

Hot Science



Desechos electrónicos: Un reto biotecnológico

Kelly Reyes-Barreto
María Isabel Neria-González*

División de Ingeniería Química y Bioquímica
TecNM: Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Edo. de México, México.

*Autor para la correspondencia:
mineriag@tese.edu.mx

Resumen

Los desechos electrónicos son un problema a nivel mundial, ya que contienen metales pesados que afectan la salud humana y al ambiente. Sin embargo, la biotecnología ofrece una alternativa para disminuir el impacto ambiental con beneficios económicos. Esta se conoce como biolixiviación, un proceso que hace uso de bacterias con la capacidad de promover la solubilidad de los metales contenidos en los desechos electrónicos. Siendo así una contribución prometedora para la resolución del problema de contaminación e impacto generado por los desechos electrónicos.

Palabras clave: Biolixiviación, biotecnología, desechos electrónicos.

¿Qué es un residuo electrónico?

Los aparatos electrónicos se han vuelto una parte fundamental de nuestro día a día. Sin embargo, cuando uno de estos aparatos se vuelven obsoletos, o se descomponen, en lugar de arreglarlo, solo lo arrojamos a la basura. Por otra parte, quizás solamente buscamos el teléfono que esté de moda, una computadora con mejor procesador o una consola de videojuegos de última generación, todo esto sin pensar en la cantidad tan excesiva de desechos electrónicos que generamos.

Pero ¿Qué es un desecho electrónico? Bien, un desecho electrónico es denominado como: “cualquier aparato eléctrico o electrónico cuyo periodo de vida útil ha concluido” [1].

Una vez que tenemos claro que es un desecho electrónico ¿Se han preguntado la cantidad de desechos electrónicos que se generan

a nivel mundial y en México anualmente? Se estima que se generan alrededor de 50 millones de toneladas en el mundo [2], siendo China, India, Estados Unidos, Japón y Brasil los países con la mayor producción de residuos electrónicos. A nivel nacional, la mayor cantidad de residuos está en la CDMX con un total de 117,000 toneladas, seguido de Jalisco con una cantidad de 82,000 y Baja California con 58,000 toneladas [3].

Clasificación y composición

De manera general, los residuos electrónicos se clasifican de la siguiente forma: 1. equipos informáticos, 2. equipos de conectividad, 3. equipos de audio y video y 4. equipos de telefonía fija y celular.

La composición de los residuos electrónicos es en su mayoría plásticos, cerámicos, metales y metaloides, dependiendo del dispositivo. En general, la composición de plásticos y cerámicos es un 30% de cada uno de estos materiales, mientras que los metales representan el 40%, dentro del cual el cobre es el principal metal encontrado, teniendo un porcentaje de entre 20 al 50%, seguido del hierro, con 8-20%, níquel del 2-5%, plomo 2%, y metales preciosos en porcentajes bajos de entre 0.3-0.4% [4]. En la figura 1, se muestra una gráfica de los porcentajes que representan cada uno de los componentes de un celular y la cantidad porcentual de metales contenidos.

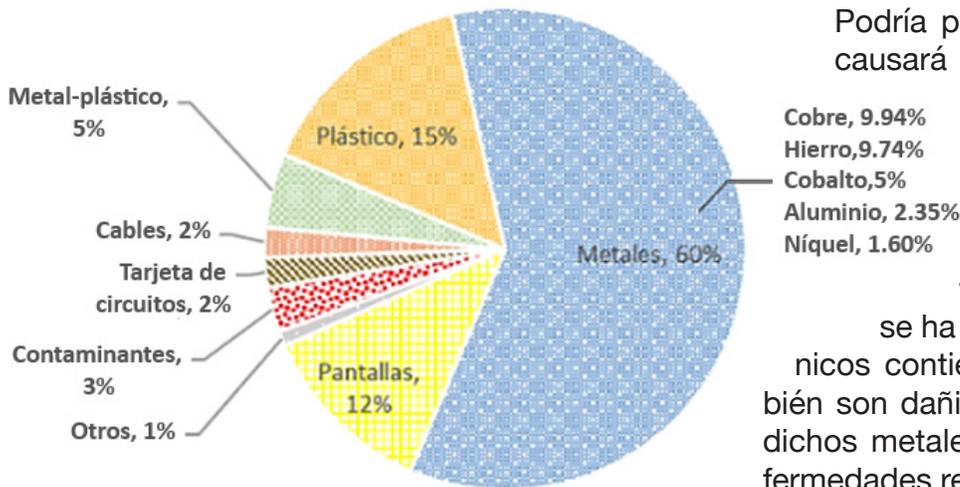


Figura 1. Composición de residuos electrónicos de teléfonos celulares. Modificado de [5].

También, metaloides como el silicio, arsénico, germanio y antimonio se encuentran en menor cantidad en los desechos electrónicos, de igual manera y en menor proporción, el azufre (no metal) se encuentra en desechos de baterías de automóviles, baterías ácidas de plomo, reguladores de voltaje y almacenamiento de energía, materiales semiconductores, lámparas solares, etc.

Impacto de la basura electrónica

Al igual que cualquier otro desecho que se arroja al suelo o a los cuerpos de agua, los desechos electrónicos traen consigo efectos negativos para los seres humanos, los animales y el ambiente en general.

Los metales pesados como el cadmio, plomo, níquel o mercurio (presentes en los desechos electrónicos) pueden emitir gases tóxicos y se liberan a la atmósfera. También, los metales pueden ser absorbidos en el suelo y a su vez ser arrastrados a los ríos, lagos y mares aumentando su concentración en diferentes formas de vida. El impacto de los metales en el ambiente es muy grande, hasta el grado de que se sabe que la batería de un teléfono celular es capaz de contaminar 50,000 litros de agua por su contenido de níquel y cadmio, o bien un televisor puede contaminar con metales hasta 80,000 litros de agua [2].

Podría parecer a simple vista que no se causará un problema de manera inmediata, sin embargo, la continua exposición de estos residuos en el ambiente provocará una serie de daños irreversibles y un desequilibrio en el ecosistema. Por otra parte, y como ya se ha revisado, estos aparatos electrónicos contienen diversos metales que también son dañinos para el ser humano, ya que dichos metales son capaces de provocar enfermedades respiratorias, problemas cutáneos, y si la exposición a estos es prolongada, cabe la posibilidad de desarrollar enfermedades más graves como el cáncer.

Se considera que la producción de aparatos electrónicos a nivel mundial es de los sectores de mayor crecimiento, pero a medida que la tasa de producción va en aumento, también lo hace la cantidad de desechos que se generaran. Por lo que, la pregunta que surge es: ¿Qué ocurre con todos esos desechos?

En primera instancia, al no tener la cultura del reciclaje y disposición correcta de dichos aparatos, cuando han cumplido con su vida útil, simplemente los echamos a la basura y llegan a los vertederos a cielo abierto (Figura 2), ríos, lagos y mares, generando contaminación.



Figura 2. Acumulación de desechos electrónicos [2].

Como puede apreciarse es un gran problema y entonces: ¿Qué se puede hacer al respecto antes de que se produzca un daño permanente? La llamada “biotecnología” podría tener una respuesta a esta problemática a través de lo que se conoce como “biolixiviación”. Sin embargo, primero se tiene que entender a qué le llamamos “biotecnología”, y por qué es tan importante en nuestros días.

¿Qué es la biotecnología?

Contrario a lo que pueda creerse, la biotecnología no es reciente, ya que está surgió en el año de 1919 gracias al ingeniero agrónomo Karl Ereky. Sin embargo, hasta este milenio, gracias a los avances tecnológicos, se ha podido aprovechar su potencial, y es la combinación de la biología y la tecnología con el fin de modificar o mejorar un proceso.

Sus aplicaciones van desde la elaboración del pan, el vino y la cerveza, mejoramiento de medicamentos, obtención de cultivos agrícolas más productivos, la biorremediación ambiental entre otras. En este caso particular, nos enfocaremos en una de las aplicaciones que tiene en el tratamiento y aprovechamiento de desechos electrónicos que afectan el ambiente mediante el uso de la biolixiviación.

Biolixiviación ¿Una posible solución?

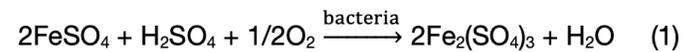
La biolixiviación es un proceso en el que se disuelven metales en un medio ácido con el uso de microorganismos. De manera común, este proceso se presenta en la naturaleza y se utiliza en la industria minera, cuando la cantidad del metal de valor es muy reducido o se encuentra en combinación con minerales que no permiten su exposición al medio de disolución.

Sin embargo, aquí abordaremos como este proceso se puede aplicar en la recuperación de metales como cobre, oro, plata, estaño, cadmio, platino, etcétera, a partir de los desechos electrónicos.

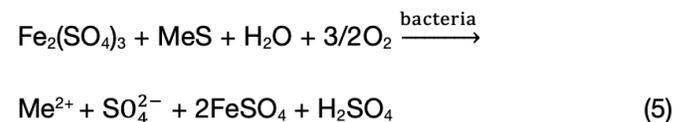
Los microorganismos más utilizados para la biolixiviación de metales son las bacterias

denominadas “quimiolitotórfas”, que son aquellas que tienen la capacidad de utilizar el CO_2 como fuente de carbono y compuestos inorgánicos como el hierro ferroso, azufre elemental o incluso amoníaco como fuente de energía, en presencia de oxígeno.

Por lo anterior, el proceso de lixiviación de los desechos electrónicos se puede acelerar por las bacterias quimiolitotórfas debido su capacidad oxidante del hierro y/o azufre. Los iones hierro se modifican, pasando de hierro ferroso (Fe^{2+}) a hierro férrico (Fe^{3+}), reacción (1). Mientras que, el azufre (S^0) es convertido a ácido sulfúrico (H_2SO_4), tal como se ilustra en la reacción (2):



Una vez producido el ácido sulfúrico y los iones férricos, se promueve los procesos de acidólisis y de redoxólisis, como se muestra en las reacciones (3) – (5):



Por lo tanto, las bacterias ayudan a la formación de los agentes lixiviantes (Fe^{3+} y H_2SO_4) que favorecen la liberación del o los metales (Me) presentes, es decir, se promueve la formación de sulfatos metálicos, que a su vez se disocian para formar iones metálicos (Me^{2+}) y sulfatos en un medio acuoso ácido, y posterior recuperación por métodos físicos [6].

Las bacterias quimiolitotórfas más estudiadas y aplicadas en procesos de lixiviación tanto en cultivos puros o consorcios se muestran en la tabla 1.

Sin embargo, *Acidithiobacillus ferrooxidans* es la cepa bacteriana más utilizadas debi-

Tabla 1. Especies y consorcios bacterianos utilizados en procesos de biolixiviación de metales de desechos electrónicos [6].

Especies	Consortios
<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> , <i>Leptospirillum ferriphilum</i> , <i>Acidithiobacillus caldus</i> , <i>Acidithiobacillus thiooxidans</i> , <i>Sulfobacillus sp.</i> , y <i>Ferroplasma sp.</i>
<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	
<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	
<i>Acidiphilium acidophilum</i>	
<i>Sulfobacillus thermo sulfooxidans</i>	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> y <i>Acidithiobacillus acidophilum</i>

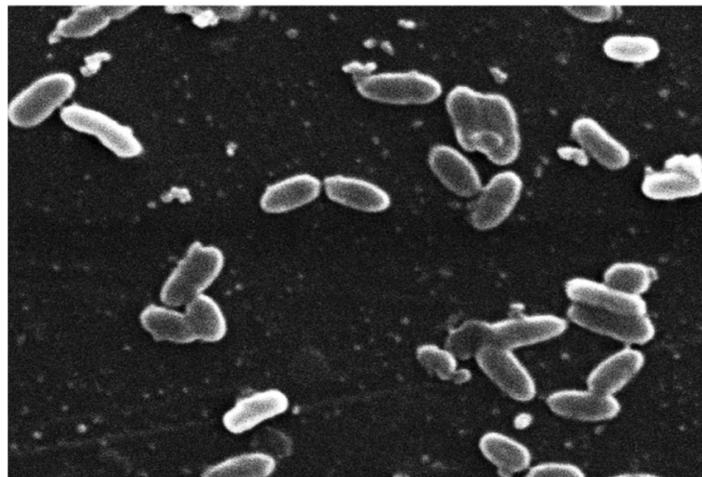


Figura 3. *Acidithiobacillus ferrooxidans* [7].

do a sus características fisiológicas (Figura 3), quien presenta una alta resistencia a la toxicidad de los metales y crece bajo condiciones muy ácidas, lo que favorece la disolución de los metales en el medio, y no requiere de una fuente de carbono orgánica, ya que es capaz de utilizar el CO₂ de la atmósfera. Por lo que, la bacteria es utilizada para procesos de biolixiviación de metales como cobre, hierro, níquel y plomo, provenientes de desechos electrónicos.

Una vez conocidos los mecanismos realizados durante la biolixiviación, y las bacterias que pueden ser utilizados, se requiere conocer como es el proceso desde que se tienen los desechos electrónicos hasta la obtención de los metales.

Una propuesta del procedimiento es que los componentes electrónicos son desensamblados y pulverizados obteniéndose un polvo de los circuitos. Posteriormente, el polvo se coloca en un matraz que contiene las bacterias,

que llevarán el proceso de biolixiviación; una vez que se haya completado el proceso se obtendrán los metales de interés, siempre y cuando se consideren las condiciones idóneas en las que se desarrollan las bacterias utilizadas. Dicho proceso se muestra en el esquema de la figura 4.

Beneficios de la biolixiviación

La biolixiviación ofrece beneficios para el ambiente, ya que, puede reducir o evitar el uso de productos químicos como el ácido sulfúrico y cianuro, lo que puede reduce el impacto ambiental.

Por otro parte, los costos energéticos y de operación son bajos, y mediante su aplicación, se obtiene un producto valioso o de interés como la recuperación de cobre, litio entre otros, lo que genera retribuciones económicas.

Una oportunidad para el futuro

Como se puede apreciar en la lectura del artículo, el problema de la generación de desechos electrónicos es un aspecto preocupan-



Figura 4. Tratamiento general de los desechos electrónicos para la obtención de metales.

te hoy en día, que requiere el uso de procesos como el de la biolixiviación para contrarrestar su impacto. Sin embargo, como sociedad, se debe hacer conciencia sobre esto, ya que se puede disminuir este impacto mediante el compromiso de la población de reducir el consumo de productos electrónicos, para no seguir generando un exceso de desechos. **iBIO**

Referencias

- [1] Becerra, D., Hernández, A., Díaz, E., Cedano, K., & Martínez, H. (2020). Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE): Impacto social, ambiental, gestión y metodologías sobre su manejo. *enerLAC*, 4(2), 108-131. ISSN: 2631-2522. <http://enerlac.olade.org>
- [2] Flores, J. (18 de enero de 2023). La basura electrónica y su peligro para el medio ambiente. *National Geographic España*. https://www.nationalgeographic.com/es/mundo-ng/peligros-basura-electronica_13239
- [3] *Recicla tus dispositivos*. (5 de mayo de 2020). Procuraduría Federal del Consumidor. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/recicla-tus-dispositivos?idiom=es>
- [4] Martínez, A., Cuevas, D., & Osuna, J. (2019). Gestión de desechos electrónicos en la Universidad Autónoma de Sinaloa, Campus Mazatlán. *Revista De Investigación En Tecnologías De La Información*, 7(13), 53-60. <https://riti.es/index.php/riti/article/view/122>
- [5] Araiza, J., Escobar, K., & Nájera, J. (2016). Diagnóstico de generación y manejo de los residuos eléctricos y electrónicos en instituciones educativas: un caso de estudio. *Ingeniería*, 20(2), 115. ISSN: 1665-529X. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46750928006>
- [6] Adetunji, A., Oberholster, P., & Erasmus, M. (2023). Bioleaching of Metals from E-Waste Using Microorganisms: A Review. *Minerals*, 13, 828. <https://doi.org/10.3390/min13060828>
- [7] Gao, Q., Tang, D., Song, P., Zhou, J., & Li, H. (2018). Bio-adsorption and Bio-transformation of Arsenic by *Acidithiobacillus ferrooxidans* BY3. *International Microbiology*, 21(4), 207-214. <https://doi.org/10.1007/s10123-018-0017-y>

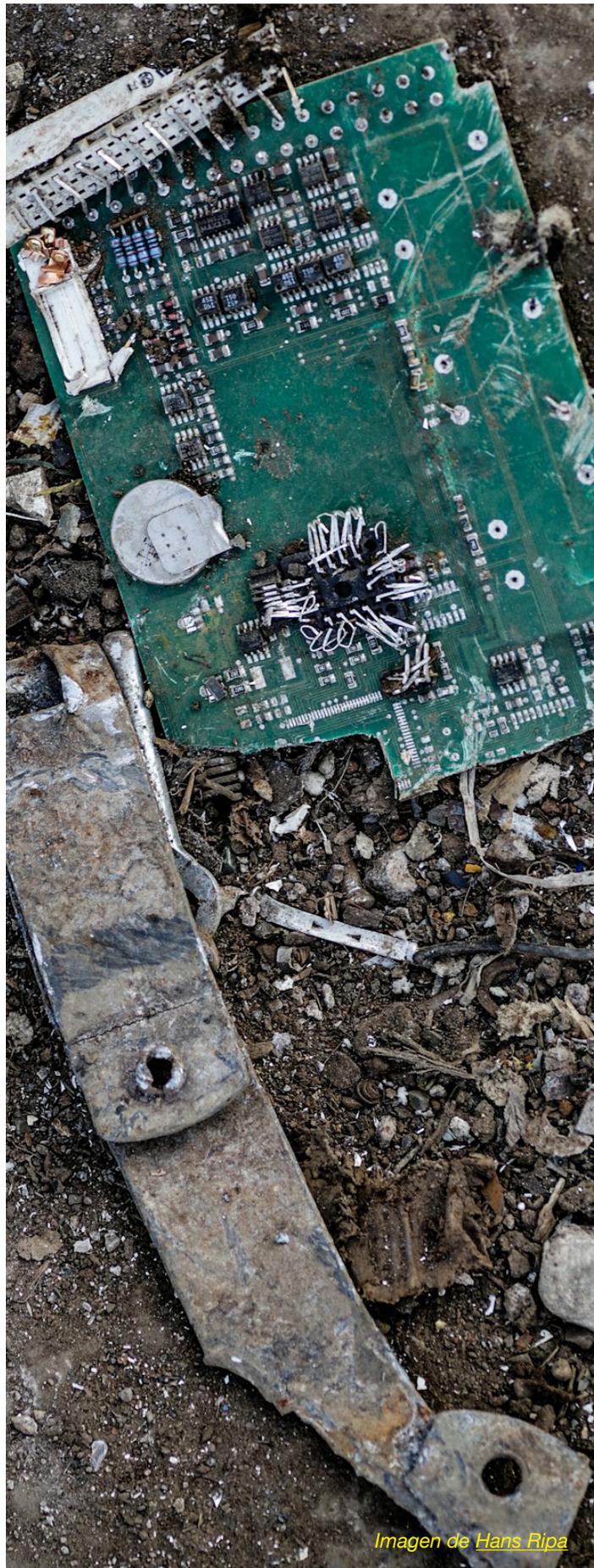


Imagen de Hans Ripa