

Residuos electrónicos: análisis de las implicaciones socioambientales y alternativas frente al metabolismo urbano

Electronic waste: analysis of socio-environmental implications and alternatives to urban metabolism

Maria Cajamarca-Hermenejildo

<https://orcid.org/0009-0000-2186-5554>

maria.cajamarca.hermenejildo@uagraria.edu

Facultad de Economía Agrícola,
Universidad Agraria del Ecuador.
Guayaquil - Ecuador

Cita a este artículo: Cajamarca-Hermenejildo, M. (2025). Residuos electrónicos: análisis de las implicaciones socioambientales y alternativas frente al metabolismo urbano. *Fronteras del Conocimiento*, 4(1), 58-68.

Artículo recibido: 05 de febrero de 2025

Aceptado para publicación: 10 de marzo de 2025

Publicado: 31 de marzo de 2025

Conflictos de intereses: Ninguno que declarar

Resumen

El aumento progresivo en la generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (en adelante, raee) es proporcional a la evolución de la tecnología, esto conlleva implicaciones ambientales negativas, dadas por, las necesidades de la sociedad moderna, el consumismo de tecnología y la apropiación incontrolada de materias primas, en el marco del metabolismo urbano. De acuerdo a lo anterior, se proponen alternativas, como por ejemplo la minería urbana y la economía circular, que permitirían mejorar la eficiencia en el uso de recursos y la reutilización de materiales. Con la recolección, segregación, tratamiento y reciclaje de los raee, se contribuiría a bajar la carga contaminante y disminuir la extracción de minerales, acciones a la cual está expuesto el medio ambiente.

Palabras Claves: residuos electrónicos, metabolismo urbano, minería urbana

Abstract

The progressive increase in the generation of waste electrical and electronic equipment (from now on, weee) is proportional to the evolution of technology, this entails negative environmental implications, given by the needs, of modern society, the consumerism of technology and the uncontrolled appropriation of raw materials, within the framework of urban metabolism. In accordance with that mentioned above, alternatives are proposed, such as urban mining and the circular economy, which would improve the efficiency in the use of resources and the reuse of materials. With the collection, segregation, treatment and recycling of weee, it would help to lower the pollutant load and reduce the extraction of minerals, actions to which the environment is exposed.

Keywords: electronic waste, urban metabolism, urban mining

Introducción

El avance de las tecnologías de la información y las comunicaciones (tic) ha traído consigo la generación de residuos eléctricos y electrónicos como computadoras, celulares y electrodomésticos, entre otros. Esta tendencia, se estima, seguirá en aumento dada la evolución de la tecnología y la obsolescencia programada con la cual son diseñados estos objetos (Akcil, 2016). El principal problema al que se enfrentan hoy los países sobre este tema, está relacionado con las prácticas inapropiadas en la gestión de estos residuos, su tratamiento, la exportación ilegal y la donación inadecuada de los equipos electrónicos, además, del problema originado en la salud pública, debido a la contaminación tóxica que desencadenan estos desechos. Es así como la reutilización y el reciclaje de los raee podrían ocasionar un uso cada vez menor de los recursos naturales y podrían contribuir a reducir la contaminación ambiental. La recuperación de los componentes y materiales valiosos, a partir de estos desechos, puede traer beneficios económicos, incluso al proyectar el reciclaje como un modelo de negocio ambientalmente sustentable.

Metodología

El objetivo de este artículo es analizar implicaciones ambientales y presentar dos alternativas, que pueden hacer frente al metabolismo urbano generado por los raee. Se parte del enfoque de la extracción de materiales usados en la fabricación y el consumo de nuevas tecnologías y luego de las estrategias de aprovechamiento económico, como la minería urbana y la economía circular. Estas evidencias, de la emergencia del fenómeno a nivel global y local, sirven de apoyo para contribuir a que los ciudadanos mejoren sus actitudes, percepciones y conocimiento en la gestión de este tipo de residuos y que, además, se definan políticas enmarcadas en el desarrollo tecnológico sustentable.

Resultados y Discusión

La paradoja de Jevons o efecto rebote propuesto por el economista William Stanley Jevons define que los incrementos por la eficiencia que genera el avance tecnológico llevan a un mayor consumo (Ruiz et al., 2015). Esto es, a mayor eficiencia en la producción de un bien de consumo, menor será su costo y, por ende, mayor su demanda (Fernández, 2013). Por lo tanto, para la fabricación de la alta oferta y demanda de dispositivos electrónicos, se incrementa el

consumo de elementos que han permanecido almacenados en el subsuelo durante periodos geológicos, lo que conlleva la interferencia de los procesos biogeoquímicos naturales y sobrecarga la capacidad de los ecosistemas (Fischer y Haberl, 2000).

De ahí que las proyecciones sobre el uso de metales indiquen un agotamiento y escasez, en su disponibilidad futura a nivel mundial. Frente a esto, América Latina es una importante fuente de recursos minerales estratégicos, que provee al mercado mundial, especialmente a los principales productores de aparatos eléctricos y electrónicos, como Estados Unidos y China (Delgado, 2013). Como lo indican las estimaciones de extracción de materiales a nivel global entre el año 1980 y 2013, los minerales industriales y de construcción aumentaron más del 240 % (aprox. 40 billones de toneladas), lo que indica la importancia de esta categoría de recursos para el desarrollo industrial; y la extracción global de minerales metálicos aumentó un 183 % (aproximadamente 10 billones de toneladas) (Vienna University of Economics and Business WU, 2015).

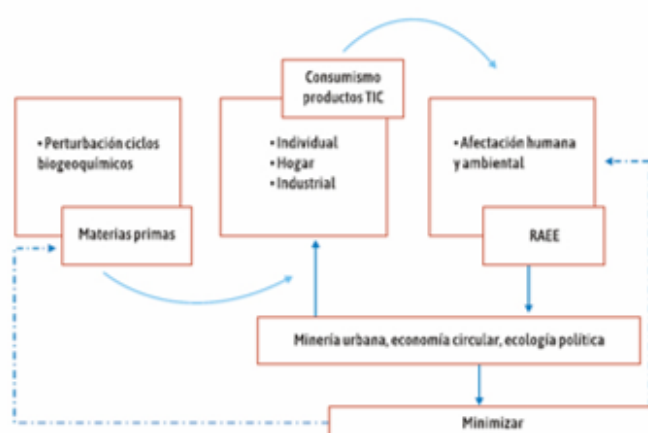
Estas consideraciones están relacionadas con la creciente acumulación de capital, que demanda una explotación y transformación mayores, del entorno natural y social, trayendo consigo implicaciones desiguales e incluso irreversibles (Delgado, 2013). Igualmente, están dirigidas a satisfacer los requerimientos de la sociedad moderna, que ha desatado un aumento potencial de las maquinaciones geopolíticas por recursos; la minería ilegal, motivada principalmente por el oro, insumo para la fabricación de diversos raees.

Así pues, sirve de ejemplo Colombia; el daño ambiental ocasionado, da cuenta de 6.330 puntos dedicados a la extracción ilegal de oro (Torres, 2015), cerca de 200 mil hectáreas de ríos y zonas selváticas deterioradas; zonas de páramo amenazadas por la búsqueda de oro en socavón; parques naturales nacionales, entre ellos, varios de la selva amazónica, en la que hace presencia la minería criminal; cuya mano de obra de indígenas, colonos y extranjeros ilegales, se da a cambio de miseria. Estas situaciones son parte de la cadena orientada a la fabricación de componentes electrónicos, utilizados para optimizar procesos empresariales, el manejo de la información, las comunicaciones y la generación de conocimiento.

Respecto a la problemática y relacionando patrones de consumo de tecnología, según la International Data Corporation (idc) las ventas de teléfonos inteligentes a nivel mundial sumaron en total 334,9 millones de dispositivos en el primer trimestre de 2016 (Tecnósfera,

2016), para el 2015 el número de dispositivos móviles a nivel global alcanzó los 7,9 mil millones y se proyecta que en 2020 existan más de 50 mil millones de dispositivos conectados en el mundo (Ditrendia, 2016). Asimismo, en el 2012 el volumen estimado de aparatos eléctricos y electrónicos comercializados fue de 9,0 millones de toneladas. La Figura 1, refleja una aproximación al consumo de tecnología en diferentes categorías, para 30 Estados miembros de la Unión Europea.

Figura 1 Categorías de aparatos eléctricos y electrónicos comercializados en la Unión Europea 2013



Nota. Es así como, los grandes electrodomésticos son los productos dominantes, seguidos por los equipos informáticos y de telecomunicaciones. Los pequeños electrodomésticos y los equipos de consumo ocupan el tercer y cuarto lugar en términos de cantidad, las demás categorías representan una pequeña parte del total de aee comercializados. De ahí que la principal fuente de rae sea la originada en los hogares (6,2 kg/hab) y la cantidad procedente de otras fuentes como la industria (0,8 kg/hab) solo es superada en países de la Unión Europea (Eurostat, 2016).

Alternativas frente al metabolismo urbano Ante la problemática generada por los rae, debido principalmente al consumismo de tecnología y la apropiación incontrolada de materias primas, podría ser útil acercarse a las motivaciones socioeconómicas y culturales que tiene la sociedad. Disminuir la dependencia por la extracción de minerales, a través de la configuración de fuertes políticas y estrategias para maximizar la separación, recuperación, reutilización y reciclaje de los rae, desde enfoques analíticos, como el metabolismo urbano y metabolismo

socioeconómico. Estos enfoques, están orientados a considerar las relaciones de intercambio humano-naturaleza; en correspondencia a esto, Fischer y Haberl señalan que: los insumos materiales, el procesamiento y los desechos de las sociedades, y la correspondiente producción energética y de colonización de la naturaleza (actividades que alteran deliberadamente los sistemas naturales con el fin de hacerlos más útiles a la sociedad) (2000: 21).

A lo que Toledo afirma que: El metabolismo social comienza cuando los seres humanos socialmente agrupados se apropian de materiales y energías de la naturaleza (input) y finaliza cuando depositan desechos, emanaciones o residuos en los espacios naturales (output) (...) El proceso metabólico se ve entonces representado por cinco fenómenos: la apropiación (A), la transformación (T), la circulación (C), el consumo (Co) y la excreción (E) (2013: 47).

Al mismo tiempo, Delgado (2013) considera que en la actualidad se ha intensificado el metabolismo social, es decir, el consumo de energía y materiales, y la correlación entre la creciente acumulación de capital y la creciente dinámica de los flujos biofísicos y de sus consecuentes implicaciones socioambientales. Sin embargo, el problema de sustentabilidad provocado por el metabolismo urbano, es que su escala, supera la capacidad de producción de los sistemas naturales, de aprovisionamiento y absorción de desechos (Fischer & Haberl, 2000); se debe orientar a un metabolismo urbano que apoye la disponibilidad de recursos naturales, para la fabricación de dispositivos electrónicos de alta calidad, con los mínimos impactos ambientales negativos para las generaciones futuras.

Aprovechamiento económico de los rae Se estima que una tonelada de rae tiene un costo de 500€, es por esto que la generación de residuos electrónicos, podría verse como una oportunidad de negocio, dado los volúmenes y el contenido de materiales valiosos. La fracción –incluyendo hierro, cobre, aluminio, oro y otros metales– en los residuos electrónicos, es más del 60 %, mientras que los contaminantes tóxicos comprenden aproximadamente el 2,70 % (Widmer et al., 2005).

Es por esto que la minería urbana podría ser la principal tendencia para la reducción de estos residuos. Según Brunner (como se citó en Gutberlet, 2015), la minería urbana es el proceso de recuperación de materiales y componentes de productos, edificios y desechos descartados, también definida como la reutilización sistemática de materiales antropogénicos de áreas

urbanas; ambos enfoques orientados a la conservación de los recursos y la protección del medio ambiente, además de generar beneficios económicos. En relación a esto, Cossu y Williams (2015) proponen múltiples razones que impulsarían la minería urbana, como por ejemplo la preocupación por el aumento del consumo mundial de recursos no renovables, la escasez progresiva de materias primas primarias, la reducción del espacio disponible para la disposición final de los desechos, la necesidad de reducir la cantidad y volumen de residuos generados, controlar la contaminación ambiental causada por las emisiones del tratamiento de residuos y el cambio de actitudes sociales hacia la gestión de residuos.

Se considera que, para la minería urbana, los rae son la columna vertebral, ya que se centran en materias primas de interés industrial como metales caros y elementos de tierras raras. Aunque también, se le atribuyen aspectos de reutilización de otros materiales, entre los que se encuentra por ejemplo ladrillos en la construcción de nuevas viviendas (Ergun y Gorgolewski, 2015).

Las propiedades físicas y químicas de la minería urbana, son similares a la minería tradicional, pero se considera que los costos son menores frente a los costos energéticos, ambientales y sociales de la minería del subsuelo, además la huella del carbono, la huella del agua, la huella ecológica y la huella socioeconómica, de los procesos de reciclaje son una pequeña fracción frente a la minería tradicional. Es así como, se calcula que, en Estados Unidos y Alemania, más del 70 % del acero y más del 35 % del cobre y el aluminio provienen de los residuos. Por eso, los países deben impulsar la minería urbana y regular el trabajo de los recicladores, evolucionar a un mayor entendimiento de los valiosos recursos que se pueden recuperar de los rae (Fernández, 2013).

Por otro lado, la economía circular se basa en modelos de negocio que rechazan enfoques económicos lineales; sus objetivos son mantener los productos en uso por más tiempo. Reutilizarlos y repararlos, reducir la generación de residuos y utilizar más materias primas secundarias en los ciclos de producción. Estrategias, desafíos y oportunidades que pueden estar ligadas a la minería urbana (Cossu y Williams, 2015). Al mismo tiempo, la minería urbana daría paso a la formulación de políticas y estrategias públicas en la gestión de rae, demostrando que el reciclaje de elementos de tierras raras puede ser más respetuoso con el medio ambiente que

la minería tradicional, sobre todo si estos últimos proceden de países con una aplicación débil de la legislación ambiental. También, la priorización de las acciones en alianzas público-privadas para la recolección de residuos ofrecerían oportunidades de desarrollo tecnológico, a su vez en Simoni et al. (2015), se considera que, el reciclaje de tierras raras a menudo no puede competir con la producción primaria a gran escala, dado que los precios de mercado no reflejan los impactos sociales y ambientales de la producción.

Es posible que, la minería urbana organizada permita al sector del reciclaje informal ser reconocido como un actor clave en la separación eficiente de materiales y aumente la escala de estas actividades, estableciéndose políticas para garantizar relaciones de trabajo justas y seguras, además de la conformación de cooperativas, asociaciones o empresas sociales. En Gutberlet (2015), se muestra la experiencia de las cooperativas de reciclaje, las contribuciones económicas, ambientales y sociales de una red de reciclaje del área metropolitana de São Paulo, Brasil, desde el contexto de la economía social y solidaria y de la economía ecológica. Se considera el reciclaje cooperativo como una forma de minería urbana organizada que genera beneficios de corto a largo plazo, además, es un eslabón importante en la cadena de recuperación de recursos, dado que, evita el depósito de materiales reciclables en los vertederos o rellenos sanitarios.

Conclusiones

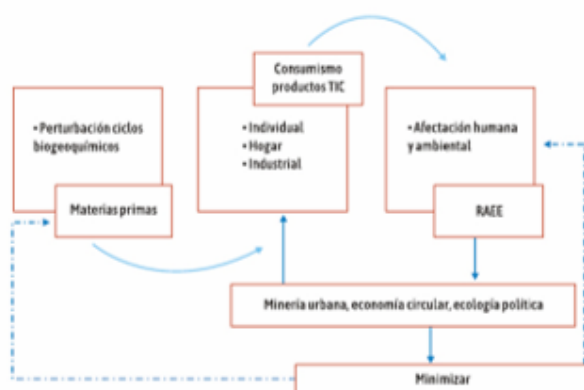
Los rae están siendo poco segregados, almacenados provisoriamente, desmantelados y reciclados, y en la mayoría de los casos se hace de una forma inapropiada, puesto que existe un divorcio entre la ineficiente regulación existente y la realidad, en pro de lograr una eficiente recuperación de los materiales presentes en estos residuos. Por esto, la forma más popular de desmantelarlos es en la informalidad, dando lugar a riesgos potenciales de exposición a sustancias tóxicas que pueden ser perjudiciales para el cuerpo humano y el medio ambiente; por lo dicho, poco se controlan los impactos ambientales negativos de la extracción de materiales usados en la fabricación de aparatos eléctricos y electrónicos, así como a los problemas de salud humana que los rae acarrean, debido a la falta de información, divulgación, educación y desconocimiento sobre los riesgos generados.

Es preponderante que la gestión de los rae se realice adecuadamente, bajo lineamientos de la economía circular. Optimizar el uso de recursos y se resalte la relación costo beneficio de la obtención de materias primas del reciclaje. Con base en la recolección, la segregación, el almacenamiento diferenciado, el tratamiento y el reciclaje de los aparatos eléctricos y electrónicos al final de su vida útil, se contribuiría así a bajar la carga contaminante por rae.

Con esquemas de minería urbana se podrían recuperar metales preciosos, tierras raras, plásticos y otros componentes. Trayendo consigo ventajas económicas y oportunidades laborales, además de beneficios ambientales, dado que los materiales recuperados evitarían la producción y extracción de nuevos materiales, incluso la disminución de los consumos energéticos. Las empresas encargadas de la minería tradicional, podrían generar ventaja económica de la gestión integral de estos residuos, delineando estrategias y apostar por plantas de tratamiento de rae, inspiradas en la economía circular y bajo ciclos que transformen rae en insumos de nuevos procesos productivos.

En la Figura 2, se muestra un esquema general de implicaciones ambientales del metabolismo urbano, provocado por los rae. Ante esta problemática ocasionada por la intervención humana, emerge la aplicación de alternativas de un campo interdisciplinario que abarque la minería urbana, la economía circular y la ecología política; como instrumentos para incidir en los comportamientos individuales y colectivos. Para así, contribuir en minimizar las perturbaciones al medio ambiente, también como proceso permanente que se inicie y se prolongue a lo largo de la vida, desde un enfoque sustentable.

Figura 2 Implicaciones ambientales y alternativas frente al metabolismo urbano



Nota. La Unión Europea aborda aspectos de los raee como, la segregación, el diseño ecológico, normas para el tratamiento y distribución de los contaminantes entre las regiones, así como el establecimiento de sanciones. En Colombia, la Ley 1672 de 2013, establece la adopción de una política pública de gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, pero es importante que estas normativas y apuestas, estén articuladas, con reflexiones de campos interdisciplinarios como la ecología política, además de establecer organismos de control eficientes, con recursos para llevar a cabo su función. Ante esto, se vislumbran retos en la adecuada gestión de los raee.

Con esta aproximación, se identifican necesidades investigativas, punto de partida para analizar a profundidad el contexto provocado por el metabolismo urbano de los raee. La minería urbana, a nivel global y local, es una temática que debe ser trabajada desde enfoques técnicos, políticos, educativos y sociales, para que la sociedad renueve su actual metabolismo urbano y que las políticas gubernamentales se enmarquen en el desarrollo tecnológico sustentable, así como la difusión de los futuros campos de acción estratégicos en la gestión de estos residuos, con potencial de mantener y generar beneficios en la sociedad colombiana.

Referencias Bibliográficas

- Akcil, A. (2016). WEEE: Booming for sustainable recycling. *Waste Management*, 57, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.014>
- Cossu, R., y Williams, I. D. (2015). Urban mining: Concepts, terminology, challenges. *Waste Management*(45), 1-3. Recuperado de <http://www.urbanmining.it/public/documents/simposio/editorial-waste-management-2015.pdf>
- Delgado, G. C. (Marzo-Abril de 2013). ¿Por qué es importante la ecología política? *Nueva Sociedad* (244). Recuperado de <https://nuso.org/articulo/por-que-es-importante-la-ecologia-politica/>

- Delgado, G. C. (2013). Costos ecológicos de la minería aurífera a cielo abierto y resistencia social: una lectura desde el proyecto Caballo Blanco en México. Intersecciones en Antropología, 14. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1795/179531063019.pdf>
- Ditrendia (2016). Informe ditrendia 2016: Mobile en España y en el Mundo. Ergun, D., y Gorgolewski, M. (2015). Inventorying Toronto's single detached housing stocks to examine the availability of clay brick for urban mining. Waste Management(45), 180-185. Recuperado de <https://www.ditrendia.es/wp-content/uploads/2014/07/Ditrendia-Informe-Mobile-en-Espa%C3%B1a-y-en-el-Mundo.pdf>
- Eurostat (2016). Waste statistics-electrical and electronic equipment. Eurostat statistics explained. Recuperado de https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics_-_electrical_and_electronic_equipment
- Fernández, G. (2013). Hacia una Era Electrónica-Digital sostenible. En Minería Urbana y la Gestión de los Residuos Electrónicos (págs. 2-33). ISALUD. Recuperado de <https://residuoselectronicos.net/wp-content/uploads/2013/09/Libro-Minier%C3%ADa-Urbana-y-RAEE-Capitulo-1-de-14.pdf>
- Fischer, M., y Haberl, H. (Agosto de 2000). El metabolismo socioeconómico. Ecología Política (19), 21-34. Recuperado de https://www.ecologiapolitica.info/wp-content/uploads/2019/10/019_Fisher-Kowalskietal_2000.pdf
- Gutberlet, J. (2015). Cooperative urban mining in Brazil: Collective practices in selective household waste collection and recycling. Waste Management, 45, 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.023>
- Ruiz, D., Martínez, J. P., y Figueroa, A. (2015). Importancia del «efecto rebote» o paradoja de Jevons en el diseño de la política ambiental. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 14(27), 11. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242015000200004

- Simoni, M., Kuhn, E. P., Morf, L. S., Kuendig, R., y Adam, F. (2015). Urban mining as a contribution to the resource strategy of the Canton of Zurich. *Waste Management*, 45, 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.045> *Tecnósfera*
- Tecnósfera*. (29 de Abril de 2016). El mercado de los teléfonos inteligentes está saturado. *El Tiempo*. Recuperado de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16576054>
- Toledo, V. (2013). El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica. *Relaciones*(136), 41-71. Recuperado de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rz/v34n136/v34n136a4.pdf>
- Torres, J. (17 de Diciembre de 2015). Nuevos desiertos avanzan detrás de la fiebre del oro. *El Tiempo*. Recuperado de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16460299>
- Vienna University Of Economics And Business –WU–. (2015). Global material extraction by material category, 1980-2013. Recuperado de https://unece.org/sites/default/files/2024-06/S8_3__Global%20Material%20Flows%20Database_UNEP%20Ekaterina%20Poleshchuk.pdf
- Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann, M., y Böni, H. (2005). Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review*, 436- 458. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195925505000466>