



Análisis bibliométrico de la investigación académica sobre e-waste (2004-2024)

Bibliometric analysis of academic research on e-waste (2004-2024)

Juan José Naranjo-Páez

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ambato, Ecuador

jjnaranjop@pucesa.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0004-9948-7732>

Judith Elizabeth Pinos-Montenegro

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ambato, Ecuador

jpinos@pucesa.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-3478-2082>

Darío Javier Robayo-Jácome

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ambato, Ecuador

drobayo@pucesa.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0661-6573>

Recepción: 22/01/2025 | Aceptación: 28/03/2025 | Publicación: 28/05/2025

Cómo citar (APA, séptima edición):

Naranjo-Páez, J., Pinos-Montenegro, J. y Robayo-Jácome, D. (2025). Análisis bibliométrico de la investigación académica sobre E-waste (2004-2024). *INNOVA Research Journal*, 10(2), 46-66. <https://doi.org/10.33890/innova.v10.n2.2025.2753>

Resumen

Reciclar la basura electrónica es emergente. Este trabajo tiene como objetivo analizar la investigación académica respecto al reciclaje de la e-waste en el periodo 2004-2024. Es desde el punto de vista metodológico un estudio bibliométrico de productividad; se siguieron los principios del método PRISMA. Se empleó la base SCOPUS, la selección de documentos privilegió los de acceso libre, para la verificación integral del contenido, el período de tiempo escogido se debe a la expansión de la tecnología y la digitalización. La ecuación de búsqueda comprendió los términos

“e-waste AND recycling”. Luego del filtro se detectó 577 documentos. Los resultados evidencian un crecimiento en las publicaciones a partir del 2019. Los países más productivos son China y Estados Unidos, seguidos de otros industrializados; mientras tanto regiones como América Latina están al margen de esa reflexión. Respecto a los hallazgos, los documentos resaltan los efectos nocivos de la e-waste sobre el ambiente y la salud, algunos puntualizan las consecuencias en la generación de cáncer y enfermedades catastróficas. Pero también señalan beneficios de su reciclaje como la recuperación de metales preciosos, el tratamiento adecuado de plásticos y acciones que detienen la contaminación de los entornos. La institución que más apoya la publicación de estudios con acceso abierto es National Natural Science Foundation of China y el Ministerio de Ciencias de ese mismo país. La principal recomendación se concentra en fortalecer y expandir los sistemas de reciclaje a todo el mundo.

Palabras claves: E-waste, reciclaje, sostenibilidad.

Abstract

Recycling e-waste is emerging. This paper aims to analyze academic research regarding e-waste recycling in the period 2004-2024. From the methodological point of view, it is a bibliometric study of productivity; the principles of the PRISMA method were followed. The SCOPUS base was used, the selection of documents favored those of free access, for the integral verification of the content, the period chosen is due to the expansion of technology and digitization. The search equation included the terms "e-waste AND recycling". After the filter, 577 documents were detected. The results show a growth in publications from 2019 onwards. The most productive countries are China and the United States, followed by other industrialized countries; meanwhile, regions such as Latin America are on the margins of this reflection. Regarding the findings, the documents highlight the harmful effects of e-waste on the environment and health, some point out the consequences in the generation of cancer and catastrophic diseases. But they also point out benefits of recycling such as the recovery of precious metals, the proper treatment of plastics and actions that stop the pollution of the environment. The institution that most supports the publication of open access studies is the National Natural Science Foundation of China and the Ministry of Science of the same country. The main recommendation focuses on strengthening and expanding recycling systems worldwide.

Keywords: E-waste, recycling, sustainability.

Introducción

En el contexto de la Revolución 4.0 (Ing, C, Chang, & Hamid, 2019; Zhu, 2022) se produce una abundante y creciente cantidad de residuos, que representan tanto un desafío o problema, como una oportunidad. Dentro de los múltiples residuos, ocupa un lugar importante la basura tecnológica o e-waste (Sengupta, et al., 2023). En cuanto a oportunidades, específicamente, desde los años 90 el reciclaje de e-waste o residuos electrónicos, es un aspecto de interés para las empresas que se dedican al procesamiento de desechos, gracias a su abundancia, efectos sobre el medio ambiente, y la cantidad de material reutilizable obtenible tras el proceso. Algunos autores afirman que la e-waste se duplica cada cinco años, generando alrededor de 44.5 toneladas de basura (Hsu, Barmak, West, & Park, 2019). Junto a la abundancia, la e-waste representa un gran peligro, porque la

mayoría contiene metales pesados y componentes de difícil degradación y en generalmente carcinógenos (Abdullah et al., 2024). No obstante, es posible recuperar algunos elementos de la e-waste como metales (Meenakshi, Narmatha, Manodivya, & Mythili, 2022), plásticos (Jia, y otros, 2022), vidrio (Vadoudi, Kim, Laratte, Lee, & Troussier, 2015) y circuitos electrónicos impresos (Malhotra & Jain).

En cuanto al problema, un ejemplo de la dimensión y peligrosidad de los desechos electrónicos, lo expresan Yang et al., (2024) quienes señalan que, los éteres de bifenilo polibromados e hidrocarburos aromáticos policíclicos son contaminantes presentes, específicamente en la basura electrónica; por lo que, debido a su peligrosidad, es necesario detectar el movimiento de los desechos electrónicos y su contacto con elementos naturales. En ese mismo sentido, Hsu, et al., (2024) advierten de las posibles consecuencias sociales y medioambientales que el exceso de e-waste podría traer, y proponen diferentes métodos para prevenirlo.

El reciclaje inteligente de desechos es una industria emergente que presenta un crecimiento importante (Bhoi, 2024; Chertow et al., 2024 Abou Baker et al., 2021; Hin, 2021; Xue et al., 2019). Así, por ejemplo, a nivel mundial la empresa Electronics Recyclers International (ERI) fundada en 2002 es la más importante recicladora de e-waste; mientras que en países de menor desarrollo como en Ecuador, existe la empresa Vertmonde. Si bien el reciclaje es una industria en constante crecimiento tanto de tamaño como de relevancia, aún no existen muchas opciones fácilmente accesibles para países pobres (Méndez-Fajardo et al., 2019, Nnorom & Osibanjo, 2008), particularmente cuando se trata del reciclaje de electrónicos, causando que estos queden almacenados o eliminados inadecuadamente tanto en hogares, como en oficinas, universidades y otros lugares comunes. En 2016 se generaron 4.2 megatoneladas de e-waste en América Latina, y 90 kilotoneladas en Ecuador (Vanegas et al., 2020); por lo que es un problema creciente a nivel local.

El reciclaje de residuos electrónicos presenta diferencias significativas entre los países desarrollados y América Latina, especialmente en prácticas sostenibles y tecnologías de recuperación. En América Latina, tiene varios problemas como las condiciones estructurales como la falta de normativas efectivas, infraestructura limitada, escaso personal capacitado y ausencia de alianzas regionales. La poca cantidad de personal técnico impide el desarrollo de procesos eficientes para la recolección, clasificación y tratamiento de residuos, ya que se requiere conocimiento especializado para manejar tecnologías avanzadas y materiales peligrosos. Por otro lado, la falta de cooperación entre países impide la creación de sistemas integrados de gestión que optimicen recursos, reduzcan costos y faciliten el reciclaje entre fronteras. Sin embargo, se identifican oportunidades para fomentar la reparación, reutilización y concientización ambiental, lo que podría reducir el impacto ecológico y generar beneficios económicos si se aplican adecuadamente estos principios (Morales-Urrutia, 2023). Además, el aumento del e-waste en la región está vinculado al crecimiento económico; inicialmente, a medida que crece el PIB per cápita, también lo hace la generación de residuos, pero una vez alcanzado cierto umbral, esta tendencia se estabiliza, lo que abre una ventana para implementar políticas que mejoren las tasas de recolección y reciclaje (Toledo y Ochoa-Jiménez, 2023). A nivel global, países desarrollados lideran con tecnologías emergentes como la biolixiviación y la Fitominería para recuperar metales críticos de forma más selectiva y sostenible, aunque enfrentan desafíos técnicos y económicos (Erkmen et al., 2025), contrastando con el rezago tecnológico y normativo en América Latina.

Como ya se mencionó, otra oportunidad que abre la basura electrónica es la recuperación de componentes valiosos. En los actuales procesos de reciclaje de basura es posible la extracción de metales preciosos, así lo señala el estudio de Chen, et al., (2024), quienes analizan la recolección de oro, paladio y platino, de desechos tecnológicos.

Estudios y publicaciones previas en el tema (J. Hsu, J. Wang y M. Stern, 2024) advierten de las posibles consecuencias sociales y medioambientales que el exceso de e-waste podría traer, y proponen diferentes métodos para prevenirlo. Por ejemplo, el trabajo de S. Ravi, S. Venkatesan, Arun Kumar y K. Lakshmi Kanth Reddy (2024) presenta un sistema que categoriza los residuos y facilita su recolección. Así, existe un consenso general entre los investigadores especializados en el tema (Atlee, J. R. 2005), concluyendo que se debe trabajar en la eficiencia y facilidad de los procesos, mejorando tanto la cantidad de e-waste procesado, como la de material reutilizable obtenido por el proceso. Las actuales perspectivas identifican cinco propuestas, las cuales son: Sistemas Dual Channel, categorización, IoT con procesamiento en la nube, técnicas de separación de materiales, y métricas modernizadas; las cuales se pueden aplicar a un contexto latinoamericano y ecuatoriano en diferentes grados.

Respecto a la primera, el sistema Dual Channel, presenta un modelo para reciclaje en canales duales, el cual demuestra que el trabajo cooperativo puede dar mayores ganancias y mejores resultados al reciclar electrónicos (H. Wei, X. Wang y T. Yang, 2024). Este modelo resulta fácil de implementar incluso en situaciones de bajos recursos y tiempo, por lo que se podría implementar parcialmente en una investigación local, como un enfoque secundario.

Como segundo punto, el sistema de categorización previamente explicado brinda una perspectiva diferente, demostrando un nuevo método fácil para el manejo de residuos mediante aplicaciones de teléfono inteligente. Esta idea, si bien resulta interesante y efectiva, tiene una implementación compleja, requiriendo el desarrollo de una aplicación propia adaptada a las necesidades locales, debido a esto, su implementación en una investigación tendría un enfoque diferente, utilizando sus conceptos e ideas, pero no la misma aplicación práctica.

En tercer lugar, se propone utilizar un sistema que utilice la nube y el IoT (Internet of things) para monitorizar e-waste, facilitando los procesos de identificación, separación, y reciclaje. (M. Farjana, A. B. Fahad, S. E. Alam y M. M. Islam, 2023). Este sistema muestra un enfoque diferente e innovador, promete ahorrar una gran cantidad de tiempo en los procesos que el reciclaje de electrónicos conlleva; aunque, es más complejo de implementar, especialmente en contextos latinoamericanos, las ideas y experiencias de los académicos son una fuente importante para el diseño de proyectos locales. Aprender de otros a través de la literatura académica permitirá aprovechar las nuevas condiciones de la sociedad del conocimiento.

La cuarta idea propuesta expone la posibilidad de separar los materiales de los equipos reciclados, tanto mediante la extracción de metales (Balaji et al., 2024; Iannicelli-Zubiani et al., 2017; Issa & Aleksandrova, 2019; Kiran et al., 2024; Kurniawan et al., 2021), de metales de PCB eficiente en el proceso de reciclaje con técnicas de separación de densidad, minimizando el impacto ambiental (Dias, 2023), y una máquina que tome electrónicos, los triture, y separe los contaminantes de los materiales útiles, funcionando como una alternativa al reciclaje convencional (K. H. Kang y S. M. Jeong, 2014). Si bien esta idea soluciona inconvenientes de tratamiento de

contaminantes y mejora las ganancias obtenidas, su implementación requiere una gran cantidad de inversión y materiales, de ahí que países con menor desarrollo deben buscar asociarse con naciones y organizaciones para generar alternativas de reciclaje.

Por último, la quinta idea habla sobre las medidas tomadas actualmente para controlar el e-waste, y por qué no son suficientes, y propone nuevas métricas para un mejor manejo del problema (Atlee, J. R., 2005). Estas métricas se pueden definir como medidas económicas y sociales que permiten un mejor procesamiento de residuos, y serían una parte importante en la implementación de una investigación, ya que la cooperación de todas las partes involucradas en que una métrica sea bien implementada traería grandes beneficios al proceso de reciclaje y reutilización.

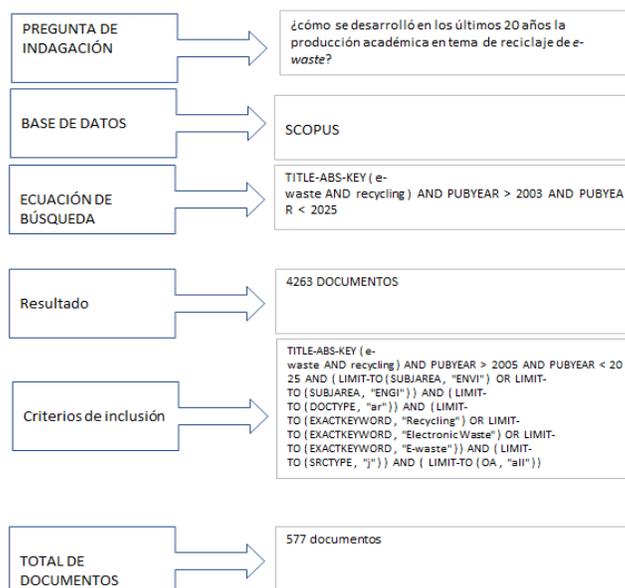
Por lo expuesto, esta investigación bibliométrica, gira en torno a la pregunta ¿cómo se desarrolló en los últimos 20 años la producción académica en tema de reciclaje de e-waste? La respuesta a esta interrogante se sistematizará para colocar en la sección final, una serie de recomendaciones que permitan a posteriori crear un programa de reciclaje tecnológico en un contexto local. Al ejecutar esta indagación se identificará la producción científica más relevante y las ideas que pueden posteriormente iluminar un proyecto en este foco.

Metodología

Para esta investigación, se utilizó el modelo PRISMA, desarrollado mediante los siguientes pasos: Definir la pregunta de investigación, realizar una búsqueda sistemática de la literatura, desarrollar un protocolo de revisión con criterios de inclusión y criterios de exclusión, seleccionar los estudios, extraer datos, sintetizar y analizar los datos, evaluar el riesgo de sesgo y la calidad de los estudios, y presentar los resultados. Los pasos seguidos se muestran en la Figura 1.

Figura 1

Proceso de indagación y selección de documentos



La pregunta de investigación se plantea con el deseo de aprender y se define considerando el contexto latinoamericano y local de Ecuador, donde se tiene acceso limitado a las tecnologías modernas de manejo de e-waste, por lo que la pregunta es: ¿cómo se desarrolló la literatura académica en los últimos 20 años en el tema de reciclaje de e-waste? Para esto, se utilizó la base de indexación SCOPUS, en la cual se realizó la búsqueda mediante los términos *e-waste AND recycling*. Para la selección de documentos se emplearon algunos criterios:

Tabla 1

Criterios de inclusión y exclusión

Criterio	Para inclusión	Exclusión
Año de publicación	Entre los años 2004 a 2024	Anteriores a 2004
Áreas de conocimiento	Medio Ambiente e Ingeniería Recycling	Otras áreas de conocimiento
Palabras clave	Electronic Waste E-Waste	No contienen palabras clave “electronic waste” o e-waste
Tipo de documento	Artículo científico	Están en formatos diferente a artículos
Tipo de recurso	De acceso abierto	Acceso pagado o restringido

Fuente: Elaboración propia

Se limitó a artículos publicados en los últimos 20 años, a las áreas de conocimiento de medioambiente e ingeniería, al formato de artículo científico y de acceso abierto. Por lo cual se produjo un universo de trabajo de 577 documentos relevantes para la investigación. Estos datos fueron extraídos directamente de SCOPUS, y analizados mediante la herramienta VOSViewer especializada en el procesamiento de artículos científicos como lo mencionan varios autores (Ramírez Restrepo & Baars, 2025); VOSViewer se usa para identificar los vínculos entre palabras claves, núcleos de investigadores e interés en que se concentra la acción académica, dichos ejemplos se pueden apreciar en investigaciones como la de Nurdini, Nurcahyo y Prubuwono (2023).

En cuanto a posibles sesgos de la selección de la base SCOPUS, se reconocen limitaciones, porque se dejó de lado otras como DIALNET, LATINDEX, EBSCO, que si bien pueden aportar al tema, no garantizan una amplia cobertura, ya que muchos investigadores latinoamericanos prefieren publicar en revistas que se encuentran en la base SCOPUS. Dicha base es reconocida por la calidad académica (Al-Khoury, y otros, 2022; Ramadhina y otros 2023).

De estos estudios, se seleccionaron los más relevantes, dentro de los cuales se expone el tema, y se llega a la conclusión de que el reciclaje de e-waste tiene un gran potencial, ya que no solo ayuda a reducir la contaminación ambiental causada por estos residuos, sino que además puede traer beneficios considerables tanto económicos como sociales si es aplicado correctamente.

Se presenta la existencia de un sesgo dentro de los artículos, principalmente el contexto en el que fueron redactados. Al ser en su mayoría de países desarrollados que cuentan con una infraestructura y economía mejor, no se toma en cuenta la posibilidad de llevar a cabo las ideas propuestas en el contexto latinoamericano, en el cual se tendría que modificar o incluso eliminar partes importantes de las ideas.

Los estudios seleccionados son de buena calidad, teniendo una gran cantidad de referencias y citas, además de contar con una gran cantidad de apéndices y pruebas dentro de los mismos. A nivel general, el tema cuenta con muchas propuestas y puntos de vista diferentes, pero muchos de estos no son factibles para el caso de una investigación local.

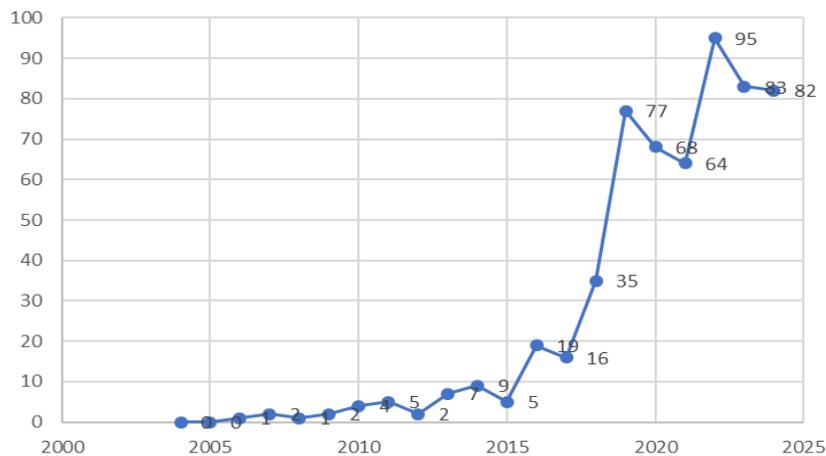
Los resultados obtenidos nacen a partir de varias ideas combinadas de los artículos analizados. Se toma como idea principal el fomento de la cultura del reciclaje, la concientización de los beneficios del reciclaje de electrónicos, los daños que el e-waste causa, y generando facilidades para que la población pueda contribuir al manejo de los residuos. Además, se deberá generar relaciones con diferentes grupos y empresas dedicadas al reciclaje de electrónicos, que puedan ayudar con el manejo de los residuos.

Resultados y Discusión

Los resultados de esta investigación se organizan en cinco momentos. Primero, se presenta la frecuencia por año. Segundo, se muestra los resultados por autor. Tercero, se identifica los países con mayor producción académica en el tema. Cuarto, se identifica las revistas que más producen sobre el tema. Y quinto, se establece la red de relación entre palabras clave, lo que permite ver el interés de la comunidad científica en función a variables de investigación.

Figura 2

Número de artículos publicados por año



Fuente: Elaboración propia a partir de la base SCOPUS

El gráfico muestra la cantidad de artículos publicados de acceso abierto, con relación a las palabras clave e-waste y recycling en los últimos 20 años, siendo 577 en total. Se puede ver un incremento gradual en la cantidad de documentos con el paso del tiempo. Aquello se explica por las condiciones de contexto global; particularmente, por los acuerdos como el Protocolo de Kioto (Naciones Unidas, 1997), que obliga a los países a reducir los efectos de gases invernadero y asumir una actitud más responsable. El Protocolo de Kioto se emitió en 1997; pero, entró en vigor a partir del año 2005. Otro aspecto por considerar es el avance tecnológico de los últimos años, que permite la clasificación y reutilización de desechos, aquello vuelve más atractivo el campo del reciclaje tecnológico.

Tabla 2

Estadística descriptiva de la producción anual

	Variables	Resultado
AÑOS	2024	<u>82</u>
	2023	<u>83</u>
	2022	<u>95</u>
	2021	<u>64</u>
	2020	<u>68</u>
	2019	<u>77</u>
	2018	<u>35</u>
	2017	<u>16</u>
	2016	<u>19</u>
	2015	<u>5</u>
	2014	<u>9</u>
	2013	<u>7</u>
	2012	<u>2</u>
	2011	<u>5</u>
	2010	<u>4</u>
	2009	<u>2</u>
	2008	<u>1</u>
	2007	<u>2</u>
	2006	<u>1</u>
	2005	0
2004	0	
	SUMA	577
MEDIDAS DESCRIPTIVAS	PROMEDIO	27,47619048
	MEDIANA	7
	MODA	2

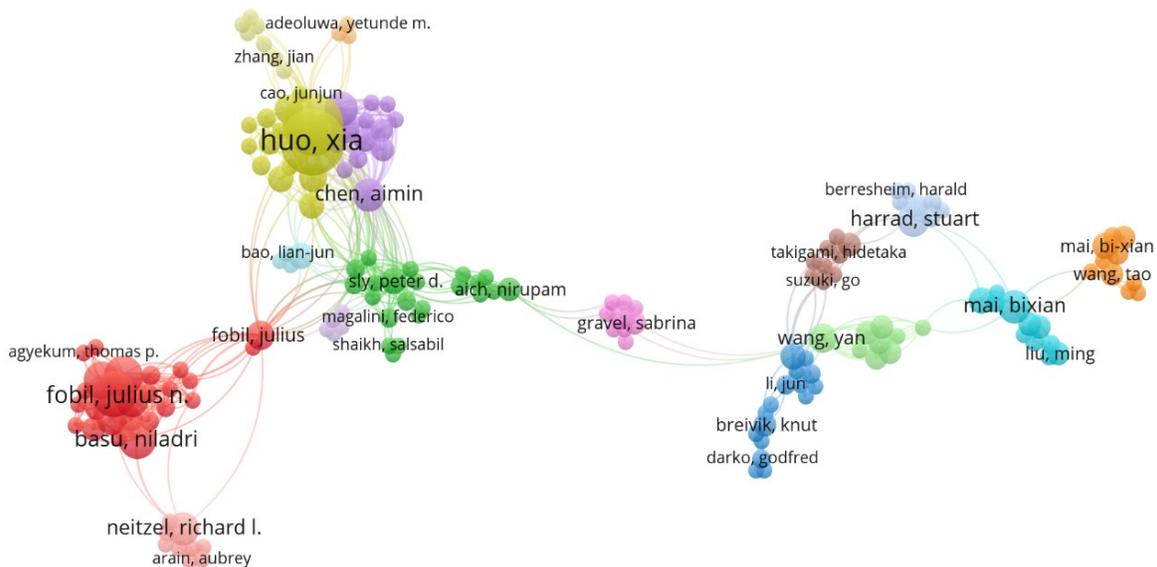
VARIABLES	RESULTADO
DESVIACIÓN ESTANDAR	33,44166071
ASIMETRÍA	0,95782462
CURTOSIS	-0,85672346

Fuente: Elaboración propia

La media de documentos es de 27.47; con una mediana de 7; y una moda de 2; la curtosis es de -0,8. Mediante estos valores, se determina que la mayoría de los resultados se encuentran hacia el final del periodo. Este comportamiento demuestra que el reciclaje de electrónicos es un tema de creciente interés, tiene poca atención antes de 2019, pero toma fuerza en los últimos cinco años, llegando a tener más de cien artículos publicados por año. El aumento consistente en la cantidad de documentos permite predecir que el tema seguirá en constante crecimiento en los años siguientes.

Figura 3

Mapa de correlación de autores



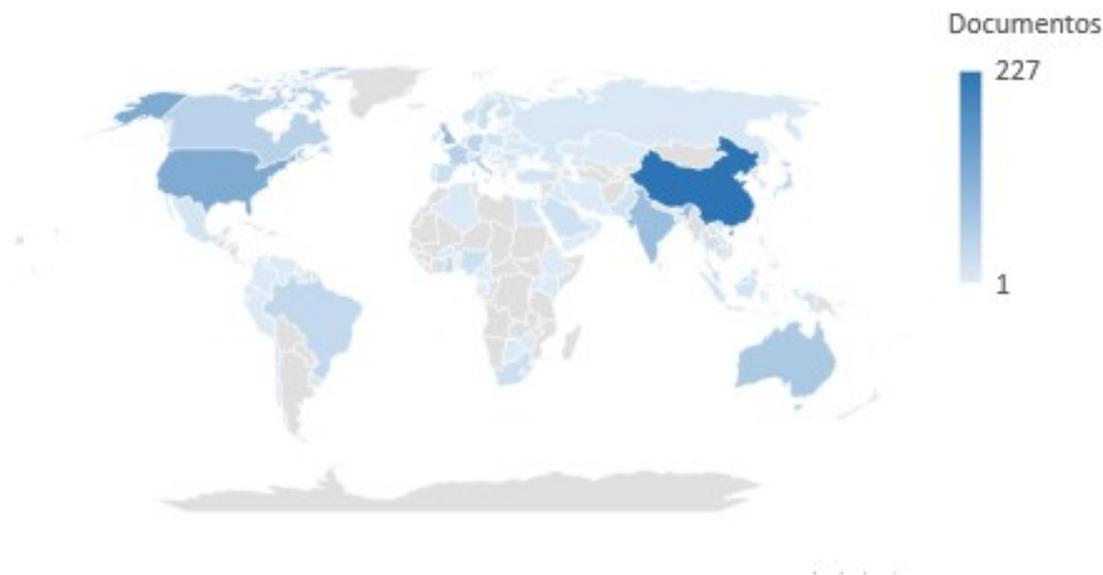
Fuente: Elaboración propia. Generado por VOSViewer a partir de datos de la plataforma SCOPUS

El mapa de VOSViewer representa la ocurrencia y correlación entre autores de documentos relacionados al reciclaje de e-waste. El autor más notable es Huo Xia, con 32 documentos publicados; otro autor importante es Fobil Julius. Los documentos realizados por Huo y Fobil se interconectan extensamente, e involucra a una gran cantidad de otros autores. Se puede observar cómo existe una red amplia entre los autores, separada en dos grupos principales a cada lado.

Esta división en dos grupos se puede atribuir a la diferencia en metodologías para aplicar el reciclaje de electrónicos, teniendo ideas y propósitos distintos; pero, unidos por el tema central (Farjana, et al., 2023; Wei, et al., 2024; Dias, 2023; Atlee, 2005). Así, se demuestra la variedad de enfoques que se pueden tomar para afrontar el problema.

Figura 4

Producción científica por país



Fuente: Elaboración propia con datos de la plataforma SCOPUS

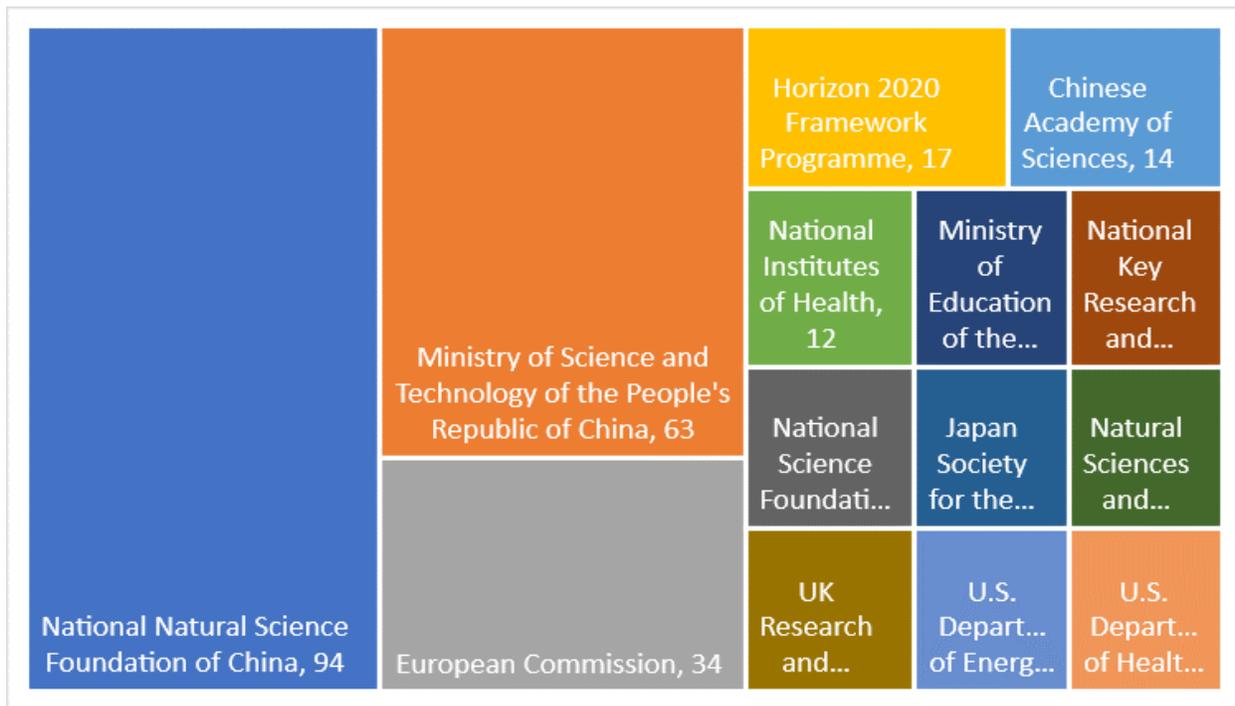
El gráfico muestra la cantidad de documentos relacionados al reciclaje de e-waste y ordenados por país. Se evidencia que, en primer lugar, China, cuyo crecimiento económico se correlacionó con la generación de desechos electrónicos reciclaje (Lin et al., 2022; Schneider & Zeng, 2022; Tian et al., 2022; Orlins & Guan, 2016; Streicher-Porte et al., 2016; Tong et al., 2015; J. Wang & Xu, 2015; L. Wang & Yang, 2021); el interés se refleja en la cantidad de producción científica publicada, siendo 227. En segundo lugar, se encuentra Estados Unidos, con 122 artículos. Posteriormente se tiene al Reino Unido con 103, India con 85, Australia con 64, e Italia con 50.

A partir de eso, queda claro que los territorios con mayor interés en el reciclaje de electrónicos son países grandes, tanto en territorio como en economía e industrias. Por ejemplo, China, que se encuentra en primer lugar, es uno de los países con más cantidad de industrias de todo tipo, además de contar con un territorio extenso. Esto genera una cantidad enorme de e-waste, lo que a su vez causa la necesidad de estudios para su manejo. Estados Unidos y otros países desarrollados pasan por la misma situación.

Pero del otro lado, los países en vías de desarrollo no tienen la misma presencia académica. El primer país sudamericano en aparecer es Brasil con 35 documentos, y Ecuador cuenta con tan solo dos. Esto se puede atribuir a dos causas principales: la falta de necesidad, por la producción extremadamente menor de residuos; y el poco interés, por la inexistencia de la cultura del reciclaje. De esta manera, se demuestra que la implementación de sistemas de reciclaje de residuos electrónicos presenta un desafío mayor en países latinoamericanos que en países desarrollados.

Figura 5

Instituciones que más aportan a la producción académica en e-waste.



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 5 las instituciones gubernamentales son las más interesadas en el tema de la e-waste, aquello resulta importante porque da cuenta de la potencialidad e interés de los Estados en dar solución a este problema. Además, se evidencia que son las instituciones públicas de China las que encabezan el patrocinio para la producción de documentación científica de acceso abierto, le siguen las europeas y luego las otras regiones del mundo desarrollado. Mientras que América Latina y África son las grandes ausentes en la investigación científica.

Tabla 3

Artículos más citados

Documento	Número de citas	Principales hallazgos
Balaram, V. (2019). Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. <i>Geoscience Frontiers</i> , 10(4), 1285–1303. doi:10.1016/j.gsf.2018.12.005	1184	Explica la importancia de las tierras raras para la sociedad moderna, y como el reciclaje de <i>e-waste</i> puede ser una fuente significativa de estos minerales.
Schroeder, P., Anggraeni, K., & Weber, U. (2019). The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. <i>Journal of Industrial Ecology</i> , 23(1), 77–95. doi:10.1111/jiec.12732	955	Habla sobre la importancia de la economía circular para los objetivos de desarrollo sostenible (SDGs), y como el reciclaje de <i>e-waste</i> forma parte de estos procesos
Cucchiella, F., D’Adamo, I., Lenny Koh, S. C., & Rosa, P. (2015). Recycling of WEEE: An economic assessment of present and future e-waste streams. <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> , 51, 263–272. doi:10.1016/j.rser.2015.06.010	634	Muestra que los desechos de componentes eléctricos y electrónicos aumentan a un paso extremadamente acelerado de 3 a 5% por año, y propone el reciclaje como una manera de optimizar y reducir el problema.
Perkins, D. N., Brune Drisse, M.-N., Nxele, T., & Sly, P. D. (2014). E-waste: A global hazard. <i>Annals of Global Health</i> , 80(4), 286–295. doi:10.1016/j.aogh.2014.10.001	482	Argumenta que si bien el reciclaje de <i>e-waste</i> presenta grandes oportunidades económicas, este debe realizarse con las precauciones correctas para evitar riesgos a la salud, los cuales son potencialmente severos.
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. <i>The Lancet Global Health</i> , 1(6), e350–e361. doi:10.1016/S2214-	475	Expresa los efectos que la falta de regulaciones durante el reciclaje de <i>e-waste</i> tiene sobre la salud de las personas involucradas tanto directa como indirectamente, demostrando que niños, hombres, y mujeres se ven activamente afectados al estar

Documento	Número de citas	Principales hallazgos
109X(13)70101-3		expuestos a la industria del reciclaje inseguro.
Huo, X., Peng, L., Xu, X., Zheng, L., Qiu, B., Qi, Z., ... Piao, Z. (2007). Elevated blood lead levels of children in Guiyu, an electronic waste recycling town in China. <i>Environmental Health Perspectives</i> , 115(7), 1113–1117. doi:10.1289/ehp.9697	469	Demuestra como el reciclaje rudimentario de residuos electrónicos en Guiyu, China, eleva los niveles de plomo en sangre de los niños, superando significativamente a los de otras ciudades.
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. <i>Resources</i> , 3(1), 152–179. doi:10.3390/resources3010152	385	Habla sobre los distintos procesos comunes existentes en la actualidad para recuperar metales base y preciosos a partir del <i>e-waste</i> , y como estos pueden ser implementados y optimizados.
Law, R. J., Covaci, A., Harrad, S., Herzke, D., Abdallah, M. A.-E., Fernie, K., ... Takigami, H. (2014). Levels and trends of PBDEs and HBCDs in the global environment: Status at the end of 2012. <i>Environment International</i> , 65, 147–158. doi:10.1016/j.envint.2014.01.006	358	Analiza tendencias de los retardantes PBDE y HBCD, que presentan propiedades altamente tóxicas, y explica que son de mayor preocupación en zonas que reciclan <i>e-waste</i> en Asia y África.
Prata, J. C., Patricio Silva, A. L., da Costa, J. P., Mouneyrac, C., Walker, T. R., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). Solutions and integrated strategies for the control and mitigation of plastic and microplastic pollution. <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> , 16(13).	326	Propone reducir la entrada de plásticos al ambiente mediante una gestión integrada de residuos y diez recomendaciones clave, siendo uno de ellos el reciclaje de <i>e-waste</i> .

Documento	Número de citas	Principales hallazgos
doi:10.3390/ijerph16132411		
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. <i>Environmental Health Perspectives</i> , 124(5), 550–555. doi:10.1289/ehp.1509699	287	La gestión insegura del e-waste, generado en grandes cantidades (41.8 millones de toneladas en 2014), contamina el ambiente y expone a poblaciones vulnerables, especialmente mujeres y niños, a químicos peligrosos. Se requiere una acción global para implementar reciclaje seguro, reducir la exposición en grupos sensibles y desarrollar tecnologías de remediación.

Fuente: Elaboración propia.

Los documentos más citados coinciden en que la e-waste si bien es un problema mundial, también es una fuente de recursos que pueden recuperar y reutilizarse; de aquello se desprende la potencialidad de esas acciones para generar empleo, nuevos conocimientos y mitigar el impacto ambiental global.

Los países menos desarrollados poseen pocos técnicos especializados en reciclaje, además de una deficiente infraestructura. A pesar de todo el e-waste es una oportunidad de crecimiento a partir de propuestas como la economía circular (Schroeder, P., Anggraeni, K., & Weber, U. (2019). Otro aspecto que debe considerarse es que en la e-waste hay la presencia de metales preciosos y tierras raras que son apreciadas en todo el mundo y pueden generar ganancias (Khaliq, et al., 2014). Sin embargo, América Latina requiere políticas integrales y procesos que protejan a quienes se involucren en el reciclaje de ahí que un ejemplo de ello debe ser la protección contra a los trabajadores de reciclaje que suelen estar expuestos a sustancias como los retardantes de llama PBDE y HBCD. Por lo expuesto, las universidades y entidades deben hacer un esfuerzo sostenido en fortalecer el conocimiento y habilidades de sus comunidades respecto al reciclaje de e-waste. Aunque los documentos son valiosos por la diversa información que entregan, se detecta una limitación importante en que ninguno de ellos corresponde a un estudio regional, mundial o de carácter comparado. Al identificar este vacío de conocimiento resulta ser un aspecto que pueden cubrir los centros científicos a través de redes de investigación.

Conclusiones

Este trabajo permitió identificar las diferentes aplicaciones e ideas propuestas para afrontar el problema del manejo de e-waste. Se demuestran ideas que van desde enfoques preventivos hasta

ideas proactivas para fomentar y aumentar el reciclaje y reutilización de dispositivos electrónicos en desuso.

Los hallazgos evidencian implicaciones prácticas significativas en torno a la gestión del e-waste, especialmente en contextos de países en desarrollo. La investigación destaca un aumento notable en la producción científica desde 2019, impulsado por la preocupación ambiental y el potencial económico del reciclaje de dispositivos electrónicos. Entre las propuestas más viables se encuentra el modelo Dual Channel, que promueve una recolección cooperativa entre recicladores y comercios digitales, facilitando la implementación incluso en entornos con escasos recursos (Wei, Wang & Yang, 2024). Por otro lado, el uso de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y la computación en la nube permite optimizar el monitoreo y procesamiento del e-waste, aunque su aplicación en América Latina enfrenta desafíos tecnológicos y económicos (Farjana et al., 2023). Asimismo, sistemas de categorización inteligente mediante aplicaciones móviles ofrecen soluciones innovadoras para la recolección, aunque requieren una adaptación local significativa (Ravi et al., 2024).

Como se conoce las regiones marginales del planeta afrontan problemas estructurales marcados por la violencia, la poca gobernabilidad, las denuncias de corrupción y una marcada pobreza; en dicho escenario el reciclaje de e-waste puede desarrollarse desde iniciativas más locales a modo de centros comunitarios de reciclaje. Otro aspecto por implementar es la creación de incentivos económicos hacia los centros comunitarios y recicladores que mejore las situaciones de vida, al tiempo que contribuye al proceso de reciclaje. Junto a todo esto, resulta indispensable el desarrollo de campañas educativas y de concientización para hacer del reciclaje parte de la cultura, en eso las universidades pueden jugar un papel trascendente.

La metodología bibliométrica aplicada probó ser efectiva para la investigación del tema, brindando una gran variedad de resultados, enfoques, e ideas que permitan analizar el inconveniente de la producción excesiva de residuos electrónicos tanto a nivel mundial como a nivel local, además de exponer los problemas que la falta de interés por este tema trae a la sociedad. Pero a su vez, la metodología presenta límites, ya que, al retornar documentos mayoritariamente escritos en países desarrollados, muchas de sus ideas deben ser altamente modificadas o incluso eliminadas para poder ser aplicadas en territorios con un desarrollo menor.

Quedan preguntas para nuevos estudios a futuro, principalmente el cómo se podrían modificar las propuestas de los estudios analizados para su uso en contextos más limitados, la implementación de nuevas tecnologías como la inteligencia artificial, y la optimización de modelos existentes, para las cuales se deberá tomar las ideas expuestas como base.

Agradecimientos

Agradecemos a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por el apoyo en los procesos integrales de investigación entre estudiantes y docentes.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada en su totalidad por los autores.

Conflicto de intereses

Declaramos que no existen conflictos de intereses entre los autores y el contenido.

Contribución de los autores

- Juan José Naranjo-Páez: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, validación, visualización, redacción – borrador original.
- Judith Elizabeth Pinos-Montenegro: Conceptualización, curación de datos, validación, redacción – revisión y edición administración del proyecto, supervisión.
- Darío Javier Robayo-Jácome: Curación de datos, validación, redacción – revisión y edición, administración del proyecto, supervisión.

Referencias bibliográficas

- About Baker, N., Szabo-Müller, P., & Handmann, U. (2021). A Feature-Fusion Transfer Learning Method as a Basis to Support Automated Smartphone Recycling in a Circular Smart City. In Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST V(372). https://doi.org/10.1007/978-3-030-76063-2_29
- Abdullah, M., Adhikary, S., Bhattacharya, S., Hazra, S., Ganguly, A., & Nanda, S. (2024). E-waste in the environment: Unveiling the sources, carcinogenic links, and sustainable management strategies. *Toxicology*, págs. 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2024.153981>.
- Al-Khoury, A., Hussein, S., Abdulwhab, M., Aljuboori, Z., Haddad, H., Ali, M., . . . Flayyih, H. (2022). Intellectual Capital History and Trends: A Bibliometric Analysis Using Scopus Database. *Sustainability* 14 (18), 1-22. <https://doi.org/10.3390/SU141811615>.
- Atlee, J. R. (2005). Operational sustainability metrics: a case of electronics recycling. Massachusetts Institute of Technology. <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/7582>
- Balaji, R., Prabhakaran, D., & Thirumarimurugan, M. (2024). Recent approaches towards e-waste printed circuit boards for Nanoparticle synthesis: a review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 104(2), 291–305. <https://doi.org/10.1080/03067319.2021.2019724>
- Balaram, V. (2019). Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. *Geoscience Frontiers*, 10(4), 1285–1303. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.12.005>
- Bhoi, N. K. (2024). Advancements in E-waste recycling technologies: A comprehensive overview of strategies and mechatronics integration for future development. *Sustainable Materials and Technologies*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2024.e01182>
- Chen, S., Wu, J., Yang, Z., Wang, J., Bhattacharyya, D., Wan, H., . . . Tang, K. (2024). Selective recovery of noble metals from electronic waste leachates via coral-like adsorbents. *Separation and Purification Technology*, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.128918>
- Chertow, M., Reck, B. K., Wrzesniewski, A., & Calli, B. (2024). Outlook on the future role of robots and AI in material recovery facilities: Implications for U.S. recycling and the

- workforce. *Journal of Cleaner Production*, 470. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143234>
- Cucchiella, F., D'Adamo, I., Lenny Koh, S. C., & Rosa, P. (2015). Recycling of WEEEs: An economic assessment of present and future e-waste streams. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 263–272 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.010>
- Dias, J. (2023). Environmental and Technological Assessment of Operations for Extraction and Concentration of Metals in Electronic Waste. *Sustainability*. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/17/13175>
- Erkmen, A. N., Ulber, R., Jüstel, T., & Altendorfer, M. (2025). Towards sustainable recycling of critical metals from e-waste: Bioleaching and phytomining. *Resources, Conservation and Recycling*, 215. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.108057>
- Farjana, M., Fahad, A. B., Alam, S. E., & Islam, M. (2023). An IoT- and Cloud-Based E-Waste Management System for Resource Reclamation with a Data-Driven Decision-Making Process. *IoT*, 202-220. <https://www.mdpi.com/2624-831X/4/3/11>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(13\)70101-3](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(13)70101-3)
- 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. <https://doi.org/10.1289/ehp.1509699>
- Hin, L. C., Hameed, V. A., Vasudavan, H., & Rana, M. E. (2021). An Intelligent Smart Bin for Waste Management. 2021 IEEE Mysore Sub Section International Conference, MysuruCon 2021, 227–231. <https://doi.org/10.1109/MysuruCon52639.2021.9641618>
- Hsu, J., Wang, J., & Stern, M. (2024). E-Waste. *J. Global Inf. Manage*, 1-28. <https://www.igi-global.com/article/e-waste/337134>
- Iannicelli-Zubiani, E. M., Giani, M. I., Recanati, F., Dotelli, G., Puricelli, S., & Cristiani, C. (2017). Environmental impacts of a hydrometallurgical process for electronic waste treatment: A life cycle assessment case study. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1204–1216. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.040>
- Ing, T. S., C, L. T., Chang, S. W., & Hamid, N. A. (2019). An overview of the rising challenges in implementing industry 4.0. *International Journal of Supply Chain Management*, 1181 - 1188. https://www.researchgate.net/publication/338793076_An_Overview_of_the_Rising_Challenges_in_Implementing_Industry_4_0
- Issa, B., & Aleksandrova, T. A. (2019). Processes of Extraction of Non-Ferrous and Precious Metals from Alternative Sources of Raw Materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 582(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/582/1/012022>
- Jia, C., Das, P., Kim, I., Yoon, Y.-J., Tay, C. Y., & Lee, J.-M. (2022). Applications, treatments, and reuse of plastics from electrical and electronic equipment. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, p. 84 - 99. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2022.03.026>
- Kang, K. H., & Jeong, S. M. (2014). República de Corea Patente n° 1014606050000.

- 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. <https://doi.org/10.3390/resources3010152>
- Kiran, N. S., Yashaswini, C., Chatterjee, A., & Shah, M. P. (2024). Biotechnological Approaches for Metal Recovery from Electronic Wastes. *Current Microbiology*, 81(12). <https://doi.org/10.1007/s00284-024-03945-w>
- Kurniawan, K., Kim, S., & Lee, J.-C. (2021). Ionic liquids-assisted extraction of metals from electronic waste. In *Ionic Liquid-Based Technologies for Environmental Sustainability*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824545-3.00019-2>
- Law, R. J., Covaci, A., Harrad, S., Herzke, D., Abdallah, M. A.-E., Fernie, K., ... Takigami, H. (2014). Levels and trends of PBDEs and HBCDs in the global environment: Status at the end of 2012. *Environment International*, 65, 147–158. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.01.006>
- Lin, S., Chen, X. W., Cai, Z., Shi, J., Fu, J., Jiang, G., & Wong, M. H. (2022). Remediation of emerging contaminated sites due to uncontrolled e-waste recycling. *Chemical Engineering Journal*, 430. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133169>
- Malhotra, P., & Jain, A. (s.f.). Chemical methods for the treatment of e-waste. *Waste Management and Resource Recycling in the Developing World*, 181 - 204. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90463-6.00019-1>.
- Meenakshi, B., Narmatha, S., Manodivya, S., & Mythili, M. (2022). Potential usage of E waste as tiles with latex coating. *Materials Today: Proceedings*, 2111 - 2114. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.08.372>.
- Méndez-Fajardo, S., Böni, H., Vanegas, P., & Sucozhañay, D. (2019). Improving sustainability of E-waste management through the systemic design of solutions: The cases of Colombia and Ecuador. In *Handbook of Electronic Waste Management: International Best Practices and Case Studies*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817030-4.00012-7>
- Naciones Unidas. (1998). Protocolo de Kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Conferencia de Cambio Climático Kyoto: Naciones Unidas. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>.
- Nguyen, T., Ta, K., & Smithwick, M. (2015). Estados Unidos de América Patente nº 14328661.
- Nnorom, I. C., & Osibanjo, O. (2008). Overview of electronic waste (e-waste) management practices and legislations, and their poor applications in the developing countries. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(6), 843–858. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.01.004>
- Nurdini, A., Nurcahyo, R., & Prabuwo, A. (2023). Waste from electric vehicle: A bibliometric analysis from 1995 to 2023. *World Electric Vehicle Journal*, 14(11), 300 <https://doi.org/10.3390/wevj14110300>
- Orlins, S., & Guan, D. (2016). China's toxic informal e-waste recycling: Local approaches to a global environmental problem. *Journal of Cleaner Production*, 114, 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.090>
- Perkins, D. N., Brune Drisse, M.-N., Nxele, T., & Sly, P. D. (2014). E-waste: A global hazard. *Annals of Global Health*, 80(4), 286–295. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2014.10.001>

- Prata, J. C., Patrício Silva, A. L., da Costa, J. P., Mouneyrac, C., Walker, T. R., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). Solutions and integrated strategies for the control and mitigation of plastic and microplastic pollution. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(13). <https://doi.org/10.3390/ijerph16132411>
- Ramadhina, A. S., Asfiah, N., Nurhasanah, S., & Umami, R. (2023). Bibliometric Analysis: Rewards using the Scopus Database. *International Research Journal of Management, IT & Social Sciences 11* (2), 75-88. <https://doi.org/10.21744/irjmis.v11n2.2416>.
- Ramírez Restrepo, A., & Baars, R. (2025). A comprehensive systematic review in e-waste studies: Themes beyond metrics. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22(8), 7459–7486. <https://doi.org/10.1007/s13762-025-06349-w>.
- Ravi, S., Venkatesan, S., Kumar, A., & Lakshmi Kanth Reddy, K. (2024). An optimal and smart E-waste collection using neural network based on sine cosine optimization. *Neural Comput. Appl* <https://doi.org/10.1007/s00521-024-09523-2>
- Schroeder, P., Anggraeni, K., & Weber, U. (2019). The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 77–95. <https://doi.org/10.1111/jiec.12732>
- Sengupta, A., Das, A., Chakraborty, B., Chatterjee, A., Debnath, B., Das, A., . . . Das, A. (2023). Application of New Information Technologies for ICT Waste Management. *Technological Advancement in E-waste Management: Towards Smart, Sustainable, and Intelligent Systems*, 7-18. <https://doi.org/10.1201/9781003317050-3>.
- Schneider, A. F., & Zeng, X. (2022). Investigations into the transition toward an established e-waste management system in China: Empirical evidence from Guangdong and Shaanxi. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100195>
- Streicher-Porte, M., Chi, X., & Yang, J. (2016). E-waste Recycling in China: Status Quo in 2015. In *Metal Sustainability: Global Challenges, Consequences, and Prospects*. <https://doi.org/10.1002/9781119009115.ch6>
- Tian, T., Liu, G., Yasemi, H., & Liu, Y. (2022). Managing e-waste from a closed-loop lifecycle perspective: China's challenges and fund policy redesign. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(31), 47713–47724. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19227-6>
- Tong, X., Li, J., Tao, D., & Cai, Y. (2015). Re-making spaces of conversion: Deconstructing discourses of e-waste recycling in China. *Área*, 47(1), 31–39. <https://doi.org/10.1111/area.12140>
- Toledo, E., Ochoa-Jimenez, D., & Cornejo, G. (2023). Relationship between economic growth and e-waste: Panel data evidence from 11 Latin American countries; [Relación entre el crecimiento económico y los desechos electrónicos: evidencia de datos de panel para 11 países de América Latina]. 2023-June. <https://doi.org/10.23919/CISTI58278.2023.10211740>
- Theurer, J. E. (2010). International investigation of electronic waste recycling plant design. Massachusetts Institute of Technology. <http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/65177/745679472-MIT.pdf;sequence=2>

- Vadoudi, K., Kim, J., Laratte, B., Lee, S.-J., & Troussier, N. (2015). E-waste management and resources recovery in France. *Waste Management and Research*, p. 919 - 929. <https://doi.org/10.1177/0734242X15597775>
- Vanegas, P., Martínez-Moscoso, A., Sucozhañay, D., Paño, P., Tello, A., Abril, A., ... & Craps, M. (2020). E-waste management in Ecuador, current situation and perspectives. *Handbook of Electronic Waste Management*, 479-515. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817030-4.00013-9>
- Wang, J., & Xu, Z. (2015). Disposing and recycling waste printed circuit boards: Disconnecting, resource recovery, and pollution control. *Environmental Science and Technology*, 49(2), 721–733. <https://doi.org/10.1021/es504833y>
- Wang, L., & Yang, W. (2021). Electronic Waste Recycling Mode and Control Measures in China Based on PEST and SWOT. *Nature Environment and Pollution Technology*, 20(1), 229–235. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2021.V20I01.024>
- Wei, H., Wang, X., & Yang, T. (2024). A Dual-Channel Cooperative Strategy between Recyclers and E-Tailers for the Offline and Online Recycling of Waste Electronics. *Sustainability*, 1443. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/4/1443>
- Xue, Y., Wen, Z., Bressers, H., & Ai, N. (2019). Can intelligent collection integrate informal sector for urban resource recycling in China? *Journal of Cleaner Production*, 208, 307–315. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.155>
- Yang, C., Duan, L., Wang, J., Jiang, C., Zhang, T., & Chen, W. (2024). Preferential association of PBDEs and PAHs with mineral particles vs. dissolved organic carbon: Implications for groundwater contamination at e-waste sites. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 288 - 296. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2024.03.007>.
- Zhu, K. (2022). The cyber-physical production system of smart machining system. *Springer Series in Advanced Manufacturing*, 383 - 407. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87878-8_12