

La gestión de los residuos electrónicos (E-waste) en Pachuca de Soto, Hidalgo: Una perspectiva social y el enfoque de la economía circular

Management of electronic waste (E-waste) in Pachuca de Soto, Hidalgo: A social perspective and the circular economy approach

Lizbeth López Banda ^a, José R. Corona Armenta ^b, Oscar Montaño Arango ^c, Gustavo E. Anaya Fuentes ^d

Abstract:

This study aims to analyze the level of knowledge, handling practices, and perception of the economic value of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) in the municipality of Pachuca de Soto, Hidalgo. A quantitative, exploratory, and cross-sectional approach was used, applying a validated questionnaire to a sample of 288 individuals aged 18 and older. The results reveal a high degree of unawareness regarding the classification of WEEE (62.2%) and its harmful effects on human health (37.8%). Moreover, 45.8% of respondents dispose of these materials along with regular household waste, while only 5.6% deliver them to recycling centers. Nevertheless, 96.5% of participants expressed willingness to sell disused devices if they were informed about their material value. The findings highlight the urgent need to implement environmental education strategies, update legal frameworks, and promote circular economy programs that encourage the formal and responsible recycling of electronic waste at the local level.

Keywords:

Electronic waste, WEEE, circular economy, environmental health, formal recycling

Resumen:

El presente estudio tiene como objetivo analizar el nivel de conocimiento, las prácticas de manejo y la percepción del valor económico de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en el municipio de Pachuca de Soto, Hidalgo. Se empleó un enfoque cuantitativo, con un diseño exploratorio y transversal, aplicando un cuestionario validado a una muestra de 288 personas mayores de 18 años. Los resultados evidencian un alto grado de desconocimiento respecto a la clasificación de los RAEE (62.2%) y sus efectos nocivos sobre la salud humana (37.8%). El 45.8% de los encuestados desecha estos residuos junto con la basura común, mientras que solo el 5.6% los lleva a centros de reciclaje. A pesar de ello, el 96.5% manifestó estar dispuesto a vender dispositivos en desuso si se informaran sobre su valor material. El estudio concluye que existe una necesidad urgente de implementar estrategias de educación ambiental, actualización normativa y programas de economía circular que fomenten el reciclaje formal y responsable de los RAEE en el contexto local.

Palabras Clave:

Residuos electrónicos, RAEE, economía circular, salud ambiental, reciclaje formal

^a Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías | Pachuca de Soto-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0008-2921-173X>, Email: lo439897@uaeh.edu.mx

^b Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías | Pachuca de Soto-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0001-7157-1634>, Email: jrcorona@uaeh.edu.mx

^c Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías | Pachuca de Soto-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-4093-2529>, Email: omontano@uaeh.edu.mx

^d Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías | Pachuca de Soto-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-3708-6763>, Email: gayana@uaeh.edu.mx

Introducción

Los residuos electrónicos, también conocidos como RAEE, representan uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI. Estos residuos contienen materiales valiosos como oro, plata y cobre, pero también sustancias tóxicas como el plomo y el mercurio que, si no son manejadas adecuadamente, generan un grave riesgo para el ambiente y la salud humana. En México, se generan aproximadamente 1.5 millones de toneladas de RAEE al año, siendo el tercer país con mayor producción en el continente americano. Sin embargo, solo el 15% recibe un tratamiento adecuado.

El acelerado crecimiento urbano, junto con la globalización económica, la accesibilidad de productos tecnológicos, han potenciado una demanda sin precedentes de dispositivos electrónicos. Este fenómeno ha provocado un crecimiento exponencial en su producción y desecho.

La revolución tecnológica e industrial de las últimas décadas ha transformado radicalmente a la sociedad, modificando desde las formas de interacción humana hasta el acceso al conocimiento. Sin embargo, genera un gran problema: la gestión de los residuos electrónicos, que ha ido aumentando con las décadas a causa de su duración breve (Márquez Estrada, Opina Correa, Vélez Bolívar, & Martínez Crespo, 2024). Algunos de los artefactos eléctricos son: los dispositivos móviles, los ordenadores, las cámaras profesionales, las videoconsolas, GPS, los equipos médicos, los carros eléctricos y los dispositivos de producción musical (Carrazco, Veintimilla, & Cárdenas, 2025).

De acuerdo con la documentación oficial del gobierno argentino (MAyDS 2020), según el “Observatorio Mundial de Residuos Electrónicos”, la humanidad produjo durante el 2019 cerca de 56 millones de toneladas de equipos eléctricos y electrónicos. Este valor equivale a 7,3 kg anuales por habitante, que representan un aumento del 21% desde 2014, proyectando que podría haber un incremento de 56% para el año 2030 teniendo unos resultados de aproximadamente con 74 millones de toneladas (Clinckspoor & Zulaica, 2024).

Mientras Asia contribuye con 24.9 millones de toneladas (Mt) de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) casi el doble que América (13.1 Mt), Europa ocupa el tercer lugar (12 Mt). A diferencia, África y Oceanía presentan volúmenes mucho menores (2.9 Mt cada uno) (Roy, et al., 2022).

Si bien en el comunicado de Noticias ONU (2024), en 2022 la generación formal de e – waste alcanzo una cifra de aproximadamente 62 Mt, con un incremento anual de 2.6 millones de toneladas. Si se continua así esta tendencia, se proyecta que para 2030 la cifra alcanzará

los 83 Mt, lo que implicaría un aumento del 33%. Esta proyección supera en 9 millones de toneladas las estimaciones previstas por (Clinckspoor & Zulaica, 2024). Es esencial destacar que se deben aprender a gestionar los RAEE, para que así se minimice el riesgo y por consecuente prevenir el daño a los recursos como el agua, aire, suelo, flora, fauna (Carrazco, Veintimilla, & Cárdenas, 2025).

La investigación sobre el e – waste es vital ya que se enfoca en aspectos esenciales como el conocimiento ciudadano para tener un análisis real de cómo se expone la población a sustancias peligrosas, así como brindar información sobre los riesgos y sobre todo de la oportunidad económica desaprovechada, además se exponen los vacíos regulatorios críticos.

En la república mexicana actualmente el 40.2% de las personas de entre 16 y 64 años tienen una televisión con acceso a internet, el 37.4% tienen una Tablet, una población considerable (58%) tiene laptop o PC de escritorio y casi el total de población, en específico el 98.9% tienen un teléfono smartphone. (Calderón, 2024). Según los datos de la Asociación Mexicana de Recicladores de Residuos Electrónicos (Galván, 2024), México ocupa el tercer lugar del continente americano en generación de desechos electrónicos, contribuyendo con 1.5 millones de toneladas al año. A escala global, esta cifra se eleva ya que cada año se desechan 68 Mt de estos materiales.

Según Edgar Lugo, director de la Asociación Mexicana de Recicladores de Residuos Electrónicos, “*A nivel mundial, cada persona genera 9.7 kilogramos de residuos electrónicos por año, mientras que, en México, en promedio se generan 11.7 kilogramos, es decir que estamos por arriba de la media global y a pesar de ello hoy tenemos una ausencia de regulación que aumenta los riesgos de este problema*” citado en (Calderón, 2024).

Un análisis de Katia Cid, secretaria de la Asociación Mexicana de Recicladores de Residuos Electrónicos, revela que actualmente México enfrenta un grave retraso en el manejo de desechos electrónicos. Esto por la carencia de hábitos responsables al adquirir dispositivos electrónicos y electrodomésticos, así como a la ausencia de un marco regulatorio eficiente que permita una gestión adecuada de estos residuos.

Se desea que este sexenio de gobierno si haga algo y tome medidas pertinentes, la funcionaria Cid hizo hincapié en que “*si se cumple la mitad de lo prometido en el Plan México en materia de residuos electrónicos, será un gran avance, porque hoy no hay avances, estamos rezagados frente a otros países incluso de América Latina*”, citado en (Residuos Expo, 2025). En América Latina el primer estudio sobre el correcto manejo de los desechos electrónicos, se denominó

“Monitoreo Regional de Residuos Electrónicos para América Latina”, este informe se elaboró por SCYCLE (Programa de Ciclos Sostenibles) y el UNITAR (Instituto de las Naciones Unidas para la Formación Profesional e Investigaciones), en conjunto con la Universidad de las Naciones Unidas. Este documento es parte del proyecto ONUDI-FAMAM, en el que colaboran varios países, revelando lo que acontece en cada uno de ellos. Entre los países participantes se encuentran, por Centro América: El Salvador; Guatemala, Honduras, Panamá, Nicaragua y Costa Rica; por Sud América: Ecuador; Bolivia, Perú, Venezuela, Chile, Uruguay y Argentina (United Nations Industrial Development Organization, 2022).

En México sólo la Ciudad de México es la única entidad federativa que cuenta con un tratamiento de chatarra electrónica y hay 16 Estados que cuentan con empresas formales que aplican el mantenimiento correctivo pertinente para el manejo de los RAEE. (Galván, 2024). Además, existe una norma ambiental para la CDMX denominada, NADF – 019 – AMBT – 2018 (Secretaría del Medio Ambiente, 2020). Su actualización, desde 2022, ha sido postergada. En el sexenio pasado, 2018 – 2024, el gobierno federal, no realizó actualizaciones o modificaciones para mejorar La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (Residuos Expo, 2025).

Actualmente, este gobierno indicó que se realizaran los trabajos pertinentes para actualizar la NOM-191-SEMARNAT-2011 con el congreso, pero es importante recordar que, si no hay cambios en la normatividad, no se tendrán las soluciones requeridas (Calderón, 2024).

Desarrollo experimental

Se realizó un estudio cuantitativo de tipo exploratorio y transversal, aplicando una encuesta estructurada a 288 personas adultas del municipio de Pachuca de Soto, seleccionadas mediante muestreo probabilístico para poblaciones finitas. La encuesta abordó tres dimensiones: conocimiento general sobre RAEE, prácticas de manejo y percepción del valor económico. El instrumento fue sometido a una prueba piloto para asegurar su validez y confiabilidad. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva y se representaron mediante tablas y figuras conforme a los estándares solicitados

De acuerdo con el INEGI, en el Censo de Población y vivienda realizado en 2020, conteo que se realiza cada década, México se posiciona como uno de los países más poblados a nivel mundial, en la décimo primera posición, con 126,014,024 habitantes. En el estado de Hidalgo residían 3,082,841 personas de los cuales 2,120,760 son adultos mayores de 18 años de edad. Este estudio se enfoca en el municipio de Pachuca de Soto, el cual contaba en 2020 con una población de

314,331 habitantes (149,559 hombres y 164,772 mujeres). En la investigación se tomó en cuenta únicamente a las personas mayores de 18 años, es decir 231,928 individuos: de los cuales son hombres 108,021 (46.6%) y son mujeres 123,907 (53.4%) (Instituto Nacional de Geografía y Estadística, 2021).

Sin embargo, según el Consejo Nacional de Población (CONAPO), organismo encargado de analizar, estudiar y planear políticas sobre la demografía del país, conforme al informe de las proyecciones para el año 2025 se estimó que en este año hay un total de 3,299,857 personas en el estado de Hidalgo, de esta cifra la población adulta es de 2,358,023 habitantes con una distribución de 1,104,077 hombres y 1,253,946 mujeres. (Consejo Nacional de Población, 2023). Con estos datos como referencia y los del INEGI, se realizó una proyección de la cantidad de los habitantes en Pachuca de Soto para el año 2025:

Proporción de adultos en Hgo (2020)

$$\frac{2,120,760}{3,082,841} \cdot 100 = 68.79\% \quad (1)$$

Proporción de adultos en Hgo (2025)

$$\frac{2,358,023}{3,299,857} \cdot 100 = 71.45\% \quad (2)$$

Estimación Pachuca de Soto ≥ 18 años (2025)

$$231,928 \left(\frac{71.45\%}{68.79\%} \right) = 240,896 \quad (3)$$

Estimación por género (Hombres)

$$240,896 \cdot 0.466 = 112,258 \quad (4)$$

Estimación por género (Mujeres)

$$240,896 \cdot 0.534 = 128,638 \quad (5)$$

A fin de establecer la muestra óptima, se utilizará la fórmula para poblaciones finitas (Question Pro, 2025)

$$n = \frac{N \cdot z^2 \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N - 1) + z^2 \cdot p \cdot q} \quad (6)$$

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño de la población finita

Z = Parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza (NC)

e = Error de la estimación máximo aceptado

p = Probabilidad de éxito (que ocurra el evento estudiado)

q = probabilidad de que no ocurra el evento (1 – p)

Donde:

n = Tamaño de la muestra.

N = Población total (240,896).

Z = Valor crítico según el nivel de confianza (para un 95% de confianza, Z=1.96).

p = Proporción estimada de éxito p=.75

q= 1 – p (es decir, q =0.25).

e = Margen de error (5% = 0.05).

Empleamos la formula:

$$n = \frac{240,896 \cdot (1.96)^2 \cdot 0.75 \cdot 0.25}{(0.05)^2 \cdot (240,896 - 1) + (1.96)^2 \cdot 0.75 \cdot 0.25} \quad (7)$$

Mediante este análisis estadístico permitió calcular el número de elementos necesarios para la muestra que es de n= 287.7, lo que en números reales es 288, para conocer la proporción por genero seria:

$$H = \frac{112,258}{240,896} \cdot 288 = 135 \quad (8)$$

$$M = \frac{240,638}{240,896} \cdot 288 = 153 \quad (9)$$

También se hizo un análisis para calcular la población infinita con los datos que se tomaron anteriormente y se aplicará la formula: (Question Pro, 2025).

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2} \quad (10)$$

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño de la población finita

Z = Parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza (NC)

e = Error de la estimación máximo aceptado

p = Probabilidad de éxito (que ocurra el evento estudiado)

q = Probabilidad de que no ocurra el evento (1 – p)

Empleamos la formula:

$$n = \frac{(1.96)^2 \cdot 0.75 \cdot 0.25}{(0.05)^2} = 288.12 \quad (11)$$

Resultados

Conocimiento general del e- waste

En este apartado se establece una línea base acerca del desconocimiento de la población sobre el tema principal, derivado de los resultados de la pregunta número 1 se reveló que el 62.2% de los encuestados nunca han escuchado hablar sobre la clasificación de los residuos electrónicos, el 21.2% no está seguro y sólo el 16.7% ha

Los hallazgos indican que el 62.2% de los encuestados no conoce la clasificación de RAEE, y el 37.8% desconoce los riesgos para la salud asociados a estos residuos, particularmente por la presencia de metales pesados como plomo y mercurio. En cuanto a las prácticas de disposición, el 45.8% de los encuestados desecha sus aparatos electrónicos junto con la basura común, mientras que solo el 5.6% acude a centros de reciclaje autorizados. Asimismo, se identificó que el 21.9% guarda los aparatos obsoletos en sus hogares sin darles un destino final.

Respecto a la percepción del valor económico, un 96.5% de los participantes afirmó que estaría dispuesto a vender dispositivos electrónicos en desuso si tuvieran mayor información sobre el valor de sus materiales. Esta cifra revela un alto potencial para la implementación de incentivos económicos vinculados al reciclaje.

Se observaron diferencias significativas según el nivel educativo: las personas con estudios universitarios mostraron mayor conocimiento sobre los RAEE (52.4%), en comparación con aquellas que sólo cursaron la educación básica (28.7%). Además, se identificó que los jóvenes entre 18 y 29 años son el grupo que más frecuentemente renueva sus dispositivos electrónicos, lo cual incrementa el volumen de RAEE. Finalmente, el 84.7% de los encuestados manifestó que nunca ha recibido información institucional sobre el reciclaje de residuos electrónicos, lo cual evidencia una brecha importante en la comunicación ambiental por parte de las autoridades locales.

Esta información se obtuvo a partir de una encuesta desarrollada con 10 ítems, los datos obtenidos se organizaron mediante gráficas y tablas para facilitar la interpretación de los resultados y asegurar una solidez en el estudio. Los resultados se contrastaron con investigaciones previas a nivel nacional e internacional. La estructura muestra la identificación del problema, así como sus implicaciones (mal manejo y riesgos) además de que menciona la gran oportunidad económica que podría representar en Hidalgo de ser aprovecha de forma correcta comparando la situación con otros países y finalmente plantea un incentivo que puede cambiar la forma en la que vivimos. Esta metodología empleada proporcionó información valiosa sobre la situación local, además de sentar las bases para futuras propuestas de gestión sostenible de residuos electrónicos, destacando la importancia de la educación ambiental y la implementación de políticas públicas efectivas.

escuchado hablar sobre una clasificación, esto se muestra en la Figura 1.

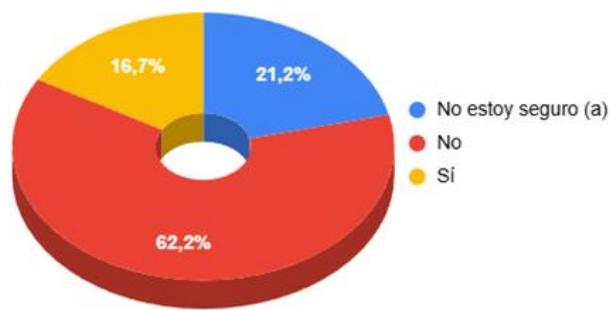


Figura 1: Conocimiento de la clasificación de e-waste de los habitantes. Fuente: Elaborada con datos propios

En la pregunta 2, se pidió a las personas identificar lo que consideraban residuos electrónicos, 217 personas respondieron que teléfonos celulares viejos, 186 personas dijeron que televisores rotos, 170 personas computadoras en desuso, también hubo 62 personas que consideran residuos electrónicos a las latas de aluminio y 51 personas a los envases de cartón dejando en último lugar a las botellas de plástico con un total de 17 personas, como se muestra a continuación en la Figura 2.

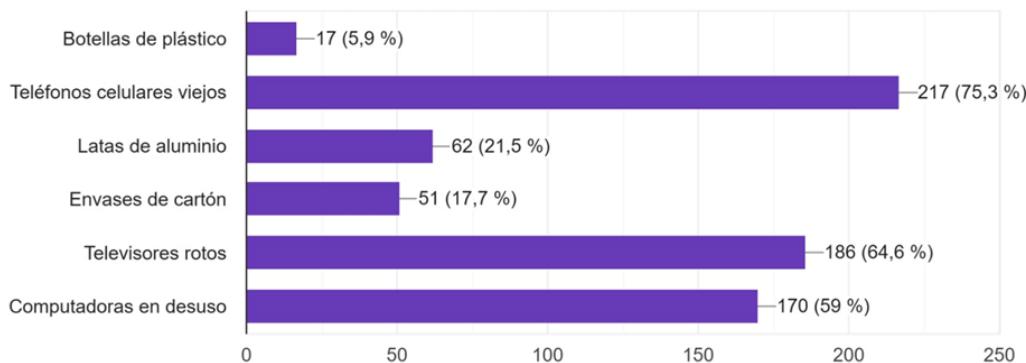


Figura 2: Consideraciones de los encuestados sobre los RAEE. Fuente: Elaborada con datos propios.

Por lo tanto, es de suma importancia que las personas tengan el conocimiento correcto de su clasificación y también cuales realmente son considerados residuos electrónicos, para su correcto manejo, en la Tabla 1 se observan las diferentes categorías de los equipos electrónicos.

Tabla 1: Clasificación de los residuos electrónicos. Fuente: Elaboración propia, con base en la Lista indicativa de AEE (Consejo del Parlamento Europeo, 2012).

Categorías	Ejemplos
Grandes electrodomésticos	Grandes equipos refrigeradores, frigoríficos, congeladores, otros grandes aparatos utilizados para la refrigeración, conservación y almacenamiento de alimentos, lavadoras, secadoras, lavavajillas, cocinas, hornos eléctricos, placas de calor eléctricas, hornos de microondas, otros grandes aparatos utilizados para cocinar y en otros procesos de transformación de los alimentos, aparatos de calefacción eléctricos, radiadores eléctricos, ventiladores eléctricos, aparatos de aire acondicionado.
Pequeños electrodomésticos	Aspiradoras, limpia moquetas, otros aparatos de limpieza, aparatos utilizados para coser, hacer punto, tejer y para otros procesos de tratamiento de textiles, planchas y otros aparatos utilizados para planchar y para dar otro tipo de cuidados a la ropa, tostadoras, freidoras, molinillos, cafeteras y aparatos para abrir o precintar envases, aparatos para cortar el pelo, para secar el pelo, para cepillarse los dientes, máquinas de afeitar, aparatos de masaje y otros cuidados corporales, relojes y aparatos destinados a medir, indicar o registrar el tiempo, básculas.
Equipos de informática y telecomunicaciones	Grandes ordenadores, miniordenadores, unidades de impresión, ordenadores portátiles (incluidos unidad central, ratón, pantalla y teclado, impresoras, copiadoras, máquinas de escribir eléctricas y electrónicas, calculadoras de mesa y de bolsillo, teléfonos públicos, teléfonos inalámbricos, teléfonos móviles, contestadores automáticos y otros

	productos o aparatos de transmisión de sonido.		material de laboratorio, paneles de control.
Aparatos electrónicos de consumo y paneles fotovoltaicos	Radios, televisores videocámaras, aparatos de grabación de vídeo, cadenas de alta fidelidad, amplificadores de sonido instrumentos musicales, paneles fotovoltaicos.	Máquinas expendedoras	Máquinas expendedoras automáticas de bebidas calientes, máquinas expendedoras automáticas de botellas o latas, frías o calientes, máquinas expendedoras automáticas de productos sólidos, máquinas expendedoras automáticas de dinero, todos los aparatos para suministro automático de toda clase de productos.
Aparatos de alumbrado	Luminarias para lámparas fluorescentes, con exclusión de las luminarias de los hogares, lámparas fluorescentes rectas, lámparas fluorescentes compactas, lámparas de descarga de alta intensidad, incluidas las lámparas de sodio de presión y las lámparas de haluros metálicos, lámparas de sodio de baja presión.		
Herramientas eléctricas y electrónicas (con excepción de las herramientas industriales fijas de gran envergadura)	Taladradoras, sierras, máquinas de coser, herramientas para tornear, molar, enarenar, pulir, aserrar, cortar, cizallar, taladrar, perforar, punzar, plegar, encorvar o trabajar de manera similar la madera, el metal u otros materiales, herramientas para remachar, clavar o atornillar, o para sacar remaches, clavos, tornillos, o para aplicaciones similares, herramientas para soldar (con o sin aleación) o para aplicaciones similares, herramientas para rociar, esparcir, propagar o aplicar otros tratamientos con sustancias líquidas o gaseosas por otros medios, herramientas para cortar césped o para otras labores de jardinería.		
Juguetes o equipos deportivos y de ocio	Trenes eléctricos o coches de carreras en pista eléctrica, consolas portátiles, videojuegos, ordenadores para realizar ciclismo, submarinismo, correr, hacer remo, etc. material deportivo con componentes eléctricos o electrónicos, máquinas tragaperras.		
Productos sanitarios (con excepción de todos los productos implantados e infectados)	Aparatos de radioterapia, aparatos de cardiología, diálisis, ventiladores pulmonares, aparatos de medicina nuclear, para aparatos de laboratorio para diagnóstico in vitro, analizadores, congeladores, pruebas de fertilización.		
Instrumentos de vigilancia y control	Detectores de humos, reguladores de calefacción, termostatos, aparatos de medición, pesaje o reglaje para el hogar o como		

Prácticas de manejo de e-waste en las viviendas en el municipio de Pachuca

En esta parte, se obtiene información que demuestra que las personas tienen hábitos insostenibles para el medio ambiente e inclusive para consigo mismos, los resultados de la pregunta 5 en la encuesta evidenciaron la falta de conciencia ambiental, ya que el 45.8% de la población encuestada, cuando deja de funcionar o dejan de utilizar un dispositivo electrónico, lo tiran a la basura, un 29.2% los vende o los regala, el 19.4% los guarda en sus casas y sólo el 5.6% los lleva a un centro de reciclaje, como se muestra a continuación:

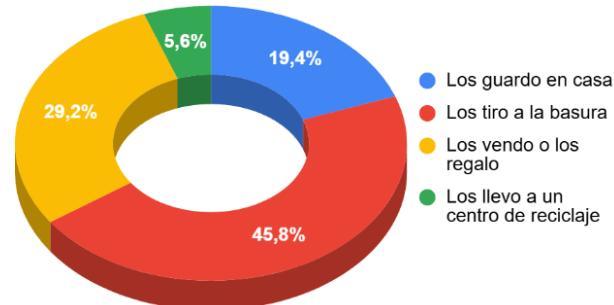


Figura 3: El destino de la basura electrónica de los hogares en Pachuca de Soto. Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos en la pregunta 6 nos indica que el 54.9% de la población encuestada desconoce cómo realizar un mantenimiento preventivo a los dispositivos electrónicos, el 34.7% a veces lo realizan y sólo el 10.4% siempre lo realizan.

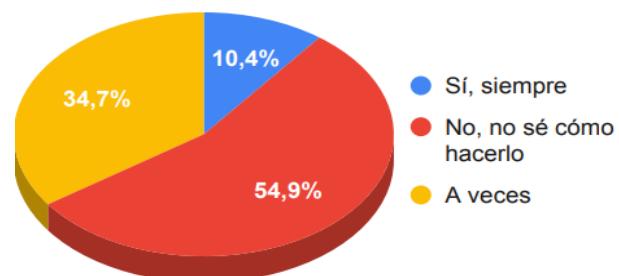


Figura 4: Mantenimiento preventivo (limpieza, actualizaciones) a los dispositivos electrónicos que realiza la humanidad. Fuente: Elaboración propia

Conciencia de los peligros para la salud humana y los daños ecológicos

Aquí se observa un vacío crítico significativo en la percepción de riesgos. En la pregunta número 8 los hallazgos evidencian que existe un desconocimiento sobre el peligro de los RAEE, el 25.7% cree que sólo contamina al entorno ambiental, el 37.8% no tiene idea que la basura electrónica sea dañina a los seres humanos, y únicamente el 36.5% es consciente que los residuos electrónicos pueden presentar riesgos para la salud de la especie humana. En la Figura 5 se muestran graficados los datos mencionados.

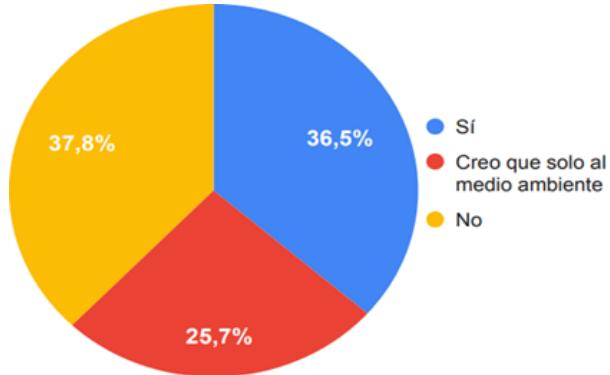


Figura 5: Concientización sobre la contaminación de e-waste en Pachuca. Fuente: Elaboración propia.

Los residuos electrónicos representan un gran peligro para el bienestar animal y de humanos, y también al medio ambiente. Los desechos provocan una enorme afección al medio ambiente como, por ejemplo: al aire, el suelo y al agua (H_2O) ya que liberan metales pesados como el mercurio y el plomo; además, a los seres humanos les puede provocar graves enfermedades respiratorias y cardiovasculares. (Bhardwaj, Rath, & Jain, 2025). La contaminación por los elementos tóxicos puede ocurrir directamente, tocándolos o respirándolos, o indirectamente, al encontrarse cerca de ambientes contaminados o inclusive ingiriéndolos, dándose o no cuenta de ello.

El plomo es altamente contaminante, aproximadamente el 70% de los niños analizados en zonas contaminadas presentan niveles de Pb en sangre más altos de los estándares de seguridad. Además, los hijos recién nacidos de mujeres que estaban embarazadas y expuestas a residuos electrónicos, tuvieron un menor peso al nacer, hasta incluso que el parto se dé antes del periodo normal de gestación (Bhardwaj, Rath, & Jain, 2025).

Tabla 2: Compuestos tóxicos comunes en los residuos electrónicos, con sus fuentes y sus efectos. Fuente: Elaborado con base en (Bhardwaj, Rath, & Jain, 2025).

Nombre de los compuestos	Fuentes	Efectos en la salud
Cadmio (Cd)	PCB, baterías recargables, interruptores, CRTs, resistencias sensibles a la luz, teléfonos móviles, portátiles, ordenadores y	Pulmonar, carcinógeno, estructura ósea, déficits de aprendizaje y daño renal

Los resultados de la encuesta en la pregunta 3, revelaron que casi la mitad de los encuestados (49.3%), no han escuchado hablar sobre algún material peligroso de los RAEE, de los encuestados el 16.3% de las 288 personas no están completamente seguros y aproximadamente la tercera parte de la población encuestada (34.4%) es consciente completamente que en los desechos son altamente nocivos y peligrosos, en la figura 6 se encuentra una representación.

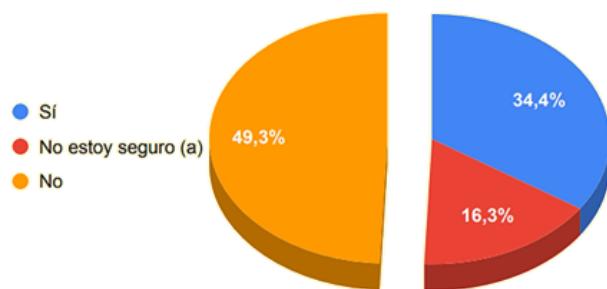


Figura 6: Recuento de opiniones sobre los RAEE y su peligrosidad. Fuente: Elaboración propia

En la pregunta 4 de la encuesta realizada, arrojó que un 33% de los encuestados creen que lo que tiene mayor índice de toxicidad y riesgos nocivos de los desechos son los productos químicos en baterías; 22.9% en los metales pesados (plomo, mercurio); el 22.2% no estaba seguro de seleccionar alguna de las opciones y el 21.9% dijo que son los plásticos no biodegradables, en la Figura 7 se puede analizar esta información.

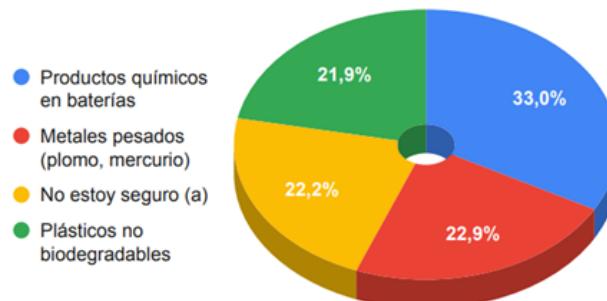


Figura 7: Perspectiva de la sociedad sobre la sustancia (compuesto) más contaminante que contienen algunos de los residuos electrónicos. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2, se observa el análisis de las sustancias nocivas comunes presentes en los RAEE que suelen afectar a nuestro entorno y organismos vivos incluyendo los animales, las plantas, los seres humanos y para los ecosistemas.

	estabilizadores UV en cables de PVC más antiguos	
Cloruro de polivinilo (PVC)	Aislamiento de cables eléctricos	Posteriori a su quema, se produce dioxina, que es un disruptor endocrino y tiene efectos en la fertilidad y del desarrollo
Plomo (Pb)	Paneles de vidrio, vidrio de monitores CRT, baterías de plomo-acido, PCB, pantallas LCD, teléfonos móviles, fibras ópticas, televisores, laptops, motores eléctricos	Daño al centro neural integrador y al riñón, aborto espontaneo, coeficiente intelectual más bajo en niños
Antimonio (Sb)	Metales traza	Carcinógeno para humanos
Bario (Ba)	CRT y lámparas fluorescentes	Debilidad muscular, irritación del estómago, hinchazón del cerebro, daño al corazón, hígado y bazo
Ftalatos	Plásticos, especialmente cloruro de polivinilo (PVC)	Cancerígeno y nocivo para la reproducción
Berilio (Be)	Placas de circuitos y computadoras	Cáncer de pulmón y cambio en el ADN
Mercurio (Hg)	Interruptores, tubos fluorescentes, baterías de plomo-acido, computadoras, televisores, laptops, motores eléctricos y pantallas LCD	Deterioro sensorial, dermatitis, pérdida de memoria y debilidad muscular, alteraciones en el desarrollo neurológico infantil
Cloro-bencenos	Formado durante la combustión de los plásticos clorados de PVC	Impactos en la tiroides e hígado
Cromo hexavalente (Cr)	Recubrimientos metálicos para proteger de la corrosión y ordenadores	Carcinógeno, inhibe la proliferación celular, causa membrana celular, roturas en el ADN
Azufre (S)	Baterías de plomo – acido	Daño hepático y renal, irritación de ojos, garganta, alteración de la circulación sanguínea, disfunción inmunitaria y reproductiva, trastornos estomacales y gastrointestinal
Retardantes de llama bromados	Artículos electrónicos como televisores, teléfonos, computadoras	Alteración al sistema nervioso, problemas de tiroides e hígado
Arsénico (As)	Teléfonos móviles	Cancerígenos, enfermedades cardiovasculares, daño cerebral, daño a los nervios, lesiones cutáneas, problemas respiratorios, alteraciones genómicas
Paladio (Pd)	Teléfonos inteligentes	Efectos adversos dermatológicos y oculares, incluyendo reacciones de sensibilización alérgica e irritación mucocutánea, tracto respiratorio, asma
Cobre (Cu)	Fibras ópticas	Daño hepático, daño renal, dolores de cabeza, mareos
Litio (Li)	Baterías recargables y portátiles	Tiroides, vómitos, diarrea, náuseas, enrojecimiento de ojos, pirosis y perdida del apetito
Níquel (Ni)	Baterías recargables y portátiles	Problemas respiratorios, de la piel, renales, gastrointestinales, trastornos cardíacos

Un estudio tailandés analizó la presencia de algunos metales pesados como, por ejemplo: el Plomo, Cadmio, el Arsénico y Níquel en las estaciones húmedas y secas en talleres que se dedican al desensamblaje de residuos electrónicos, los resultados que fueron realmente

sorprendentes ya que en la estación de clima árido hay mayores índices de concentración de estos metales. Se cree que se debe a diversos aspectos climáticos y ambientales, entre ellos: la contaminación difusa, la precipitación, la erosión del suelo y las variaciones del

nivel del agua durante la estación húmeda pueden redistribuir los metales pesados en el suelo.

Se descubrió que los talleres de chatarra, tienen mayores concentraciones de metales en el suelo que los talleres de reparación en una investigación de China, además se descubrió que el plomo posee una resistencia de 10 días antes de que caiga en el suelo y dañe el agua y los suelos (Pibul, Jawjit, & Yimthiang, 2023).

Materiales valiosos en los e -waste y su potencial económico

En esta parte se resalta la oportunidad económica desaprovechada, los datos recopilados de la pregunta 7 de la encuesta indican que sólo el 17.7% de los habitantes saben que los aparatos electrónicos tienen materiales con un valor económico considerable, el 38.8% de los encuestados suponen que su única función es reciclarlos y más de la mitad de la población, en específico 54.2% de la población en Pachuca no saben que los RAEE contienen materiales valiosos y que todos pueden beneficiarse de ellos.

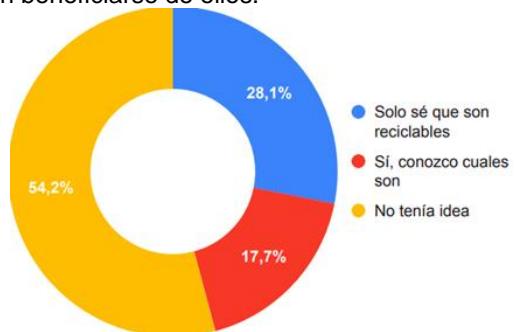


Figura 8: Conocimiento sobre los beneficios económicos de los RAEE. Fuente: Elaboración propia.

En Bangladesh, el valor comercial de e – waste tiene una cifra de 221 millones de dólares, pero a nivel global se considera de 7 mil millones USD (Roy, et al., 2022). Diversos estudios indican que los aparatos eléctricos están compuestos de hierro/acero, 50% aproximadamente, alrededor de un 20% de compuestos poliméricos y un 13% de elementos no ferrosos; aproximadamente el 13% provienen de Oro (Au), Paladio (Pd), Plata (Ag), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Mercurio (Hg) y Aluminio (Al). (Firmansyah, Rizk, & Ullah, 2025), y un 12 % de tubos y pantallas, cables 2% y 2% de placas de circuito impreso (PCB) y otros. (Roy, Islam, Haque, & Riyad, 2022)

Los elementos no ferrosos (13%) pueden describirse químicamente como inertes y escasos, de alto valor económico, que se utilizan principalmente en joyería, procesos industriales, moneda y como productos de inversión (Ji, Song, & Nakhjiri, 2024). Los teléfonos celulares son literalmente una mina oro, ya que al reciclar 1 tonelada de smartphones viejos hay 100 veces más oro que en 1 tonelada de mineral de oro, esto según la Unión Internacional de Telecomunicaciones. En general, se tiene que la basura generada a nivel global genera

anualmente 62,500 millones USD, cifra que representa una cantidad mayor al PIB de algunos países (Organización de las Naciones Unidas, 2019).

Según la encuesta, en la pregunta 9 el 96.5% de personas si supieran exactamente que partes vender de sus dispositivos viejos, sin duda lo harían y sólo el 3.5% no lo harían.

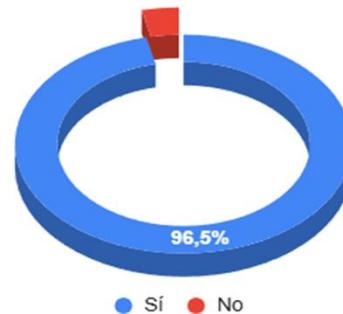


Figura 9: Disposición de las personas a vender partes de sus dispositivos. Fuente: Elaboración propia.

Los materiales que comúnmente se extraen de los aparatos eléctricos son el cobre, oro y plata, encontrados en placas de circuitos. Los choches eléctricos y las turbinas eólicas utilizan disprosio y neodimio que aunque son elementos raros, también tienen un valor monetario (Romuno, 2025). El vidrio de los televisores y monitores viejos, por ejemplo, de Cathode Ray Tube (TRC) regularmente tiene plomo, que debe ser manejado con cuidado para minimizar riesgos. Muchos aparatos electrónicos contienen piezas de plástico que pueden reciclarse para fabricar nuevos dispositivos u otros productos (Romuno, 2025).

Algunas investigaciones indican que más del 80% de Ag, Au y metales del grupo del platino (PGM), están en los Smart TV, monitores y pequeños equipos informáticos. Entre los diferentes equipos electrónicos, las placas de circuito impreso (PCB) contienen más del 40% del valor total de los residuos electrónicos en metales preciosos, como Ag, Au y Pd. (Roy, et al., 2022).

Discusión

Estos resultados evidencian una desconexión entre la generación de RAEE y su gestión responsable. La baja proporción de reciclaje formal se debe, en parte, al desconocimiento generalizado y a la falta de infraestructura accesible. A diferencia de países que ya implementan programas nacionales de recolección y tratamiento, en México la regulación sigue siendo fragmentada y escasa. Esta situación limita el aprovechamiento del potencial económico de los RAEE y agrava sus efectos ambientales y sanitarios.

Uno de los propósitos (metas) de la agenda 2030 de desarrollo sostenible habla acerca de la gestión de

aparatos eléctricos y aparatos electrónicos, promoviendo la economía circular (los componentes de los dispositivos se aprovechan al máximo reutilizando y reciclando los materiales). (Organización de las Naciones Unidas, 2019).

Se prevé que los residuos electrónicos aumentarán aproximadamente un 60% per cápita entre 2021 y 2040, esto revela que el valor monetario total de Au, Ag, Cu, Pd y Pt, indica un aumento muy elevado pasando a generarse 14, 000 millones USD de los 2,200 millones USD que se generan. Según las proyecciones los residuos electrónicos contienen un aproximado de Cu (95 kt), Au (165 Mt), Ag (826 Mt), Pd (368 Mt) y Pt (109 Mt), respectivamente (Roy, et al., 2022). Los mismos autores refieren que son sectores informales, talleres de chatarra y desecho, los que realizan principalmente el reciclaje en aparatos eléctricos y electrónicos, esto

además representa una proporción muy baja, terminando los demás desechos no reciclados en diversos vertederos, desagües y canales.

Algunos residuos electrónicos importados ahora se eliminan mediante:

- La comercialización en plataformas de comercio secundario
- La donación de estos artículos a distintos lugares
- La reventa para su reciclaje a organizaciones ecologistas.

Aunque se considera la opción más viable, esta última opción rara vez se utiliza. (Roy, et al., 2022). Los residuos electrónicos pueden tomar varios caminos y de ello depende su incidencia en el impacto ambiental, es decir, con base en la forma en la que se eliminan o se tratan los desechos es la ruta que se elige. En el diagrama de flujo se muestran las rutas posibles.

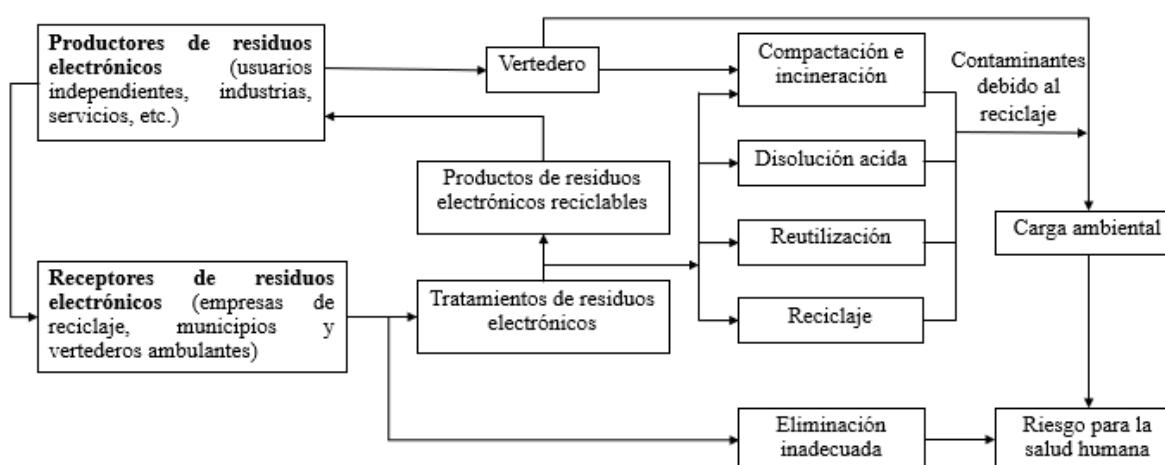


Figura 10: Flujo de manejo de los RAEE, desde su generación hasta el reciclaje o eliminación. Fuente: Tomado de (Roy, et al., 2022).

De acuerdo con algunas investigaciones se determinan diversos métodos para la extracción de componentes metálicos de los residuos electrónicos. En algunos casos se indica que la rentabilidad económica de los residuos depende de la forma en la que se realiza el trabajo de

extracción para que sea viable y sostenible económicamente. (Roy, Islam, Haque, & Riyad, 2022) proponen un modelo para la gestión sostenible de residuos electrónicos, el cual se muestra en la Figura 11.

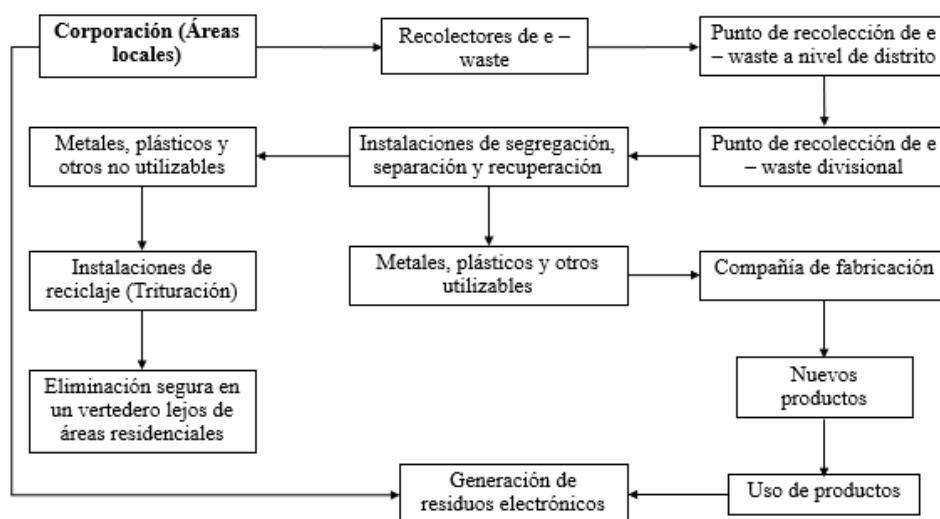


Figura 11: *Modelo propuesto para la gestión sostenible de residuos electrónicos. Fuente: Con base en (Roy, Islam, Haque, & Riyad, 2022).*

Conclusiones

El presente estudio confirma un nivel crítico de desconocimiento ciudadano sobre los residuos electrónicos (RAEE) en Pachuca de Soto, así como prácticas inadecuadas de disposición que incrementan los riesgos ambientales y sanitarios. La escasa presencia de canales de recolección formales y la falta de estrategias comunicacionales por parte del gobierno local han contribuido a que estos residuos terminen en la basura común o almacenados en hogares, desaprovechando su potencial económico.

No obstante, los hallazgos también revelan una actitud favorable por parte de la población hacia el reciclaje, siempre que se les proporcione información clara sobre el valor de los dispositivos. Este aspecto constituye una oportunidad para impulsar programas de economía circular y educación ambiental desde un enfoque intersectorial.

La información arrojó un desconocimiento por parte del 62.2% de los encuestados, respecto a la clasificación de la basura electrónica, también se comprobaron las malas prácticas de la población con el manejo de los RAEE porque el 45.8% tira los dispositivos a la basura común y desafortunadamente sólo el 5.6% los lleva a centros de reciclaje, esto se debe a que el 37.8% desconoce la peligrosidad de los componentes tóxicos contenidos en ella y que más de la mitad de la población encuestada, 54.2%, ignora que los dispositivos electrónicos contienen materiales valiosos, como oro, plata, y cobre, que pueden ser recuperados, una ventaja es que el 96.5% de la ciudadanía está dispuesta a vender los RAEE y con ello obtener un beneficio económico.

Por ello es fundamental la concientización ciudadana sobre el reciclaje formal de residuos electrónicos, para apoyar al medio ambiente, así como implementarlo como una fuente de ingresos generados por sus componentes. Sin embargo, también es importante generar políticas y normas reguladas y actualizadas para formalizar una estrategia de gestión adecuada mediante programa de tratamiento de residuos electrónicos en donde se fortalezca el reciclaje y se evite centros de tratamiento que no cuenten con las medidas de seguridad adecuadas, brindando oportunidades laborales y mejorando la economía en el municipio, y de allí escalarlo a nivel estatal.

En algunos países se está aprovechando el enorme potencial de los residuos electrónicos, generando millones de dólares cada año, incluso existen programas para tratar los residuos electrónicos, como en algunos países de latinoamericanos, a diferencia de México en donde no se cuenta con un programa formal de

aprovechamiento, a pesar de ocupar el tercer lugar en el continente americano como productores de e – waste.

Recomendaciones

Derivado de lo anterior, se realizan una serie de recomendaciones, de acuerdo con los actores clave involucrados en esta actividad:

Ciudadanía. Le corresponde participar activamente en campañas de sensibilización sobre los peligros del manejo inadecuado de los RAEE; adoptar hábitos responsables de consumo y disposición: reparar, donar o reciclar antes de desechar; y exigir información clara sobre puntos de recolección y los beneficios del reciclaje de dispositivos.

Gobierno local (municipal y estatal). Tiene que implementar un programa de recolección selectiva de los RAEE en los centros urbanos y las comunidades periurbanas; crear incentivos fiscales y económicos para empresas o emprendimientos dedicados al reciclaje formal de los RAEE; establecer convenios con instituciones educativas y medios de comunicación para difundir información sobre economía circular y salud ambiental; además de reformar y actualizar los reglamentos municipales para incluir la regulación específica del manejo de los RAEE.

Recicladores formales e informales. Deben recibir capacitación técnica y sanitaria sobre la clasificación, separación y tratamiento de los RAEE; integrarse a cadenas productivas de reciclaje reguladas, accediendo a programas de formalización laboral; incorporar tecnologías limpias para reducir la exposición a materiales peligrosos.

Sector salud. Le concierne incluir el manejo de los RAEE como parte de las estrategias de prevención de enfermedades ambientales; alertar a la población sobre los efectos del plomo, mercurio y otros contaminantes presentes en los residuos electrónicos; colaborar con instituciones educativas en programas de promoción de salud y reciclaje seguro.

Sector educativo. Le compete incorporar contenidos sobre los RAEE y economía circular en los planes de estudio de nivel básico, medio superior y superior; fomentar proyectos escolares y comunitarios de recolección, reparación y reutilización de electrónicos.

Sector empresarial y tecnológico. Le atañe establecer programas de logística inversa y centros de acopio en tiendas de electrónicos; informar al consumidor sobre la composición, vida útil y destino final de los productos que

comercializan; así como fomentar el ecodiseño y la fabricación de dispositivos reciclables y modulares.

Estas recomendaciones deben ser entendidas como parte de una estrategia integral orientada a aprovechar el valor latente de los residuos electrónicos, reduciendo sus impactos negativos y fomentando la transición hacia modelos sostenibles de producción y consumo.

Referencias

- Bhardwaj, L. K., Rath, P., & Jain, H. (2025). Exploring the effects of e-waste on soil, water quality and human health. *Discover Civil Engineering*, 2(12), 1-16. doi:<https://doi.org/10.1007/s44290-025-00167-2>
- Calderón, C. (08 de octubre de 2024). Mexicanos 'cochinos': Producen millones de toneladas de basura electrónica al año. Obtenido de El Financiero: <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/2024/10/08/mexicanos-cochinos-producen-millones-de-toneladas-de-basura-electronica-al-ano/>
- Carrazco, D. C., Veintimilla, D. A., & Cárdenas, G. O. (2025). Revisión Sistemica de la gestión integral de residuos electrónicos: desafíos y oportunidades para una ciudad amazonica sostenible. *InvestiGO*, 6(14), 354-366. doi:<https://doi.org/10.56519/fpbjgm45>
- Clinckspoor, G. L., & Zulaica, M. (2024). Indicadores de información para la gestión sostenible de residuos electrónicos. Una propuesta metodológica. *Cadernos NAUI*, 13(24), 38-57. Obtenido de <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/naui/article/view/7248>
- Consejo del Parlamento Europeo. (4 de julio de 2012). Directiva 2012/19/UE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), Anexo II. *Diario Oficial de la Unión Europea*, pág. 40. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:0038:0071:Es:PDF>
- Consejo Nacional de Población. (21 de noviembre de 2023). *Bases de datos de la Conciliación Demográfica 1950 a 2019 y Proyecciones de la población de México 2020 a 2070*. Obtenido de Gobierno de México : <https://www.gob.mx/conapo/documentos/bases-de-datos-de-la-conciliacion-demografica-1950-a-2019-y-proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-2020-a-2070>
- Firmansyah, M. L., Rizk, I. N., & Ullah, N. (2025). Recent advances in urban mining technology: A focus on electronic waste recycling potential in Indonesia. *Cleaner Waste Systems*, 10, 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100239>
- Galván, S. (20 de octubre de 2024). *¿Por qué es importante reciclar los residuos electrónicos?* Obtenido de POSTA: <https://www.posta.com.mx/amp/mexico/por-que-es-importante-reciclar-los-residuos-electronicos/vl1625029>
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística. (25 de enero de 2021). *Información demográfica y social. Censo de Población y Vivienda 2020*. Obtenido de INEGI: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#tabulados>
- Ji, L., Song, Y., & Nakhjiri, A. T. (2024). Different approaches for sustainable recovery of precious metals from electronic wastes: Techno-economic evaluation and future perspectives. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(11), 1-10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.103005>
- Márquez Estrada, S., Opina Correa, J., Vélez Bolívar, M., & Martínez Crespo, J. (2024). Desarrollo de modelos de gestión tecnológica circular para la recuperación de valores metálicos mediante el reciclaje de residuos electrónicos. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*, 1-12. doi:<https://doi.org/10.26507/paper.3552>
- Organización de las Naciones Unidas. (2019, Abril 17). *Los desechos electrónicos, una oportunidad de oro para el trabajo decente*. Retrieved from Naciones Unidas: <https://news.un.org/es/story/2019/04/1455621>
- Pibul, P., Jawjit, S., & Yimthiang, S. (2023). Soil heavy metal pollution from waste electrical and electronic equipment of repair and junk shops in southern Thailand and their ecological risk. *Heliyon*, 9(10), 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20438>
- Question Pro. (2025). *Tamaño de Muestra*. Obtenido de Question Pro: <https://www.questionpro.com/es/tama%C3%BDo-de-la-muestra.html>
- Residuos Expo. (2025). *El Plan México de reciclaje de electrónicos se fija meta imposible*. Obtenido de Residuos Expo. Inteligencia en gestión de residuos: <https://residuosexpo.com/2025/el-plan-mexico-de-reciclaje-de-electronicos-se-fija-meta-imposible/>
- Romuno, J. (15 de Enero de 2025). *El proceso completo de reciclaje de residuos electrónicos*. Obtenido de RTS: <https://www.rts.com/es/blog/the-complete-e-waste-recycling-process/>
- Roy, H., Islam, M., Haque, S., & Riyad, M. (2022). Electronic waste management scenario in Bangladesh: policies, recommendations, and case study at Dhaka and Chittagong for a sustainable solution. *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, 11. doi:<https://doi.org/10.1016/j.stae.2022.100025>
- Roy, H., Rahmana, T. U., Suhan, M., Al-Mamun, M., Haque, S., & Islam, M. (2022). A comprehensive review on hazardous aspects and management strategies of electronic of waste: Bangladesh perspectives. *Heliyon*, 8(7), 1-13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09802>
- Secretaría del Medio Ambiente. (19 de octubre de 2020). NADF 019-AMBT-2018 – Residuos Eléctricos y Electrónicos - Requisitos y Especificaciones para su manejo . *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*, pág. 17. Obtenido de https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGEIRA/Gacet a454_Aviso_NADF-019-AMBT-2018.pdf
- United Nations Industrial Development Organization. (26 de Enero de 2022). *Publicación del primer informe sobre residuos electrónicos en América Latina*. Obtenido de United Nations Industrial Development Organization: <https://www.unido.org/news/publicacion-del-primer-informe-sobre-residuos-electronicos-en-amrica-latina>