y., Mai, B., ... & Fu, J. (2019). Vertical profile of soil/sediment pollution and microbial community change by e-waste recycling operation. *Science of the Total Environment*, 669, 1001-1010.
- Wu, W., Wu, Y., Wu, J., Liu, X., Chen, X., Cai, X., & Yu, S. (2018). Regional risk assessment of trace elements in farmland soils associated with improper e-waste recycling activities in Southern China. *Journal of Geochemical Exploration*, 192, 112-119.
- Zambrano Yépez, C. A., Macías Rueda, J. C., & Medina Sánchez, N. D. (2022). Buenas prácticas en el manejo de residuos electrónicos en América Latina. *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 10(1).
- Zamora Mora, A. F. (2020). Estudio de factibilidad para el montaje de una empresa gestora de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en la ciudad de Cuenca-Ecuador (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).



BIBLIOGRAFÍA

- Ackah, M. (2019). Soil elemental concentrations, geoaccumulation index, non-carcinogenic and carcinogenic risks in functional areas of an informal e-waste recycling area in Accra, Ghana. *Chemosphere*, 235, 908-917.
- Adeola, F. O. (2018). WEEE generation and the consequences of its improper disposal. In *Waste Electrical and Electronic Equipment Recycling* (pp. 13-31). Woodhead Publishing.
- Akortia, E., Olukunle, O. I., Daso, A. P., & Okonkwo, J. O. (2017). Soil concentrations of polybrominated diphenyl ethers and trace metals from an electronic waste dump site in the Greater Accra Region, Ghana: Implications for human exposure. *Ecotoxicology and environmental safety*, 137, 247-255.
- Bi, X., Simoneit, B. R., Wang, Z., Wang, X., Sheng, G., & Fu, J. (2010). The major components of particles emitted during recycling of waste printed circuit boards in a typical e-waste workshop of South China. *Atmospheric Environment*, 44(35), 4440-4445.
- Burgos, M. E. (2018). Los desafíos del futuro: crecimiento poblacional y desarrollo. *Journal de Ciencias Sociales*.
- Cisneros Galarza, D. A. (2018). Propuesta de gestión de residuos municipales para la ciudad de Ambato (Ecuador) (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Garlapati, V. K. (2016). E-waste in India and developed countries: Management, recycling, business and biotechnological initiatives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54,

874-881.

- Goosey, E., & Goosey, M. (2019). The materials of waste electrical and electronic equipment. In *Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Handbook* (pp. 231-262). Woodhead Publishing.
- Guilcaso Reinoso, E. D. (2022). La soberanía alimentaria y el crecimiento poblacional en los países de América Latina, periodo 2000-2019 (Bachelor's thesis, Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo).
- Ha, N. N., Agusa, T., Ramu, K., Tu, N. P. C., Murata, S., Bulbule, K. A., ... & Tanabe, S. (2009). Contamination by trace elements at e-waste recycling sites in Bangalore, India. *Chemosphere*, 76(1), 9-15.
- Ijomah, W. L., & Danis, M. (2019). Refurbishment and reuse of waste electrical and electronic equipment. In *Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Handbook* (pp. 263-282). Woodhead Publishing.
- Li, J., Liu, L., Zhao, N., Yu, K., & Zheng, L. (2013). Regional or global WEEE recycling. Where to go? *Waste management*, 33(4), 923-934.
- Li, W., & Achal, V. (2020). Environmental and health impacts due to e-waste disposal in China—A review. *Science of the Total Environment*, 737, 139745.
- Li, Z., Guo, C., Li, X., Wang, Z., Wu, J., Qian, Y., & Wei, Y. (2020). Associations between metal exposure and global DNA methylation in potentially affected people in E-Waste recycling sites in Taizhou City, China. *Science of the total environment*, 711, 135100.
- Lu, C., Zhang, L., Zhong, Y., Ren, W., Tobias, M., Mu, Z., ... & Xue, B. (2015). An overview of e-waste management in China. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17(1), 1-12.
- Monar Bastidas, M. L. (2021). Viabilidad de la recuperación de materia prima de los residuos tecnológicos en la ciudad de Guayaquil, en el año 2021. Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil. Recuperado de: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/53440>
- Naranjo, F. P., Pico, M. A., Alberto, G. E., & Calderón, C. (2019). Tecnología 2.0 y la cultura de reciclaje electrónico en

- UNIANDES Ambato. Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores, VI (Edición especial), 1-18.
- Pachés Giner, M. A. V. (2020). Contaminantes emergentes. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/142675/Pach%C3%A9s%20-%20Contaminantes%20emergentes.pdf?sequence=1>
- Rocha-Gutiérrez, B. A., Peralta-Pérez, M. D. R., & Zavala-Díaz de la Serna, F. J. (2015). Revisión global de los contaminantes emergentes PBDE y el caso particular de México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(3), 311-320.
- Rojas Matovelle, F. D. P., & Román Quevedo, D. C. (2012). Análisis de las Tecnologías de Información Verdes y diseño de una planta de tratamiento de Desechos Electrónicos (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2012).
- Social, E. I., & Handling, M. O. I. (2020). Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE): Impacto Social, ambiental, gestión y metodologías sobre su manejo. ENERLAC. *Revista de energía de Latinoamérica y el Caribe*, 4(2), 108-131. Recuperado de: <https://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/127/200>

INFORME DEL EVALUADOR DE LIBRO

Nombre y apellidos del evaluador: Noel Batista Hernández

Grado académico: Licenciado en Derecho, Doctor en Ciencias Pedagógicas

Institución donde labora: Universidad Regional Autónoma de Los Andes. Ecuador

Cargo o función que desempeña: Docente Investigador

Título del libro: RESIDUOS ELECTRÓNICOS

Criterio	Mal	Regular	Bien	Excelente
1. El tema tratado es de actualidad e importancia para la ciencia específica.				X
2. La extensión del libro es adecuada				X
3. El análisis teórico es actualizado (más del 50% de las referencias son de los últimos cinco años)				X
4. El libro denota un aporte a la disciplina que aborda				X

Criterio	Mal	Regular	Bien	Excelente
5. Está bien fundamentada la teoría incluida en el libro				X
6. Se evidencia objetividad en los temas tratados				X
7. Aborda las corrientes principales de la ciencia específica				X
8. Los datos abordados en el libro se encuentran validados por métodos que lo fundamentan.				X
9. La redacción y ortografía son buenas.				X
10. Existe relación entre el título y los aspectos abordados en el libro.				X
11. Los cuadros, tablas y figuras tienen buena calidad.				X

Aspectos a comentar.

Comente en una o varias hojas los siguientes elementos relacionados con el libro.

a) Actualidad e importancia del libro

La actualidad y la importancia de este valioso libro, se hace evidente al abordar el tema del reciclaje de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, el cual permite recuperar materiales indispensables para los procesos productivos, reduciendo costes de fabricación que la industria puede destinar a inversión en I+D+i para fabricar aparatos más eficientes e inteligentes, así como a la disminución de la basura electrónica, la cual puede provocar grandes daños al

medio ambiente. Este tema reviste singular importancia al ser tratado desde el contexto ecuatoriano, detallar los esfuerzos actuales de gestión de los residuos electrónicos realizados en el país y discutir las perspectivas de futuro y los retos a los que se enfrenta.

Aporte al estudio de la ciencia específica que trata

Este libro aporta reflexiones sobre la situación actual de los principales residuos de aparatos electrónicos, su composición e identificación de los elementos peligrosos para el medio ambiente; las formas de eliminación y las propuestas de organismos especializados. Los datos se explican y se comparan con los esfuerzos actuales de gestión de los residuos electrónicos realizados en Ecuador. Los autores hacen un resumen de diversas tecnologías para el reciclaje de RAEE diseñadas y aplicadas en Ecuador.

b) Objetividad de la información presentada

La información presentada se caracteriza por ser objetiva y pertinente. Ello coadyuva a la presentación concreta y fundamentada de la información correspondiente, por parte de los autores. Es evidente que el libro no constituye un instrumento de propaganda a la institución donde se desarrolla la investigación.

c) Actualidad de las citas y referencias bibliográficas

La actualidad de las citas y referencias es adecuada, con un correcto porcentaje de referentes de los últimos 5 años.

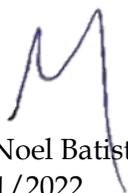
d) Validez de los datos incluidos en el libro

Lo datos estadísticos incluidos en el libro fueron tomados de fuentes oficiales actuales y están correctamente referenciados.

Finalmente marque con una X su criterio general sobre la obra analizada

RESIDUOS ELECTRÓNICOS

Publicar de manera directa	X
Publicar con adecuaciones menores (hasta 30 días para solucionar)	
Publicar con adecuaciones mayores (hasta 90 días para solucionar)	
No publicar	



Firma: Dr. Noel Batista Hernández

Fecha 17/11/2022

EDITORIAL.CCGECON.US

INFORME DEL EVALUADOR DE LIBRO

Nombre y apellidos del evaluador: Maikel Yelandi Leyva Vázquez

Grado académico: Doctor en Ciencias Técnicas

Institución donde labora: Universidad Regional Autónoma de Los Andes. Ecuador

Cargo o función que desempeña: Director General de UNIANDES Sede Babahoyo

Título del libro: RESIDUOS ELECTRÓNICOS

Criterio	Mal	Regular	Bien	Excelente
1. El tema tratado es de actualidad e importancia para la ciencia específica.				X
2. La extensión del libro es adecuada				X
3. El análisis teórico es actualizado (más del 50% de las referencias son de los últimos cinco años)				X
4. El libro denota un aporte a la disciplina que aborda				X

Criterio	Mal	Regular	Bien	Excelente
5. Está bien fundamentada la teoría incluida en el libro				X
6. Se evidencia objetividad en los temas tratados				X
7. Aborda las corrientes principales de la ciencia específica				X
8. Los datos abordados en el libro se encuentran validados por métodos que lo fundamentan.				X
9. La redacción y ortografía son buenas.				X
10. Existe relación entre el título y los aspectos abordados en el libro.				X
11. Los cuadros, tablas y figuras tienen buena calidad.				X

Aspectos a comentar.

Comente en una o varias hojas los siguientes elementos relacionados con el libro.

a) Actualidad e importancia del libro

La relevancia de este valioso libro se hace patente al abordar el tema de residuos electrónicos, que permite recuperar materiales esenciales en el proceso de fabricación, reduciendo costos de producción que la industria puede canalizar en inversión. El tema fue relevante desde el contexto ecuatoriano, describiendo los esfuerzos actuales del país para gestionar los desechos electrónicos y discutiendo las perspectivas y desafíos futuros.

Aporte al estudio de la ciencia específica que trata

El libro ofrece reflexiones sobre el estado actual de los principales residuos de equipos electrónicos, su composición e identificación de elementos nocivos para el medio ambiente, métodos de eliminación y recomendaciones para organismos específicos. Los datos se interpretan y comparan con las medidas actuales de gestión de desechos electrónicos en Ecuador. Los autores resumen las diferentes tecnologías de reciclaje de RAEE desarrolladas y utilizadas en Ecuador.

b) Objetividad de la información presentada

La información presentada se caracteriza por ser objetiva y pertinente. Ello coadyuva a la presentación concreta y fundamentada de la información correspondiente, por parte de los autores. Es evidente que el libro no constituye un instrumento de propaganda a la institución donde se desarrolla la investigación.

c) Actualidad de las citas y referencias bibliográficas

La actualidad de las citas y referencias es adecuada, con un correcto porcentaje de referentes de los últimos 5 años.

d) Validez de los datos incluidos en el libro

Los datos estadísticos incluidos en el libro fueron tomados de fuentes oficiales actuales y están correctamente referenciados.

Finalmente marque con una X su criterio general sobre la obra analizada

Publicar de manera directa	X
Publicar con adecuaciones menores (hasta 30 días para solucionar)	

AUTORA:



RUTH ANDREA CAMPAÑA LOZANO

Especialista en Ciencia, Tecnología y Sociedad. Sus antecedentes son en: ambiente, ciencia abierta, políticas públicas de ciencia, tecnología e innovación.

Tiene experiencia en proyectos como: Scientific Electronic Library Online-SciELO-Ecuador desde el año 2019, políticas públicas de ciencia, tecnología e innovación desde el año 2014. Docencia en el ámbito de innovación y emprendimiento desde el año 2021.

Entre sus trabajos se destacan:

- 1.- Evaluación físico-química y microbiológica de la calidad del agua de los ríos Machángara y Monjas de la red hídrica del distrito metropolitano de Quito (DMQ).
- 2.- Trayectoria Socio-Técnica de la Construcción de la Agenda Nacional de Investigación sobre la Biodiversidad.

Sus intereses son: gobernanza de la investigación científica, innovación social, ciencia abierta y ambiente.

ISBN 978-1-957271-08-8



9 781957 271088