

**Universidad Católica de Manizales  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura**

**Autora  
GLORIA STEFANIA BOTERO ARENAS**

**Trabajo de Grado en Modalidad Revisión de Tema para Optar por el título de  
Ingeniera Ambiental**

**Asesor  
SEBASTIAN ISAAC PACHECO GONZALES**

**REVISIÓN SISTEMÁTICA DE PARÁMETROS DE RECUPERACIÓN DE  
METALES DE ALTO VALOR EN RESIDUOS ELECTRÓNICOS MEDIANTE  
TECNOLOGÍAS ANAEROBIAS**

**Ingeniería Ambiental**

**2021**

# REVISIÓN SISTEMÁTICA DE PARÁMETROS DE RECUPERACIÓN DE METALES DE ALTO VALOR EN RESIDUOS ELECTRÓNICOS MEDIANTE TECNOLOGÍAS ANAEROBIAS

## Tabla de Contenido

RESUMEN.....	3
ABSTRACT .....	4
INTRODUCCIÓN .....	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
HIPÓTESIS .....	8
JUSTIFICACIÓN .....	9
ANTECEDENTES .....	10
MARCO TEÓRICO.....	11
<i>Tecnologías Anaerobias</i> .....	11
<i>Procedimientos convencionales para la recuperación de metales.</i> .....	11
<i>Biorrecuperación de metales por diferentes microorganismos.</i> .....	12
<i>Biolixiviación.</i> .....	12
<i>Procesos de Bio-Pila</i> .....	12
<i>Equipos Móviles.</i> .....	13
OBJETIVO GENERAL.....	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
METODOLOGÍA.....	15
<i>Fase Inicial.</i> .....	15
<i>Fase de Abstracción.</i> .....	15
<i>Fase de interpretación.</i> .....	16
<i>Fase de análisis y argumentación.</i> .....	16
BIBLIOMETRÍA.....	17
Sistematización de la Información Consultada .....	22
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	23
DESARROLLO DEL TEMA.....	24
RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	30
REFERENCIAS.....	32
ANEXOS.....	41
<i>Anexo 1. Fichas bibliográficas</i> .....	41
<i>Anexo 2. Base de datos</i> .....	1
<i>Anexo 3. Guía práctica</i> .....	1

## **RESUMEN**

En el presente proyecto, se realizará una revisión sistemática, de los parámetros para la recuperación de metales de alto valor, presentes en los residuos electrónicos mediante la aplicación de tecnologías anaerobias; la investigación se ocupará de identificar un microorganismo en específico, que cumpla con el propósito de la extracción del metal, en desechos de equipos móviles. Será de prioridad encontrar la estabilidad de éste, para las condiciones de la operación (tiempo, tipo de tratamiento para la tecnología anaerobia, temperatura, porcentaje de recuperación, condiciones en la operación, nutrientes).

Finalmente, el propósito es encontrar un medio técnico, amigable y biológico para extraer los metales de alto valor de los residuos de equipos móviles de comunicación, disminuyendo las actividades mineras y metalúrgicas, con el fin de contribuir al medio ambiente y a la pervivencia del ser humano a través del tratamiento técnico de los RT desde la Universidad Católica de Manizales.

## **ABSTRACT**

In this project, a systematic review of the parameters for the recovery of high-value metals present in electronic waste will be carried out through the application of anaerobic technologies. The research will identify a specific microorganism that fulfills the purpose of metal extraction in mobile equipment waste. The priority will be to find the stability of this one, for the conditions of the operation (time, type of treatment for the anaerobic technology, temperature, percentage of recovery, conditions in the operation, nutrients).

Finally, the purpose is to find a technical, friendly and biological means to extract the high value metals from the waste of mobile communication equipment, reducing the mining and metallurgical activities, in order to contribute to the environment and the survival of the human being through the technical treatment of the RT from the Catholic University of Manizales.

## INTRODUCCIÓN

El transcurrir de los años, en conjunto con los múltiples cambios de modelos económicos de los Estados han conllevado el aumento en la potencialización de avances tecnológicos que necesariamente van a atender las políticas de mercado que se imponen en la mayoría de los países, los cuales básicamente se encuentran centrados en lo que se conoce comúnmente como el consumismo.

El consumismo previamente mencionado ha generado un aumento en la producción masiva, sobre todo al tratarse de bienes y servicios que básicamente resultan siendo desechables. En una mayor proporción, dichos bienes y servicios se encuentran encaminados especialmente en la producción de materiales electrónicos o tecnológicos debido a las facilidades que dichos dispositivos, sea cualquiera que sea, resultan para garantizar el bienestar y la mejora de las condiciones de vida de las sociedades actuales.

Evidentemente las consecuencias de ese hiperconsumo que se logra evidenciar hoy en día versa sobre la desechabilidad de productos, debido a que las industrias se han visto a la tarea de acortar la vida útil de sus componentes y dispositivos. Aquello necesariamente se convierte en una cadena que degenera en que el consumo a su vez genere residuos, especialmente residuos sólidos; los cuales van más adelante a generar impactos altamente negativos al medio ambiente.

Efectivamente y en mayor medida, gran cantidad de los residuos sólidos que se generan a lo largo y ancho del mundo son provenientes de elementos y componentes eléctricos, electrónicos o tecnológicos, terminando estos catalogados como “basura electrónica” o residuos electrónicos. Especialmente en los últimos años se ha evidenciado un aumento en las toneladas anuales que se generan de tales residuos entendiendo que la vida útil de estos aparatos electrónicos cada vez es más corta, lo que aumenta la necesidad de eliminar en mayor medida los residuos, además de pretendiendo el bienestar ambiental.

Es de tomar en cuenta que la basura electrónica es una de las que más aumenta entendiendo ese aumento en un 3 a 5% anual según la Organización Mundial de la Salud. Es importante resaltar que el proceso de reciclaje de los residuos electrónicos es bastante complejo entendiendo su estructura heterogénea y su multiplicidad de componentes orgánicos, metales y cerámicas, siendo *“alrededor del 30% de plásticos, 30% de materiales refractarios y hasta el 40% de los metales en promedio”* (Benzal, Cano, et al., 2020). Precisamente por ello es que este trabajo tiene lugar, esto debido a que muchos componentes que se encuentran inmersos en estos aparatos electrónicos son metales valiosos como el oro, cobre, la plata y demás.

Las importancias de la recuperación de los metales contenidos en los residuos electrónicos contribuyen evidentemente a su reutilización y la conocida economía circular por lo que los mismos podrían emplearse para nuevos usos.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los residuos electrónicos son una problemática ambiental mundial, los desechos que se generan de estos son mayores a 40 millones de toneladas anuales en el mundo (Payueta, E. 2017). Es presumible que una de las causas del impacto ambiental que se genera, es debido a la producción de equipos móviles de comunicación, puesto que, para el ensamble de estos productos, se utilizan métodos donde se alteran los contextos ambientales de la zona de producción (Soriano Parra, Ruiz Rivera, Ruiz Lizama, 2015).

Frente a la situación de degradación ambiental, se hace prudente que las instituciones de educación superior elaboren e implementen una metodología o diseñen un protocolo para la aplicación de una tecnología anaerobia en la extracción de metales de alto valor a escala laboratorio, en equipos móviles de comunicación.

Para la realización del proyecto se va trabajar en conjunto con la empresa ColombiaNet, la cual, se encarga de brindar soluciones tecnológicas integrales con sostenibilidad ambiental, el grupo empresarial cuenta con una unidad gestora de RAEE (Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos), dando una disposición final a los residuos tecnológicos. (ColombiaNet).

Los metales de alto valor presentes en las tarjetas electrónicas que se desechan en la empresa son los siguientes:

<b>Metal Precioso</b>	<b>Contenido en tarjetas electrónicas (g/ton)</b>	<b>Metales pesados</b>
Au	250	Pb
Ag	1.000	Sn
Pd	110	Cd
Pt	3	Cd
Cu	200.000	Polímeros tóxicos

**Tabla 1:** Metales presentes en las tarjetas electrónicas de ColombiaNet.

Teniendo en cuenta estas cifras se hará la revisión sistemática de los parámetros para la recuperación de estos metales en la empresa ColombiaNet.

### **HIPÓTESIS**

El ser humano suele cambiar de equipo móvil entre 2 o 3 años de uso, algo similar sucede con los demás aparatos electrónicos (América, 2018). Las grandes industrias de estos equipos van innovando los productos con el fin de generar necesidad de cambio en las personas; provocando así, una tasa alta de residuos electrónicos, puesto que, cada vez se van desechando mayor cantidad de ellos. De acuerdo a este planteamiento, se realizará una propuesta de tecnologías anaerobias para la extracción de los metales de alto valor presentes en los equipos móviles, permitiendo la reducción de los desechos de este tipo, reutilizando los metales en otros procesos donde sean necesarios y disminuyendo las actividades de extracción minera, causando un impacto positivo para los recursos naturales.

Es posible enfrentar la situación de degradación ambiental, generada por el residuo sólido, producto de la conclusión de la vida útil de equipos móviles de comunicación, a través de la recuperación de metales valiosos; elaborando una metodología o un protocolo para implementar tecnologías anaerobias desde el laboratorio de la Universidad Católica de Manizales y en la empresa ColombiaNet.

## JUSTIFICACIÓN

Los excesos de residuos electrónicos van en aumento, la producción e innovación de dispositivos inteligentes genera picos altos en la cantidad de basura tecnológica (Payueta, E. 2017), según la ONU (Nadal, M. 2019) en 2018 se generaron 50 millones de toneladas de residuos electrónicos en el mundo; Esto, es un problema, debido a las mínimas tecnologías que existen en la recuperación de este tipo de desechos. Aunque se conocen procesos de manejo de residuos tecnológicos, estos generan contaminantes, debido al uso de ácidos agresivos y hornos a temperaturas muy altas, por tal razón es necesario buscar estrategias para el control y manejo óptimo de dichos residuos. (Dorado, A. 2019).

La aplicación de tecnologías anaerobias es poco común en estos casos de recuperación de metales, generalmente en esta metodología se usa ácido sulfúrico, ácido clorhídrico o ácido nítrico ( $H_2SO_4$ ,  $HCl$  o  $HNO_3$ ).

La recuperación de metales por medio de la técnica de biolixiviación (Minero, 2019), la cual, consiste en el uso de microorganismos para dicho fin; es un proceso amigable con el medio ambiente (Residuos, 2016), puesto que, permite la extracción de materias primas sin alterar el ciclo de dónde se obtienen. En este ejercicio académico, se realizará una revisión bibliográfica, en busca de información de un microorganismo propicio para adelantar este proceso.

## ANTECEDENTES

Los impactos ambientales generados por la humanidad aumentan la innovación para el tratamiento de residuos resultantes de actividades que afecten los espacios ecológicos.

Uno de los pioneros en este tema es el Dr. Simon Hageman de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Saxion, él escribió sobre la “Biorreducción anaerobia para la recuperación de elementos a partir de residuos electrónicos”, donde plantea la extracción de metales de equipos móviles por medio del bioprocesamiento de los WESP (Partículas de sulfuro de elemento en el agua) mediante digestión anaeróbica a sulfuro biogénico regenerado y mantener el elemento precipitado sólido en una forma alta y pura. (Hageman, S. 2020).

Antoni Dorado de la Universidad Politécnica de Cataluña escribió “Las bacterias 'come-móviles'”, el cual utiliza la técnica de biolixiviación, los microorganismos se cultivaron en el laboratorio y los mantienen en condiciones estables de temperatura, pH y concentración de sales, obteniendo también los nutrientes necesarios para vivir y reproducirse. Esta metodología da un resultado de metales en estado líquido donde es posible recuperarlos y volverlos a su estado natural. (Dorado, 2019).

Graciana Willis Poratti de la Universidad Nacional de la Plata realizó la tesis acerca de “Biorremediación de metales pesados por sulfido-génesis utilizando comunidades y microorganismos sulfato-reductores”, expresa el incremento de la actividad minera y metalúrgica, siendo responsable de la producción sin control de efluentes con altas cargas contaminantes de metales y sulfatos. La bio-precipitación utiliza microorganismos capaces de precipitar muchos de los metales pesados en estos efluentes, denomina estos microorganismos como BSR (Bacterias sulfato-reductores), implementados bajo condiciones anaeróbicas.

## MARCO TEÓRICO

### *Tecnologías Anaerobias*

Las tecnologías anaerobias son sistemas de tratamiento que se basan en procesos biológicos los cuales son operados y controlados bajo condiciones anaerobias, o sea con ausencia total de oxígeno disuelto. En este sentido, el tratamiento consiste en un método que se caracteriza básicamente por la producción de CH<sub>4</sub>. Los microorganismos que se encuentran activos en este proceso son pertenecientes a esas bacterias anaerobias, o sea; únicamente son capaces de existir excluidas de oxígeno. Es de aclarar que las bacterias metanogénicas son un componente fundamental en la degradación anaerobia del material orgánico y asimismo de elimina residuos mediante la conversión de la misma en biogás (metano y dióxido de carbono) (*Tecnología anaerobia*, 2020).

### *Procedimientos convencionales para la recuperación de metales.*

En la actualidad existen dos procesos, considerados eficientes, para la recuperación de metales con alto valor que se encuentran contenidos en los elementos y materiales electrónicos que son objeto de desecho. Estos procesos son considerados pirometalúrgicos y también hidrometalúrgicos. Las diferencias entre unos y otros se configuran por las temperaturas elevadas que aquellos manejan y los químicos altamente agresivos que derriten o remueven la matriz que contiene los metales, como es el caso de las placas de circuito impreso. Esto simboliza un costo elevado económicamente, además de un impacto al medio ambiente de manera negativa.

### ***Biorrecuperación de metales por diferentes microorganismos.***

La biorremediación consiste básicamente en la utilización de microorganismos que contribuyen a la neutralización de sustancias tóxicas, por ello es que se implementa esta metodología en la recuperación de los metales. Entre lo anterior se podría encontrar, por una parte, la conocida biolixiviación y procedimientos de bio-pila.

### ***Biolixiviación.***

Se trata de un procedimiento tecnológico de reciclaje, el cual se caracteriza especialmente por su amigabilidad con el medio ambiente, lo cual ha sido probado como alternativa entre los métodos que se usan convencionalmente para la recuperación de metales valiosos que se encuentran inmersos en los componentes electrónicos. Es un procedimiento o metodología que se utiliza comúnmente en el campo de la minería de menor escala o incluso, en algunos aspectos considerada minería urbana.

La biolixiviación gira en torno al metal, por lo que es eficiente en la extracción, por ejemplo, del cobre debido a que se basa en la acción del hierro III, oxidando el cobre metálico en la chatarra electrónica, transformando a su vez en cobre soluble. Es importante mencionar que el papel fundamental que cumple el microorganismo será el de la re-oxidación del hierro II, cerrando el ciclo en un ciclo proceso.

### ***Procesos de Bio-Pila***

Son mayormente usados en aplicaciones comerciales, se encuentran enfocados en la recuperación de minerales en menor escala y concentrados específicamente en la recuperación

de algunos de ellos. La técnica ha mostrado ser eficiente en la recuperación de metales valiosos de residuos electrónicos a escala industrial.

### ***Equipos Móviles.***

Efectivamente, para el transcurso correcto del presente trabajo, cabe la posibilidad de enfocar específicamente en donde se encuentra un mayor conjunto de componentes que serán susceptibles de revisión. Estos son los equipos o dispositivos móviles o de telefonía celular. Lo anterior entendiendo que en mayor proporción es que aquellos se encuentran de igual manera en las grandes cantidades de residuos tecnológicos o electrónicos, lo cual constituye un impacto negativo en el medio ambiente, debido a su corta vida útil y su indispensabilidad en el devenir social de los individuos, en conjunto con su masiva producción. Precisamente por lo anterior, los componentes electrónicos son de un valor importante por lo que en sus placas de circuito impreso podrían encontrarse presentes metales como: Cobre, oro, plata, hierro, níquel, zinc, rodio, paladio, berilio, magnesio, cobalto, carbonato de calcio, carbonato de sodio, entre otros.

## **OBJETIVO GENERAL**

Revisar sistemáticamente los parámetros de recuperación de metales de alto valor en residuos electrónicos mediante tecnologías anaerobias.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Realizar una bibliometría de las metodologías para la extracción de metales de alto valor en residuos electrónicos.
2. Sistematizar la información consultada, tomando como variable respuesta el porcentaje de extracción de metales de alto valor y como variables de estudio los parámetros de operación.
3. Plantear una metodología para la extracción de metales de alto valor.

## **METODOLOGÍA**

La metodología que a lo largo del trabajo en cuestión se va a realizar va a ser conforme a la aplicación de revisión del tema, por medio de la síntesis de la información precisamente clasificada y seleccionada. Dicha metodología se realiza en función del cumplimiento de una serie de fases.

### ***Fase Inicial.***

En este primer momento se da una definición del problema en cuestión, así como que se realiza una relación de objetivos de estudio de la revisión en donde se logra mostrar la taxonomía del tema. Allí se determinan las palabras clave y los criterios que van a ser seleccionados del material a revisión.

### ***Fase de Abstracción.***

Se trata de la consulta bibliográfica en donde se realiza una abstracción de la información y fuentes utilizando las fichas bibliográficas (ver anexo 1), las cuales se consideran dentro de los siguientes parámetros:

1. Realización de consultas, de al menos 40 fuentes bibliográficas de carácter técnico-científicas que sean reconocidas, de al menos los últimos cinco años o anteriores con el respectivo aval del tutor. Con un mínimo de 20 fuentes en una segunda lengua.
2. Las bases de datos recomendadas son: Ambientalex.info, Proquest, E-brary, E-libro, Redalyc, Scielo. Además, se podrá utilizar el buscador Google Académico.

Las fuentes podrán ser además los repositorios físicos y virtuales de las Universidades y otras instituciones, documentos oficiales de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, entre otros recomendados por el tutor y propuestos por el estudiante.

***Fase de interpretación.***

Posteriormente se realizará la interpretación de los textos, donde se muestre la comprensión y apropiación conceptual de la temática por parte del estudiante, a través de un resumen que se plasmará en la ficha y en el documento final.

***Fase de análisis y argumentación.***

Finalmente se realiza un análisis de los textos consultados, que incluye comparación de la información entre las fuentes, posiciones académicas y científicas de los autores, avances científicos y metodológicos, vacíos conceptuales, oportunidades de investigación y resultados novedosos. Además, se debe plasmar las reflexiones y conclusiones desde una perspectiva crítica y propositiva, que evidencie el punto de vista profesional del estudiante desde la Ingeniería Ambiental.

## BIBLIOMETRÍA

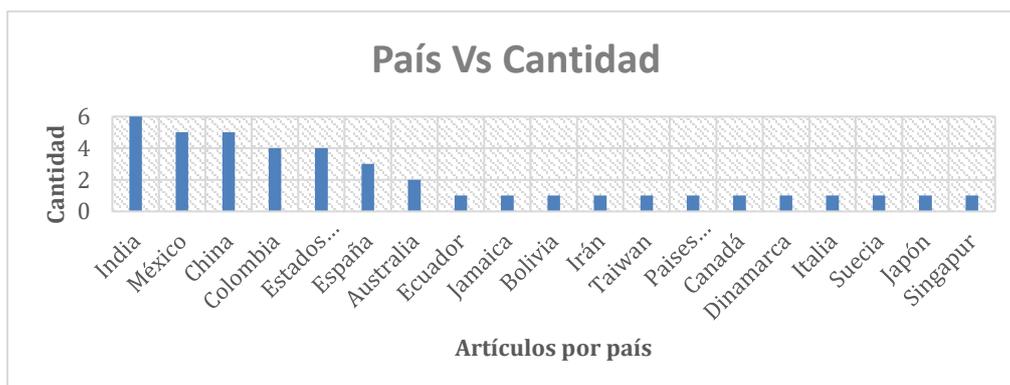
En adelante, la siguiente tabla muestra la cantidad de estudios hallados y referenciados (ver anexo 1) dependiendo los países en donde se desarrollaron y aplicaron las metodologías que en adelante se van a mostrar:

País	Cantidad	País	Cantidad
India	6	Irán	1
México	5	Taiwan	1
China	5	Países Bajos	1
Colombia	4	Canadá	1
Estados Unidos	4	Dinamarca	1
España	3	Italia	1
Australia	2	Suecia	1
Ecuador	1	Japón	1
Jamaica	1	Singapur	1
Bolivia	1	<b>Total</b>	<b>41</b>

**Tabla 2.** Cantidad de artículos con su país correspondiente.

**Aclaración:** Un proyecto se desarrolló en China e India, dado a esto, el total de esta clasificación son 41 artículos.

Frente a los datos previamente referenciados, se logra identificar que en su mayoría los artículos que más han estudiado la posibilidad de recuperación de metales valiosos contenidos en residuos electrónicos por medio de tecnologías anaerobias corresponden a India, seguido de México y China a nivel internacional. De manera estadística se puede ver en la siguiente gráfica:



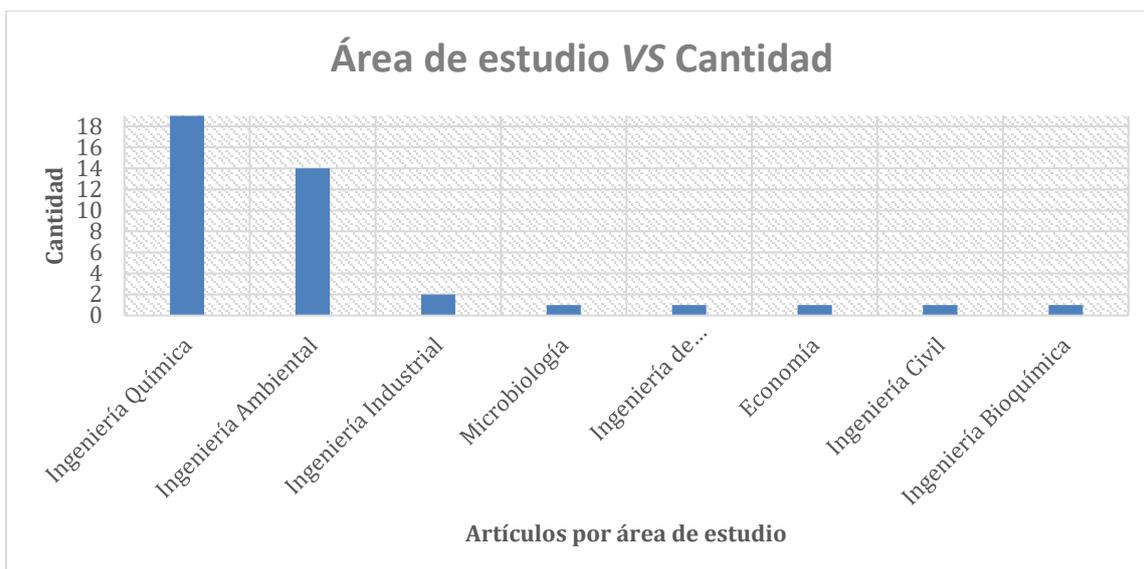
**Gráfica 1.** Cantidad de artículos con su país correspondiente.

Por otra parte, se logra determinar que en la siguiente tabla se muestra la cantidad de artículos que se han obtenido frente al área de estudio a la que pertenecen teniendo en cuenta aspectos técnicos que caracterizan los tipos de investigaciones encontradas. Por lo anterior se muestra de igual manera, porcentualmente, la cantidad de artículos que se encuentran frente a las diferentes áreas del conocimiento.

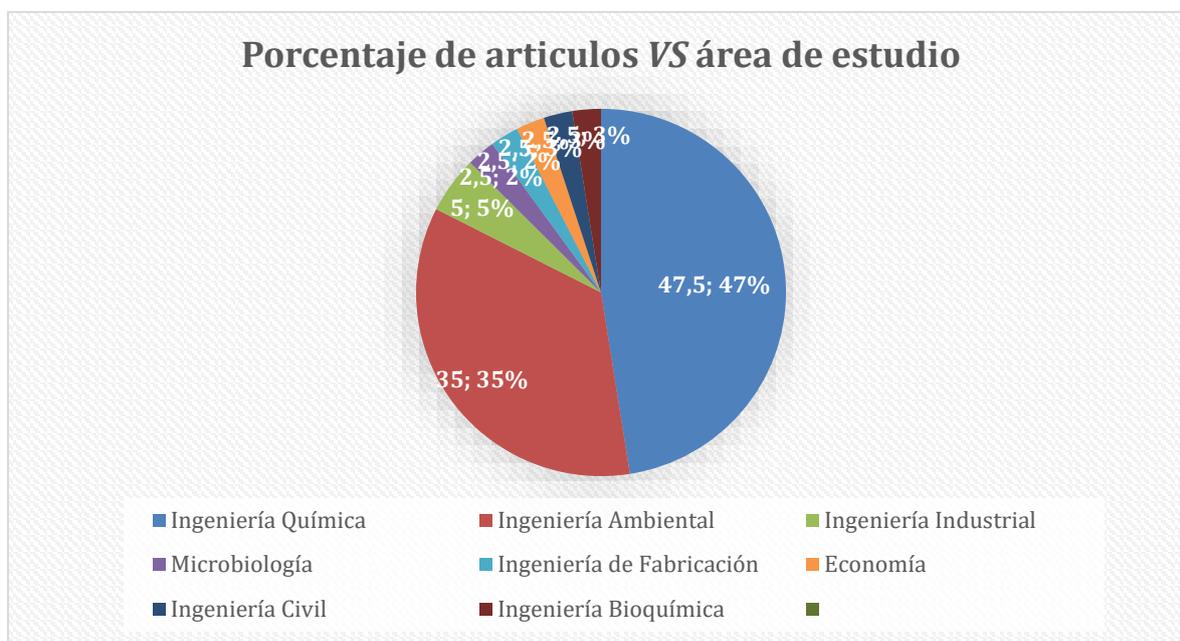
<b>Área de estudio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Ingeniería Química	19	47,5
Ingeniería Ambiental	14	35
Ingeniería Industrial	2	5
Microbiología	1	2,5
Ingeniería de Fabricación	1	2,5
Economía	1	2,5
Ingeniería Civil	1	2,5
Ingeniería Bioquímica	1	2,5
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

**Tabla 2.** Cantidad de artículos con su área de estudio correspondiente

Frente a lo previamente relacionado se logra determinar que en mayor medida, los estudios referenciados en el anexo 1 y en función de la recopilación de información al respecto de la recuperación de metales valiosos por medio de tecnologías anaerobias, los cuales se encuentran inmersos en residuos electrónicos, serán entonces los que se relacionan a la ingeniería química, siendo un total del 47% de los estudios referenciados los que se centran en aspectos especialmente químicos, seguido de la ingeniería ambiental, que da cuenta porcentual de al menos 35% como se muestra a continuación, en las siguientes gráficas:



**Gráfica 2.** Cantidad de artículos con su área de estudio correspondiente



**Gráfica 3.** Cantidad de artículos con su área de estudio correspondiente

Es importante relacionar, por otra parte, que las bases de datos son elementos importantes los cuales en su contenido se encuentra múltiple información. En ese sentido se logra verificar en la siguiente tabla la cantidad de artículos por base de datos:

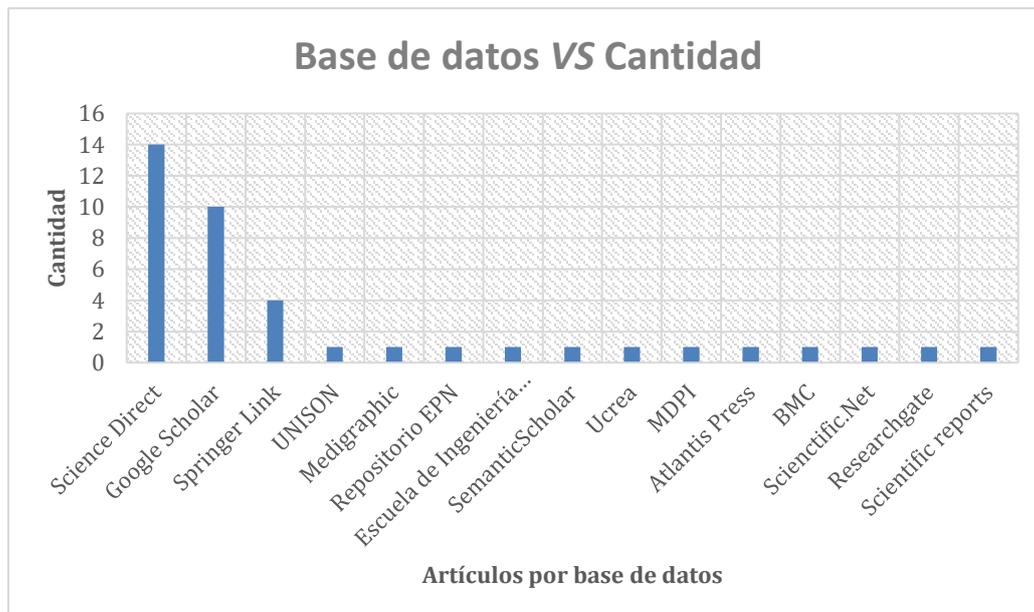
Base de datos	Cantidad
Science Direct	14
Google Scholar	10
Springer Link	4
UNISON	1
Medigraphic	1

Repositorio EPN	1
Escuela de Ingeniería EAFIT	1
SemanticScholar	1
Ucrea	1
MDPI	1
Atlantis Press	1
BMC	1
Scientific.Net	1
Researchgate	1
Scientific reports	1
<b>Total</b>	<b>40</b>

**Tabla 3.** Cantidad de artículos con su base de datos correspondiente

Como resultado se logra determinar que la base de datos denominada Science Direct es la que, en mayor medida, contiene más artículos relacionados con el tema que es objeto de investigación en este trabajo, con un total de 14 artículos en su conjunto.

Con respecto de lo anterior, se muestra gráficamente la cantidad de artículos por base de datos continuando con resultados significativos sobre la cantidad que muestra Science Direct, seguido de Google Académico.



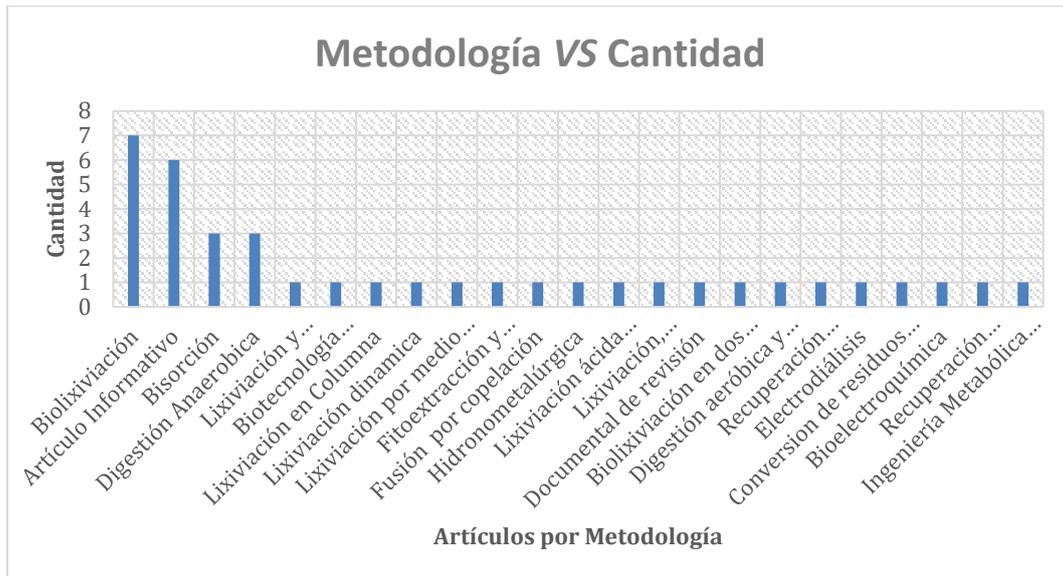
**Gráfica 4.** Cantidad de artículos con su base de datos correspondiente

Finalmente habrá que determinar un aspecto técnico que tiene mayor importancia, lo cual corresponde a la verificación de las metodologías que se utilizaron en los 40 artículos relacionados en el anexo 1 de este trabajo. Frente a ello se relaciona la siguiente tabla:

<b>Metodologías</b>	<b>Cantidad</b>
Biolixiviación	7
Artículo Informativo	6
Bisorción	3
Digestión Anaerobica	3
Lixiviación y Extracción Líquido - Líquido	1
Biotecnología Anaerobica	1
Lixiviación en Columna	1
Lixiviación dinámica	1
Lixiviación por medio de microfluorescencia de rayos X	1
Fitoextracción y biolixiviación	1
Fusión por copelación	1
Hidrometalúrgica	1
Lixiviación ácida usando H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .	1
Lixiviación, pirometalurgia, hidrometalurgia, biohidrometalurgia	1
Documental de revisión	1
Biolixiviación en dos pasos	1
Digestión aeróbica y anaeróbica	1
Recuperación electroquímica	1
Electrodialisis	1
Conversion de residuos en energía	1
Bioelectroquímica	1
Recuperación electroquímica	1
Ingeniería Metabólica lixivante en <i>Chromobacterium violaceum</i>	1
<b>Total</b>	<b>38</b>

**Tabla 4.** Cantidad de artículos con su metodología correspondiente

En este aspecto habrá que aclarar que, por una parte, la mayoría de artículos relacionados en este trabajo utilizó el método de biolixiviación para la recuperación de metales de alto valor contenidos en residuos electrónicos. En esa lógica hay que determinar que lo siguen artículos informativos que van a ser compilaciones sobre las diferentes técnicas metodológicas de otros estudios a su vez, sin embargo, en la mayoría de dichos artículos la biolixiviación era la metodología más utilizada al respecto. Lo anterior en consonancia con la siguiente gráfica:



**Gráfica 5.** Cantidad de artículos con su metodología correspondiente

### Sistematización de la Información Consultada

Teniendo en cuenta las bases de datos sciencedirect, scielo entre otras, se seleccionarán los artículos más relevantes de los 40 artículos encontrados en los cuales muestran diferentes tratamientos para extraer metales de residuos por medio de tecnologías anaerobias.

La metodología que se va usar para esta revisión permitirá identificar si hay vacíos o no, y si se puede seguir investigando. Este procedimiento es desarrollado por autores como Mario Alberto Jurado e Ivan Dario Mercado de la facultad de Ingeniería de la Universidad Mariana. Esto se hará teniendo en cuenta cuatro aspectos que son importantes: Porcentaje de extracción, temperatura, microorganismo y tiempo (se debe analizar si el tiempo es adecuado a la hora de recomendar una metodología de extracción).

De manera que se plantean las siguientes preguntas el cual buscaremos dar respuesta:

- (1) ¿Existen vacíos con respecto al Porcentaje de extracción?;
- (2) ¿Existen vacíos sobre la Temperatura adecuada para la extracción?;
- (3) ¿Existen vacíos con respecto al microorganismo usado en procesos de extracción de metales en procesos anaerobios?; y

(4) ¿Existen vacíos con respecto al tiempo en el que se realizan los tratamientos de extracción de metales de alto valor?

El sistema de evaluación se realiza teniendo en cuenta las siguientes ecuaciones

PAA%= porcentaje de artículos que responden a cada pregunta:

$$(1) PPA\% = \frac{\text{total de artículos que responden a cada pregunta}}{\text{total de artículos consultados}}$$

$$(1) PPA\% = \frac{27}{40} = 0.675 = 67.5\%$$

$$(2) PPA\% = \frac{16}{40} = 0.4 = 40\%$$

$$(3) PPA\% = \frac{13}{40} = 0.325 = 32.5\%$$

$$(4) PPA\% = \frac{11}{40} = 0.275 = 27.5\%$$

APPA%=Promedio de los porcentajes de artículos que responden a cada uno:

$$(2) APPA\% = \frac{\sum PAA\%n}{N^{\circ} \text{ total de preguntas}}$$

$$(2) APPA\% = \frac{(67.5 + 40 + 32.5 + 27.5)}{4} = \frac{167.5}{4} = 41.875\%$$

MAPPA%= Porcentaje de artículos que responden a cada una de las preguntas:

$$(3) MAAPPA\% = \frac{APPA\%}{3}$$

$$(3) MAAPPA\% = \frac{41.875}{3} = 13.958\%$$

Condición, Si  $PAA\%n < MAPPA\%$  existen vacíos.

**27.5% Es el que más se acerca a 13.958%, por lo que, hay oportunidad de investigar en esta area**

### **ANALISIS ESTADISTICO**

Se analizaron las diferentes áreas del conocimiento las cuales fueron ingeniería química, ingeniería ambiental, ingeniería bioquímica, ingeniería civil, ingeniería industrial y

microbiología. Lo anterior da cuenta de que el área con mayor estudio correspondió a ser la ingeniería química con resultados de 42,5%, mientras que la menor fue la ingeniería civil con 2,5%.

En cuanto a la metodología en función de la recuperación de metales de alto valor en residuos electrónicos se encuentran: La biolixiviación, la ingeniería metabólica lixivante *chromobacterium violaceum*. Se usó la digestión anaerobia, bisorción, conversión de residuos a energía, hidrometalúrgica, fitoextracción, bioprecipitación, entre otras. En mayor medida la biolixiviación con al menos 27,5%, seguida de la bisorción con un 20% y la menor fue la hidrometalúrgica con un 2,5%.

La mayor parte de los estudios se realizaron entre India y México y en promedio, los años de estudio fueron en mayor medida para 2016, por lo anterior se evidencia la necesidad de continuar con estudios para lograr una aplicación en mayor escala.

### **DESARROLLO DEL TEMA**

Conforme a los artículos revisados para dar un cumplimiento a los objetivos previamente propuestos, ha de relacionarse entonces de manera detallada las situaciones o particularidades de cada una de las fuentes obtenidas. Inicialmente se realiza una bibliometría, en donde se sintetiza, en conjunto las similitudes y diferencias estructurales de cada una de las fuentes investigativas consultadas como los países, fuentes de publicación, metodología y demás características particulares aplicadas.

Posteriormente se realiza la búsqueda de 40 revistas indexadas y algunos trabajos de investigación que corresponden a soportar el presente trabajo, de los cuales 20 son en inglés, se realizaron 40 fichas bibliográficas consagrando la información más relevante al respecto, para proceder posteriormente a la elaboración del análisis completo de los artículos que para

esta investigación resultan más interesantes, en cuanto a la ampliación de metodologías y conceptos.

Ahora bien, tomando en consideración los artículos de las bases de datos consultadas se seleccionan una serie de artículos importantes de los 40 ya relacionados, dentro de los cuales se logran identificar tratamientos de extracción de metales en residuos tecnológicos o electrónicos, por medio de tecnologías anaeróbicas.

La metodología usada para este fin es una revisión, que permitirá identificar si la existencia de vacíos o, por el contrario, se puede tomar una decisión “coherente” que permita una investigación posterior con criterio, basado en el procedimiento desarrollado por autores como M. A. Jurado y C.A. Ramírez.

En este caso, la revisión se centra en una serie de artículos que han experimentado algún tratamiento teniendo en cuenta cuatro aspectos que son importantes: Porcentaje de extracción, temperatura, microorganismo y tiempo, como características objeto de revisión. (Benzal, Cano, et al., 2020).

En una primera parte se destaca el artículo que da cabida a la realización del manual, y que en conjunto se constituye, a título personal de la autora, como la metodología con mejores resultados, independientemente de la proporción con la que se realizaron los estudios. En este primer momento, el artículo de Benzal, Cano y otros, denominado Copper recovery from PCBs by *Acidithiobacillus ferrooxidans*: Toxicity of bioleached metals on biological activity ha arrojado resultados importantes. (Benzal, Cano, et al., 2020).

Inicialmente se entiende la posible existencia de hasta 60 elementos diferentes en la composición de desechos electrónicos. De lo anterior se entiende a su vez, que, por medio de la biolixiviación, los metales diferentes del metal de interés podrían ser bio-lixiviados durante el procedimiento lo cual podría afectar a la actividad biológica.

En consecuencia, con lo anterior, la mayor parte de los estudios, los que han aplicado la biolixiviación se han llevado a cabo en un solo paso. Lo anterior representa que los desechos electrónicos y el inóculo se juntan en el medio apropiado bajo condiciones. Es de aclarar que aquello repercute en que el hierro, el cobre y demás, al momento de ser biolixiviación se encuentran en contacto con la biomasa, por lo que la misma produce un reactivo oxidante, Fe (III) de un biorreactor. Para un segundo paso, la solución contiene Fe (III) y se pone en contacto con los desechos electrónicos. Finalmente, los metales extraídos no estarán en contacto con la biomasa (Benzal, Cano, et al., 2020).

En los resultados que se han obtenido en el curso de la investigación realizada, se podría resaltar que se logró identificar una nueva estrategia que se basa en la biolixiviación en ciclos de un reactor en columna, la cual procura la recuperación de cobre que se encuentra inmerso en las placas de circuito impreso contenidos en teléfonos celulares. La técnica, ciertamente, obtiene con éxito una recuperación de cobre de hasta 80% en un periodo competitivo de menos de seis horas.

Ahora bien, ciertamente se logra identificar la presencia de una técnica de “*microrrespirometria*”, la cual se encuentra función de evaluar el efecto tóxico de los metales presentes en lixiviados sobre la actividad de la bacteria que se usó en este estudio, que fue “*Acidithiobacillus ferrooxidans*”, se logra demostrar que la toxicidad es dependiente de la concentración y tiempo de exposición, como las diferencias entre metales. (Benzal, Cano, et al., 2020)

Por otra parte, las pruebas de toxicidad del níquel han logrado demostrar que, para las concentraciones superiores a 1m, la inhibición de la actividad aumenta con el tiempo de contacto, por lo que va a ser superior a un 90% después de 24 horas. Para las concentraciones que son inferiores a 0,1 M, no se observaron efectos significativos. (Benzal, Cano, et al., 2020).

Para un segundo análisis podría destacarse la “*Recuperación de cobre de circuitos impresos y otros residuos electrónicos*”. (Perez & Gamiño, 2016) dentro del cual se presentaron resultados de recuperación de cobre en residuos de aparatos electrónicos y eléctricos. El método utilizado para lograr tales fines fue el de la lixiviación y extracción líquido-líquido. Frente a lo anterior se realizaron actividades de selección y extracción con concentraciones distintas del extractante comercial.

Los mecanismos que se realizaron, o el objeto con el cual se trabajó, fueron las placas de circuitos impresos. Inicialmente se realizó la separación de manera manual de componentes electrónicos. Los mismos se trituraron a tamaño partícula lo cual tenía diámetro inferior a 3mm. Se incluyeron ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno en donde se realizaron la cantidad del material que se obtuvo. Posterior a la lixiviación, dichas muestras contenían al menos 4,546.5 mg/L de cobre en solución. Aquello se constituye, por tanto, como un procedimiento lo suficientemente bueno de recuperación, por lo que el porcentaje de recuperación es bastante bueno.

En el referenciado artículo se verificó la importancia de clasificar por tamaños el material que compone cada una de las muestras, por lo que se requiere dichas partículas teniendo en cuenta que podría variar el porcentaje de retención.

Tamiz N°	Análisis granulométrico, para la muestra pulverizada de residuo TIC			
	Diámetro (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% que pasa
7	3	688.37	52.45	47.55
18	1	204.28	52.45	47.55
35	0.5	131.36	10.01	21.97
Finos	N<0.5	288.39	21.97	

**Tabla 2.** Tomado de Perez y Gamiño, en 2016.

Es entonces, donde se logra identificar el análisis de los porcentajes obtenidos en distribución de los tamaños, lo cual varían los porcentajes teniendo en cuenta los tamices 18°, 35°, lo cual arrojó resultados de recuperación, o retención de al menos 50%.

Es de resaltar que en otro estudio se ha utilizado tecnología anaerobia para la recuperación, en el caso concreto de níquel sobre la producción de metano en lodos. Este estudio se realizó, a nivel de laboratorio, desarrollado por Wills et al., 2006.

Es de tomar en consideración que la investigación encontró concentraciones efectivas de cadmio y níquel inhibidas en al menos 50% de producción de metano en un lodo anaerobio. En este artículo, el experimento se realizó con la interposición de 10 concentraciones de cada uno de los metales que fueron elegidos conforme a sus características geométricas y concentraciones sometidas a un lodo. En lo que aquí respecta, los materiales utilizados en la realización del presente estudio fueron realizado para los ensayos de toxicidad de tres reactores anaerobios de flujo ascendente. Los mismos fueron operados a escala de laboratorio bajo condiciones de investigación, el afluente era de 1200 mg.L, su remoción alcanzó 84% en un tiempo total de 16 horas, velocidad ascensional de 0.11 m.h y carga volumétrica (COV) 1.84 Kg.

Es de tomar en cuenta que los ensayos de degradabilidad del sustrato se realizaron de manera previa en función de definir el tiempo necesario de contacto para revisar la toxicidad de los metales. Frente a ello:

*“(…) se utilizó como sustrato una solución de ácido acético Merck grado analítico de 100% de pureza, con una demanda química de oxígeno de 4.0 g L<sup>-1</sup>. El montaje utilizado se ilustra en la Figura 3, y es similar al realizado para el ensayo de actividad metanogénica específica (AME) propuesto por Díaz B., 1997, pero a temperatura ambiente (24 - 26 °C), y con*

*un volumen de 30 mL en cada botella, volumen que incluía el sustrato (ácido acético), los nutrientes inorgánicos referidos en la Tabla 1, el inoculo (lodo anaerobio proveniente de los reactores UASB estabilizados) y agua destilada; el resto de volumen sirvió para la acumulación del metano". (Wills et al., 2006).*

Otro elemento que posiblemente se considera válido para el curso investigativo que aquí se está realizando será entonces el del procedimiento de recuperación de metales provenientes de procesadores y tarjetas de circuitos impresos de computadores, descartadas por medio de lixiviación en columna.

La metodología propuesta consistió básicamente en, los cuales se catalogan como metales de interés. Para lograr dicha recuperación se realiza la cianuración en columna. De allí que se necesitó reducir el tamaño de los circuitos impresos, posteriormente lixiviación básica y lixiviación ácida. (Montero, 2012).

En el estudio referenciado se utilizaron procesadores y circuitos impresos con microscopía electrónica para caracterizar los elementos que los componían. Se tomaron muestras de los procesadores de tostación oxidante, en razón de la eliminación de la parte plástica del material y reducción de su tamaño. El análisis de los metales valiosos, por ensayo al fuego y disgregación ácida, el material se analizó mediante espectrofotometría de absorción atómica, con equipos de Espectrofotometría.

Se logró identificar la concentración de cobre, hierro y níquel en los procesadores y tarjetas de circuitos impresos. Aquello se logró identificar por medio de Espectrofotometría de Absorción Atómica. Luego se realizaron ensayos de cianuración directa agitada y en columna para recuperar los metales valiosos inmerso en procesadores y tarjetas de circuito impresos. (Montero, 2012).

Las recuperaciones arrojadas, conforme a las medidas y concentraciones aplicadas, las cuales consistieron en la concentración de cianuro de sodio igual a 4 g/L y un pH entre 10,5 y 11,5 conforme a las recuperaciones fueron resultadas entre el 96% de oro y 82% de plata que se logró obtener en lecho agitado.

### **RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

- Las estrategias desarrolladas en los estudios destacados sobre biolixiviación de metales, combina con la metodología aplicada para el seguimiento de la actividad del proceso biológico por medio de microrrespirometrías, lo cual ha proporcionado datos importantes para identificar los límites de la aplicación de la tecnología, a pesar que, de igual manera, demuestran lo prometedor que es la tecnología, como alternativa a los procesos convencionales a escala industrial.
- Por otra parte, en la etapa de experimentación se logra identificar que, en algunos estudios se realizaron ensayos en el uso de metodología de lodos anaerobios se logran identificar considerables concentraciones de cadmio y Níquel que inhiben en al menos 50% la producción de metano de dichos lodos.
- En algunos estudios se ha demostrado que los valores obtenidos de oro, plata y niobio han sido considerablemente buenos en cuanto a los procesadores de medidas entre 124 g/t y 836 g/t. De los anteriores se logró una recuperación del 48,76% aproximadamente debido a que las concentraciones de cobre, por ejemplo, en los procesadores tienen contenidos importantes metales valiosos.
- El procedimiento de cianuración directa sin lixiviación permite, de igual manera, buenos resultados de recuperación de oro, plata, cobre y niobio en menor tiempo de proceso.

- La biolixiviación es el método más utilizado en función de la recuperación de elementos y metales de valioso significado como el oro, plata, cobre, entre otros. Así, se constituye como la metodología no sólo más popular, sino también una de las más efectivas posiblemente recomendables.

### **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda que cuando se vaya a realizar la producción de metano del lodo anaerobio a escala laboratorio se tenga en cuenta las cantidades de níquel y cadmio ya que podrían afectar negativamente la producción.
- Es necesaria la aplicación de un tratamiento previo para la reducción de sólidos en suspensión y trabajar en dos etapas; por una parte, sulfatoreducción y posteriormente proceder con la bioprecipitación.
- Los procesos más eficientes para la recuperación de metales valiosos son la bioprecipitación y biosorción, dado que los mecanismos moleculares que determinan la toxicidad de metales pesados se encuentran en desplazamiento de iones metálicos esenciales de biomoléculas y bloqueos de grupos funcionales.
- Es importante tomar en consideración que a la actualidad se generan al menos 50 millones de toneladas al año de aparatos electrónicos y eléctricos, los cuales podrían ser significativamente aprovechables por contener, variadamente, entre 60 elementos de diferentes concentraciones, que son importantes, por lo que se requiere contar con mecanismos que contribuyan a realizar los estudios aquí referenciados en mayor escala, dado que genera un valor agregado a la actividad como tal.

## REFERENCIAS

1. América Noticias. (2018). ¿Cada cuánto tiempo debes cambiar de celular, realmente?. Tecnología. Recuperado de: <https://www.americatv.com.pe/noticias/tecnologia/cada-cuanto-tiempo-debes-cambiar-tu-celular-realmente-n285467>
2. Arshadi, M., & Mousavi, S. (2014). Simultaneous recovery of Ni and Cu from computer-printed circuit boards using bioleaching: Statistical evaluation and optimization. *Bioresource Technology*, *174*, 233–242. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.140>
3. Astrup, T. F., Tonini, D., Turconi, R., & Boldrin, A. (2015). Life cycle assessment of thermal Waste-to-Energy technologies: Review and recommendations. *Waste Management*, *37*, 104–115. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.06.011>
4. Awasthi, A. K., Zeng, X., & Li, J. (2016). Environmental pollution of electronic waste recycling in India: A critical review. *Environmental Pollution*, *211*, 259–270. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.11.027>
5. Benzal, E., Cano, A., Solé, M., Lao-Luque, C., Gamisans, X., & Dorado, A. D. (2020). Copper Recovery from PCBs by *Acidithiobacillus ferrooxidans*: Toxicity of Bioleached Metals on Biological Activity. *Waste and Biomass Valorization*, *11*(10), 5483–5492. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01036-y>
6. Benzal, E., Solé, M., Lao, C., Gamisans, X., & Dorado, A. D. (2020). Elemental Copper Recovery from e-Wastes Mediated with a Two-Step Bioleaching Process. *Waste and Biomass Valorization*, *11*(10), 5457–5465. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01040-2>
7. Cañizares, R. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 131–143.
8. Castillo, M. (2016). Bioprecipitación de metales pesados en un reactor de lecho de lodos anaerobios de flujo ascendente UASB. *Repositorio Institucional UNISON*.

- Published. <https://1library.co/document/yng8k51z-bioprecipitacion-metales-pesados-reactor-lecho-lodos-anaerobios-ascendente.html>
9. Codelco. (2011, 18 febrero). *Biolixiviación*. [https://www.codelco.com/biolixiviacion/prontus\\_codelco/2011-02-18/091203.html](https://www.codelco.com/biolixiviacion/prontus_codelco/2011-02-18/091203.html)
  10. ColombiaNet. Soluciones Tecnológicas integrales con Sostenibilidad Ambiental. Recuperado de: <http://colombianet.com.co/quienes-somos/>
  11. Dastjerdi, B., Strezov, V., Rajaeifar, M. A., Kumar, R., & Behnia, M. (2021). A systematic review on life cycle assessment of different waste to energy valorization technologies. *Journal of Cleaner Production*, 290, 125747. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125747>
  12. Debnath, B., Chowdhury, R., & Ghosh, S. K. (2018). Sustainability of metal recovery from E-waste. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 12(6). doi:10.1007/s11783-018-1044-9
  13. Diaz, L. A., Lister, T. E., Parkman, J. A., & Clark, G. G. (2016). Comprehensive process for the recovery of value and critical materials from electronic waste. *Journal of Cleaner Production*, 125, 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.061>
  14. Díaz, M. E. (2019). PLANTAS Y MICROORGANISMOS ÚTILES EN LA RECUPERACIÓN DE METALES PROVENIENTES DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS. *Universidad Veracruzana*. Published.
  15. Díaz, S. (2019). Desarrollo de metodología no convencional para la recuperación de metales presentes en los residuos electrónicos. *Escuela Politécnica Superior de Linares - Universidad de Jaén*. Published.
  16. Dorado Castaño, A. (2019). Las bacterias 'comemóviles'. Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de: <https://www.upc.edu/es/sala-de-prensa/noticias/las->

bacterias-comemoviles-centran-el-nuevo-video-de-la-serie-loopers-con-el-investigador-toni-dorado

17. García, M. (2020). Minería urbana como herramienta para una economía circular en la gestión de residuos: aspectos metodológicos. *Repositorio Universidad de Cantabria*. Published. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/18342>
18. Gurreri, L., Tamburini, A., Cipollina, A., & Micale, G. (2020). Electrodialysis Applications in Wastewater Treatment for Environmental Protection and Resources Recovery: A Systematic Review on Progress and Perspectives. *Membranes*, 10(7), 146. <https://doi.org/10.3390/membranes10070146>
19. Hageman, S. (2020). Bioreducción anaerobia para la recuperación de elementos a partir de residuos electrónicos. Universidad de Ciencias aplicadas de Saxion. Recuperado de: <https://etei2020.exordo.com/programme/presentation/14>
20. Hernández, Y. Z. (2018). Innovación del Proceso de Recuperación de Oro Contenido en Residuos Electrónicos. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*. Published.
21. Hong, Y., Thirion, D., Subramanian, S., Yoo, M., Choi, H., Kim, H. Y., ... Yavuz, C. T. (2020). Precious metal recovery from electronic waste by a porous porphyrin polymer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 202000606. doi:10.1073/pnas.2000606117
22. Işıldar, A., van de Vossenberg, J., Rene, E. R., van Hullebusch, E. D., & Lens, P. N. L. (2017). Biorecovery of Metals from Electronic Waste. *Sustainable Heavy Metal Remediation*, 241–278. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61146-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61146-4_8)
23. Jadhav, D. A., Ghosh Ray, S., & Ghangrekar, M. M. (2017). Third generation in bio-electrochemical system research – A systematic review on mechanisms for recovery of valuable by-products from wastewater. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1022–1031. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.096>

24. Jadhav, U., & Hocheng, H. (2012). Una revisión de la recuperación de metales a partir de residuos industriales. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 54(2). <https://www.semanticscholar.org/paper/A-review-of-recovery-of-metals-from-industrial-Jadhav-Hocheng/8464a75f464214efa95a4f62fbcc0a7df3a3be1a#references>
25. Jagannath, A., Shetty K., V., & Saidutta, M. (2017). Bioleaching of copper from electronic waste using *Acinetobacter* sp. Cr B2 in a pulsed plate column operated in batch and sequential batch mode. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(2), 1599–1607. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.02.023>
26. Jurado, M.A., y Mercado, I.D., (2017). Revisión sistemática de técnicas no convencionales para la evaluación de la calidad del agua de ríos contaminados con plaguicidas. Universidad Mariana. *Entre Ciencia e Ingeniería*, ISSN 1909-8367. No. 21, página 56-65.
27. Kerdlap, P., Low, J. S. C., & Ramakrishna, S. (2019). Zero waste manufacturing: A framework and review of technology, research, and implementation barriers for enabling a circular economy transition in Singapore. *Resources, Conservation and Recycling*, 151, 104438. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104438>
28. Kumar, A., & Samadder, S. (2020). Performance evaluation of anaerobic digestion technology for energy recovery from organic fraction of municipal solid waste: A review. *Energy*, 197, 117253. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117253>
29. Kumari, R., Karthaka, P. P., & Rajan, A. P. (2019). Electronic Waste-A Journey from Global Menace to Wealth Generation by its Effective Management Strategy. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 12(2), 848. <https://doi.org/10.5958/0974-360x.2019.00146.x>

30. Lázaro, M. A. M. (2020). *Recuperación de metales a partir de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Medellín (Colombia) - Archivo Digital UPM*. Archivo Digital UPM. <http://oa.upm.es/63541/>
31. Lister, T. E., Diaz, L. A., Clark, G. G., & Keller, P. (2016, 1 septiembre). *PROCESS DEVELOPMENT FOR THE RECOVERY OF CRITICAL MATERIALS FROM ELECTRONIC WASTE*. Osti.Gov. <https://www.osti.gov/biblio/1358185>
32. Liu, R., Li, J., & Ge, Z. (2016). Review on Chromobacterium Violaceum for Gold Bioleaching from E-waste. *Procedia Environmental Sciences*, 31, 947–953. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.02.119>
33. Lorick, D., Macura, B., Ahlström, M., Grimvall, A., & Harder, R. (2020). Effectiveness of struvite precipitation and ammonia stripping for recovery of phosphorus and nitrogen from anaerobic digestate: a systematic review. *Environmental Evidence*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s13750-020-00211-x>
34. Mejía, E., Ospina, J. D., Osorno, B. L., Márquez, M. A., & Morales, A. L. (2011). Adaptación de una cepa compatible con *Acidithiobacillus ferrooxidans* sobre concentrados de calcopirita (CuFeS<sub>2</sub>), esfalerita (ZnS) y galena (PbS). *SciELO*, 13(1). [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-34752011000100018](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-34752011000100018)
35. Montero, R. (2012). Diseño del proceso de recuperación de metales de procesadores y tarjetas de circuitos impresos de computadoras descartadas mediante lixiviación en columna. *Repositorio EPN*. Published. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5421>
36. Mulchandani, A., & Westerhoff, P. (2016). Recovery opportunities for metals and energy from sewage sludges. *Bioresource Technology*, 215, 215–226. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.075>

37. Nadal, M. (2019). Reciclaje. Bacterias ‘comemóviles’ que ayudan a separar los metales de los residuos electrónicos. *El País, Retina*. Recuperado de: [https://retina.elpais.com/retina/2019/12/16/innovacion/1576513633\\_194254.html](https://retina.elpais.com/retina/2019/12/16/innovacion/1576513633_194254.html)
38. Nancharaiyah, Y. V., Venkata Mohan, S., & Lens, N. L. (2016). Recuperación biológica y bioelectroquímica de metales críticos y escasos. *Trends In Biotechnology*, 137–155. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.11.003>
39. Niño, J. M., Bermudez, S., & Duque, M. E. (2014). MODELO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RAEE (RESIDUOS EN APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS) EN LA ARB (ASOCIACIÓN DE RECICLADORES DE BOGOTÁ). *ASOCIACIÓN DE RECICLADORES DE BOGOTÁ*. Published.
40. Pacosillo, C. P. (2012). RECUPERACIÓN DE ORO A PARTIR DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS. *Universidad Mayor de San Andrés*. Published.
41. Payueta, E. 2017. Residuos electrónicos, la plaga del siglo XXI – Mitigación. Futuro sostenible, El mundo. Recuperado de: <https://futurosostenible.elmundo.es/mitigacion/residuos-electronicos-la-plaga-del-siglo-xxi>
42. Perez, J., & Gamiño, Z. (2016). RECUPERACIÓN DE COBRE DE CIRCUITOS IMPRESOS Y OTROS RESIDUOS ELECTRÓNICOS. *Jovenes en la Ciencia Revista de Divulgación Científica*, 2(1), 1235–1239. <http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1224>
43. Pradhan, J. K., & Kumar, S. (2012). Metals bioleaching from electronic waste by *Chromobacterium violaceum* and *Pseudomonads* sp. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 30(11), 1151–1159. <https://doi.org/10.1177/0734242x12437565>

44. Puyol, D., Batstone, D. J., Hülsen, T., Astals, S., Peces, M., & Krömer, J. O. (2017). Resource Recovery from Wastewater by Biological Technologies: Opportunities, Challenges, and Prospects. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02106>
45. Residuos Profesional. (2016). Bacterias para recuperar los metales de los móviles en desuso. Recuperado de: <https://www.residuosprofesional.com/bacterias-para-recuperar-los-metales-de-los-moviles-en-desuso/#:~:text=La%20biolixiviaci%C3%B3n%20es%20una%20t%C3%A9cnica,electr%C3%B3nicos%20de%20los%20tel%C3%A9fonos%20m%C3%B3viles>
46. Saitoh, N., Nomura, T., & Konishi, Y. (2017). Microbial Recycling of Precious and Rare Metals Sourced from Post-Consumer Products. *Solid State Phenomena*, 262, 563–567. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.262.563>
47. Soriano Parra, Lady; Ruiz Rivera, María Elena; Ruiz Lizama, Edgar. (2015). Criterios de evaluación de impacto ambiental en el sector minero Industrial Data, vol. 18, núm. pp. 99-112. Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima, Perú. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/816/81643819013.pdf>
48. Tay, S. B., Natarajan, G., Rahim, M. N. B. A., Tan, H. T., Chung, M. C. M., Ting, Y. P., & Yew, W. S. (2013). Enhancing gold recovery from electronic waste via lixiviant metabolic engineering in *Chromobacterium violaceum*. *Scientific Reports*, 3(1). <https://doi.org/10.1038/srep02236>
49. *Tecnología anaerobia*. (2020). Hydro Thane. <https://www.hydrothane-stp.com/es/anaerobic-technology>
50. Tiempo Minero. (2019). Minería: ¿Qué es la Biolixiviación y cómo mejora los procesos? Metalurgia. Cámara minera del Perú. Recuperado de:

<https://camiper.com/tiempominero/biolixiviacion-metodo-obtener-mayor-cantidad-metal/>

51. Vaneekhaute, C., Lebuf, V., Michels, E., Belia, E., Vanrolleghem, P. A., Tack, F. M. G., & Meers, E. (2016). Nutrient Recovery from Digestate: Systematic Technology Review and Product Classification. *Waste and Biomass Valorization*, 8(1), 21–40. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9642-x>
52. Vargas Muñoz, M. (2017). RECUPERACIÓN DE COBRE A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE TARJETAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS. *Universidad EAFIT - Escuela de Ingeniería*. Published.
53. Villalobos, J. F. (2017). EVALUACIÓN DE UN PROCESO DE RECUPERACIÓN DE UNO DE LOS METALES PRESENTES EN LAS TARJETAS DE CIRCUITOS IMPRESOS. *FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA*. Published. <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6597>
54. Wainaina, S., Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Chen, H., Singh, E., Kumar, A., Ravindran, B., Awasthi, S. K., Liu, T., Duan, Y., Kumar, S., Zhang, Z., & Taherzadeh, M. J. (2020). Resource recovery and circular economy from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies. *Bioresource Technology*, 301, 122778. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122778>
55. Willis Poratti, G. (2016). Biorremediación de metales pesados por sulfidogénesis utilizando comunidades y microorganismos sulfato-reductores. Universidad Nacional de la Plata. Recuperado de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/53085>
56. Wills, B., Castro, C., Londoño, J., & Morales, F. (2006). Efecto de los metales pesados cadmio y níquel sobre la producción de metano de un lodo anaerobio a escala de

laboratorio. *Gestión y Ambiente*, 9(1), 103–114.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/76126>

57. Yang, L., Hu, W., Chang, Z., Liu, T., Fang, D., Shao, P., Shi, H., & Luo, X. (2021). Electrochemical recovery and high value-added reutilization of heavy metal ions from wastewater: Recent advances and future trends. *Environment International*, 152, 106512. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106512>
58. Zhou, X. (2016). Resources Overview of solid waste. *Proceedings of the 2016 6th International Conference on Machinery, Materials, Environment, Biotechnology and Computer*. Published. <https://doi.org/10.2991/mmebc-16.2016.171>

## ANEXOS

### *Anexo 1. Fichas bibliográficas*

<b>1</b>	<b>Título:</b> RECUPERACIÓN DE COBRE DE CIRCUITOS IMPRESOS Y OTROS RESIDUOS ELECTRÓNICOS	<b>Tipo de documento:</b> Artículo
<b>Autor(es):</b> José Francisco Pérez González y Zeferino Gamiño Arroyo		<b>Referencia bibliográfica:</b> Pérez, J. F., y Gamiño, Z. (2016). Recuperación de Cobre de circuitos impresos y otros residuos electrónicos. Jóvenes en la ciencia - Revista de divulgación científica. Vol 2, no 1.
<b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recuperación de cobre de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.</li> <li>2. Utilización de métodos de lixiviación y extracción líquido-líquido.</li> <li>3. Concentraciones del extractante comercial.</li> <li>4. Residuos de placas de circuitos impresos.</li> <li>5. Los RAEE contienen metales pesados como berilio, cromo, cadmio, arsénico, selenio, antimonio, mercurio y plomo, además de oro, plata y cobre.</li> <li>6. Los RAEE contienen metales preciosos y cobre, representando el 95% de su valor total.</li> </ol>		
<b>Contexto:</b> El texto se desarrolla en las instalaciones del laboratorio de ingeniería química, DCNE de la Universidad de Guanajuato.		

**Palabras claves:** Lixiviación, RAEE, concentración, pH, fase orgánica

**Análisis interpretativo por el revisor:** La recuperación de Cobre de circuitos impresos y otros residuos electrónicos se realiza por medio de métodos de lixiviación, la cual, consiste en la utilización de disolventes líquidos para la extracción de materia soluble. Esta metodología se realizó en residuos de placa de circuitos electrónicos y separando los componentes plásticos.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- EV Eygen, SD Meester, HP Tran, J. Dewulf ahorro de recursos por la Minería urbana: El caso de los Ordenadores de sobremesa Portátiles y en Bélgica Resour. Conserv. Recycl., 107 (2016), 53-64
- Hagelüken and Corti, 2010, C. Hagelüken, C.W. Corti Recycling of gold from electronics: cost-effective use through 'design for recycling' Gold Bull., 43 (3) (2010), 209–220
- NN Joda, F. Rashchi La Recuperación de grano fino de cobre de ultra plata y de los Desechos de placa de circuito Impreso Tratamient septiembre. Technol., 92 (2012), 36-42
- J. Li, Z. Xu, Y. Zhou. La Aplicación de Descarga de corona y la fuerza electrostática de Metales y no metales por Separado A partir de Partículas trituradas de placas de circuito Impreso de ResiduosJ. Electrostat., 65 (2007), 233-238
- G. Liang, Y. Lu, Q. Zhou. Nuevas Estrategias de metales de biolixiviación de placas de circuito Impreso (PCB) en el cultivo mixto de dos acidophiles Enzyme Microb. Technol., 47 (2010), 322-326.

2	<p><b>Título:</b> Efecto de los metales pesados cadmio y níquel sobre la producción de metano de un lodo anaerobio a escala de laboratorio.</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
<p><b>Autor(es):</b> Beatriz Amparo Wills, Camilo Castro, James Londoño, Felipe Morales</p>		<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Wills, B.A., Castro, C., Londoño, J., &amp; Morales, F., (2005). Efecto de los metales pesados cadmio y níquel sobre la producción de metano de un lodo anaerobio a escala de laboratorio. Volumen 9 – No 1 – 2006.</p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. los tratamientos biológicos anaerobios se consideran mejores que los aerobios</li> <li>2. Nivel de toxicidad del níquel y cadmio</li> <li>3. La presencia de estos metales pesados debe ser en cantidades micro</li> <li>4. Biodegradabilidad del sustrato y ensayo de toxicidad</li> </ol>		
<p><b>Contexto:</b> Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental -GIGA- de la facultad de ingeniería de la Universidad de Antioquia, en su laboratorio de biotecnología anaerobio.</p>		
<p><b>Palabras claves:</b> Toxicidad, metales pesados, inhibición, metanización, digestión anaerobia, tratamiento biológico del agua.</p>		
<p><b>Análisis interpretativo por el revisor:</b> El cadmio y níquel en altas concentraciones son tóxicas, sin embargo, al realizar un estudio más profundo se interpreta que el cadmio es más tóxico que el níquel, los tratamientos biológicos anaerobios disminuyen las concentraciones de níquel.</p>		

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Díaz, A., 1999. Diseño Estadístico de Experimentos. Primera Edición. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Forero, L. E., Sierra, J. H., 2004. Efecto de dos metales pesados, cadmio y níquel, sobre la eficiencia de remoción de carga orgánica del reactor UASB a escala de laboratorio; Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín Colombia, No 31.
- Wills, B. A., Naranjo, F., 2004. Evaluación del efecto tóxico del acetato de plomo y del cloruro de cromo sobre el metabolismo bacterial anaerobio; Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín Colombia, N 32, pp 17-25.

<b>3</b>	<p><b>Título:</b> Bioprecipiación de metales pesados en un reactor de lecho de lodos anaerobios de flujo ascendente</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Tesis</p>
<p><b>Autor(es):</b> Marcela Alejandra Castillo Félix</p>		<p><b>Referencia bibliográfica:</b></p> <p>Castillo, M. A., 2016. BIOPRECIPITACION DE METALES PESADOS EN UN REACTOR DE LECHO DE LODOS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE (UASB). División de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Metalúrgica. Universidad de Sonora. México. Repositorio Institucional UNISON.</p>

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:**

1. Los metales pesados no pueden ser degradados, son inmovilizados para separarlos de la fuente.
2. Los metales pesados pueden persistir durante décadas en el ambiente.
3. Es necesario la aplicación de un pretratamiento para la reducción de sólidos en suspensión.
4. El tratamiento primario involucra la separación del material insoluble.
5. Una desventaja del reactor UASB es que los precipitados metálicos dentro del reactor son difíciles de remover.
6. Es necesario trabajar en dos etapas el proceso, una donde se lleve a cabo la sulfato-reducción y otra la precipitación.

**Contexto:** Tesis realizada en la División de Ingeniería Departamento de Ingeniería Química y Metalúrgica de la Universidad de Sonora.

**Palabras claves:** Remoción de metales pesados, bio-precipitación, reactor UASB, separación, inmovilización, pH.

**Análisis interpretativo por el revisor:** Para el desarrollo de la tesis se utilizó un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales de distintas procedencias que presentan metales pesados en condiciones de sulfato-reducción, en total tuvo un tiempo de duración de 76 días y se constituye de tres etapas: Arranque, Adaptación y Bioprecipitación.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Ahalya T, Ramachandra Kanamad R. (2003). Biosorption of Heavy Metals. Res J Chem Environ.; 7:4.
- Altaş L. (2008). Inhibitory effect of heavy metals on methane-producing anaerobic granular sludge. Journal of Hazardous Materials. Article in press. 6p.doi:10.1016/j.jhazmat.2008.06.048.
- Cañizares-Villanueva RO. Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. Rev Latinoam Microbiol 2000; 42:131–43.
- Ramírez, M. W. 1999. Diseño de un modelo de saneamiento de suelos contaminados con metales pesados derivados de la explotación minera. Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco. México.
- Reyes E. D., Cerino C. F. y Suárez H. M. A. (2006). Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa. Ingenierías. IX, 31:59-64.

<b>4</b>	<p><b>Título:</b> Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
<p><b>Autor(es):</b> Rosa Olivia Cañizares - Villanueva</p>		<p><b>Referencia bibliográfica:</b>                  Cañizares, R.O., Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería. Centro de Investigación y de</p>

	Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Ave. IPN No. 2508, San Pedro Zacatenco, C. P. 07300. México, D. F
--	--

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:**

1. Variedad de levaduras, hongos, algas, bacterias y cierta flora acuática tienen la capacidad de concentrar los metales a partir de soluciones acuosas diluida y de acumularlas dentro de la estructura microbiana.
2. Los procesos más eficientes para la recuperación de metales son: biosorción y bioprecipitación.
3. Los mecanismos moleculares que determinan la toxicidad de los metales pesados se encuentran:
  - El desplazamiento de iones metálicos esenciales de biomoléculas y bloqueo de sus grupos funcionales.
  - modificación de la conformación activa de biomoléculas, especialmente enzimas y polinucleótidos.
  - ruptura de la integridad de biomoléculas.
  - modificación de otros agentes biológicamente activos.
3. Los metales pesados son los contaminantes inorgánicos más importantes en el ambiente.
4. Los metales pesados pueden ser detectados en su estado elemental o sufrir transformaciones a diferentes formas móviles y pueden ser inmovilizados.
5. Los tratamientos de aguas residuales con metales pesados son: Precipitación, oxidación, reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnología de membrana y recuperación por evaporación.

6. Los microorganismos y sus productos pueden ser bioacumuladores muy eficientes de metales solubles y particulados.

Los metales pesados presentan efectos tóxicos sobre las células, alterando o desnaturalizando las proteínas.

**Contexto:** El artículo se desarrolla en el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. San Pedro Zacateco – México D. F.

**Palabras claves:** Biomasa, metales pesados, biosorción, bioprecipitación, eliminación microbiana

**Análisis interpretativo por el revisor:** Los metales pesados pueden ser altamente tóxicos para las células vivas, por lo tanto se plantean distintos procesos: Biosorción de metales pesados por células inertes, sus ventajas son que los procesos no tienen limitaciones biológicas, toxicas o inactivación térmica, los metales pueden ser liberados fácilmente y recuperado, mientras que la incorporación de células vivas puede mejorar las cepas por medio del aislamiento de mutantes o la manipulación genética y pueden emplear dos o más organismos de una manera si nérgica

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Aksu, Z. 1998. Biosorption of heavy metals by micro-algae in batch and continuous systems. En: Algae for waste water treatment. N. Tam y V. S. Wong, (eds.). Springer Verlag and Landes Bioscience, Germany. pp. 37-53.
- Atkinson, B. W., F. Bux y H. C. Kassan. 1998. Considerations for application of biosorption technology to remediate metal-contaminated industrial effluents. *Water Science and Technology* 40:129-135.
- Belliveau, B. H., M. E. Starodub, C. Cotter y J.T. Trevors. 1987. Metal resistance and accumulation in bacteria. *Biotechnol. Adv.* 5:101-127.
- Brierley, J. A. y C. L. Brierley. 1983. En: P. Westbroek y E. W. De Jong, (eds.). "Biomining and Bio-logical metal accumulation". Reidel Publ. Dordrech, pp. 499-509.
- Gadd, G. M., y A. J. Griffiths. 1978. Microorganisms and heavy metal toxicity. *Microbial Ecol.* 4:303–317.

<b>5</b>	<b>Título:</b> Diseño del proceso de recuperación de metales de procesadores y tarjetas de circuitos impresos de computadoras descartadas mediante lixiviación en columna.	<b>Tipo de documento:</b> Tesis
----------	--	---------------------------------

<p><b>Autor(es):</b> Ricardo Andrés Montero Bermúdez</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Montero, R. (2012). Diseño del proceso de recuperación de metales de procesadores y tarjetas de circuitos impresos de computadoras descartadas mediante lixiviación en columna. <i>Repositorio EPN</i>. Published. <a href="https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/54">https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/54</a></p> <p><u>21</u></p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> Se toma como referencia que más de 300 toneladas de oro se utilizan en equipos electrónicos de manera anual en conjunto con otros metales de significativo valor. De allí que posterior a la fase de uso, estos dispositivos se convierten en residuos electrónicos los cuales son de significativa importancia en cuanto a sus componentes como fuente secundaria para la recuperación de estos metales de gran valor. Se utilizaron procesadores y circuitos impresos de computadores obsoletos y se analizaron parámetros como el tamaño de las partículas, flujo de lixiviantes y agentes lixiviantes. Se muestra por tanto, la posibilidad de crear una planta de reciclaje de PCBs a pequeña escala conforme a los valores obtenidos.</p>	
<p><b>Contexto:</b> Se trata de una investigación realizada con función de cumplimiento de requisito de grado para optar por el grado de ingeniería química como que contó con el apoyo del proyecto DEMEX ejecutado en el Departamento de Metalurgia Extractiva.</p>	
<p><b>Palabras claves:</b> OPERACIONES UNITARIAS, METALURGIA EXTRACTIVA, INGENIERÍA FINANCIERA, BALANCE DE MASA.</p>	
<p><b>Análisis interpretativo por el revisor:</b> Efectivamente resulta de interés para el desarrollo del presente trabajo, toda vez que se obtuvieron valores significativos en donde se estableció la gran importancia en cuanto a la recuperación de metales preciosos en el proceso de cianuración</p>	

directa sin lixiviación previa debido a la mejora en las recuperaciones de oro, plata, cobre; entre otros. Asimismo se concuerda con la importancia de realizar ensayos de cianuración en lecho agitado del material obtenido del proceso de reducción de tamaño no utilizada dentro del proceso de cianuración en columna teniendo en cuenta su poca permeabilidad.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Boliden. (2010). *Expansion of e-scrap capacity at Ronnskar*. Recuperado de <https://www.boliden.com/globalassets/investor-relations/reports-and-presentations/capital-markets-day/2010/cmd/5-electronic-scrap-roger-sundqvist-general-manager-boliden-ronnskar.pdf> (Agosto de 2010)
- Hester, R. y Harrison, R. (2009). *Electronic Waste Management*. (1 edición) Cambridge, Reino Unido, Editorial Royal Society of Chemistry (RSC).
- Khandpur, R. (2006). *Printed Circuit Boards: Design, Fabrication and Testing*. New York, Estados Unidos, Editorial McGraw-Hill.
- Marsden, J. y House, I. (2006). *The Chemistry of Gold Extraction*. (2 edición). Littleton, Estados Unidos, Editorial SME.

<b>6</b>	<b>Título:</b> Innovación del Proceso de Recuperación de Oro Contenido en Residuos Electrónicos	<b>Tipo de documento:</b> Tesis
	<b>Autor(es):</b> Yajhayra Zuriely Hernández Vega	<b>Referencia bibliográfica:</b> Hernández, Y. Z. (2018). Innovación del Proceso de Recuperación de Oro Contenido en Residuos Electrónicos. <i>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo</i> . Published.

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:** La autora encuentra su fundamentación en la generación desmedida del consumo de aparatos electrónicos teniendo en consideración la corta vida útil de los mismos lo que contribuye a aumentar significativamente los residuos de este tipo. Entendiendo esto como problemática ambiental se denota la cantidad de metales nobles y no nobles como las contenidas en circuitos impresos entendiéndose metales como el oro, la plata y el cobre, entre otros lo cual comercialmente podría ser más atractivo. Se presenta un lixiviado dinámico en medio de ácido con ácido sulfúrico y ozono para los componentes mencionados los cuales se determinarán por medio de condiciones cinéticas como la velocidad de la agitación y demás situaciones técnicamente químicas.

**Contexto:** La investigación aquí referenciada se encuentra en el contexto del área académica de ciencias de la tierra y materiales de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, específicamente del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Se presenta como tesis de pregrado para obtener el título de ingeniero en ciencia de los materiales.

**Palabras claves:** lixiviación, metales preciosos, ozonación, chatarra electrónica, computadoras, cinética, espectrometría de plasma, metalurgia extractiva.

**Análisis interpretativo por el revisor:** Para esta investigación resulta material importante entendiéndose la necesidad de desarrollar el incremento del reciclaje especialmente en este aspecto de metales que le son interesantes para diferentes fines como lo son la recuperación del oro y plata como metales industriales que son susceptibles de reciclaje lo cual contribuye a optimizar la disposición final de los residuos electrónicos. En este sentido se da cuenta evidentemente de las metodologías, especialmente químicas para la extracción de este tipo de metales por medio de diferentes mecanismos para tales fines.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- J.P. Facuy Delgado y G. Salazar Bustos, *Viabilidad Financiera de una Empresa Recuperadora de Materiales (Oro, Plata y Cobre) en la Chatarra Electrónica*, de Tesis

para Obtener el Grado de Magister en Finanzas y Proyectos Corporativos. Guayaquil Ecuador, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Guayaquil, 2014, p. 10.

- Jianzhi, L. (2016). Printed Circuit Board Recycling: A State of the Art Survey. *IEEE transactions on electronics packaging manufacturing*, Vol. 27, No 1, 33-42.
- Bionzon. (s.f.). *Acerca del Ozono*. Obtenido de Bionzon: <http://generadordeozono.com.mz/ozono.html>
- Rivera, I. (2004). Precipitación de plata de efluentes electrónicos. *Revista de Metalurgia*, pp. 369-373.

7	<p><b>Título:</b> Desarrollo de metodología no convencional para la recuperación de metales presentes en los residuos electrónicos</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Tesis de Master</p>
	<p><b>Autor(es):</b> Sergio Diaz Perez</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Díaz, S. (2019). Desarrollo de metodología no convencional para la recuperación de metales presentes en los residuos electrónicos. <i>Escuela Politécnica Superior de Linares - Universidad de Jaén</i>. Published.</p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> El autor presenta el desarrollo de una metodología, que presuntamente, no es convencional que se encuentra en plena capacidad de que se extraigan metales preciosos que conforman la estructura de la mayor parte de los residuos electrónicos como lo son los circuitos impresos y demás. A partir de allí se realiza el ensayo propuesto, el cual se compone de diversas etapas como selección, separación</p>		

de muestras, caracterización y lixiviación de elementos. Se obtienen resultados que se arrojaron por medio del uso de la técnica de fluorescencia de rayos X en donde se sometió a un proceso de separación de materiales férricos caracterizando los materiales separados por medio de la técnica de microfluorescencia de rayos X. Finalmente, el autor presenta que los residuos se someten a lixiviación ácida utilizando ácido sulfúrico en concentraciones iguales.

**Contexto:** El trabajo referenciado surge como requisito de grado del máster en ingeniería de minas de la Universidad de Jaén por medio de la Escuela Politécnica Superior de Linares del departamento de Ingeniería Química, Ambiental y de los Materiales en 2019.

**Palabras claves:** Recuperación de metales, tarjetas electrónicas, circuitos impresos, lixiviar, hidrometalúrgico, residuos electrónicos, agente lixivante, electromagnético.

**Análisis interpretativo por el revisor:** Es importante evidenciar que la presente investigación constituye un avance relevante en tanto que cubre tres objetivos fundamentales que son ejes necesarios para el desarrollo de la vida humana en sociedad mientras se garantiza el desarrollo de la misma. Por una parte, se encuentran los beneficios que tienden a lo relacionado con el medio ambiente como lo es la reducción del impacto ambiental generado por la disposición final de múltiples metales que son susceptibles de recuperación; por otra parte los beneficios económicos de la economía circular que se pretenden con el desarrollo de este trabajo y los objetivos estratégicos que van de la mano con los dos anteriores en tanto a que se evidencian datos del mercado de este tipo de metales y el equilibrio medioambiental que se espera del mismo.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- V. Gutiérrez-Ginés, M.a J. y Ranz, “UTILIZACIÓN DE UN EQUIPO PORTÁTIL DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X PARA EL ESTUDIO DE METALES PESADOS EN SUELOS: PUESTA A PUNTO Y APLICACIÓN A VERTEDEROS,” no. figura 1

- Salvador Azpeleta Izquierdo, “Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X.” [Online]. Available: <http://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisisquimicos/espectrometra-de-fluorescencia-de-rayos-x>.
- A. Sanz-medel, “El plasma ICP para la ionización elemental en Espectrometría de Masas : su aplicación en Proteómica Cuantitativa ”,” pp. 47–51, 2008.
- ABC Ciencia, “¿Qué son las tierras raras y por qué son claves en la guerra de China y EE.UU.?” 2019. [Online]. Available: [https://www.abc.es/ciencia/abci-huaweitierras-raras-y-claves-guerra-china-y-eeuu-201905250123\\_noticia.html](https://www.abc.es/ciencia/abci-huaweitierras-raras-y-claves-guerra-china-y-eeuu-201905250123_noticia.html).
- E. L. P. Europeo, E. L. Consejo, and D. E. L. A. Uni, “DIRECTIVA 2002/96/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 27 de enero de 2003 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE),” vol. 5, pp. 24–39, 2003.
- J. C. R, “los fines de este real decreto. En el mismo plazo deberán elaborar los correspondientes planes de emergencia. Disposición adicional sexta.,” pp. 7112– 7121, 2005.

8	<p><b>Título:</b> PLANTAS Y MICROORGANISMOS ÚTILES EN LA RECUPERACIÓN DE METALES PROVENIENTES DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Tesis Doctoral</p>
<p><b>Autor(es):</b> Dra. Maria Esther Díaz Martínez</p>		<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Díaz, M. E. (2019). PLANTAS Y MICROORGANISMOS ÚTILES EN LA RECUPERACIÓN DE METALES</p>

	<p>PROVENIENTES DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS. <i>Universidad Veracruzana</i>. Published.</p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> En este texto la autora establece como metodología la posibilidad de que por medio de plantas y microorganismos puedan contribuir a la recuperación de metales que provengan de residuos electrónicos. En este sentido, se sirve de los avances tecnológicos actuales como que da cuenta del manejo inadecuado de residuos que ha generado consecuencias nocivas para el medio ambiente, en especial cultivos incorporados a la cadena alimenticia que repercuten directamente con la salud humana. Precisamente por ello se prevé la necesidad de evaluar la recuperación de metales provenientes de placa de circuito impreso de los residuos electrónicos por medio de microorganismos y para ello se tomó como método la biolixiviación para hongos y bacterias probando tres metodologías para evaluar la fitoextracción y biolixiviación.</p>	
<p><b>Contexto:</b> El presente trabajo surge bajo el contexto de presentar ante la Universidad Veracruzana la tesis de obtención del doctorado en ciencias agropecuarias.</p>	
<p><b>Palabras claves:</b> Biolixiviación, <i>Sphingomonas</i> sp., consorcios microbianos, <i>Trichoderma atroviride</i> CPX, <i>Triticum</i> sp., Plomo, Oro</p>	
<p><b>Análisis interpretativo por el revisor:</b> Es de tomar en consideración que ciertamente podría ser una metodología lo suficientemente eficiente que vaya en pro de la recuperación de metales que provengan de residuos electrónicos por medio de plantas y microorganismos. Evidentemente, esta investigación se encuentra encaminada a las ciencias que van a revisar lo relacionado con lo agropecuario por lo cual en muchos sentidos podría apartarse del tema objeto central de la investigación que ciertamente se encamina a la conservación ambiental y los efectos económicos positivos que podrían sustraerse de la recolección o recuperación de estos metales. Por otra parte, es de reconocer que el trabajo es innovador en tanto que es</p>	

propositivo a su vez con metodologías que hasta la fecha no se han utilizado y que efectivamente contribuyen a la recuperación de dichos metales.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Viveros-Díaz, R. 2015. Medicago sativa L. y Lolium perenne L. en la fitoextracción de Au, Ag, Cu y Pd a partir de placas de circuito impreso de computadoras. in: Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Veracruzana, pp. 125.
- Wernick, I.K., Themelis, N.J. 1998. Recycling metals for the environment. Annual Review of Energy and the Environment, 23(1), 465-497.
- Laznicka, P. 2006. Giant metallic deposits: Future sources of industrial metals. Springer Science & Business Media
- Ghori, Z., Iftikhar, H., Bhatti, M.F., Nasar-um, M., Sharma, I., Kazi, A.G., Ahmad, P. 2016. Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soil. in: Plant Metal Interaction, Elsevier, pp. 385-409.
- Ali, S.H., Giurco, D., Arndt, N., Nickless, E., Brown, G., Demetriades, A., Durrheim, R., Enriquez, M.A., Kinnaird, J., Littleboy, A., Meinert, L.D., Oberhänsli, R., Salem, J., Schodde, R., Schneider, G., Vidal, O., Yakovleva, N. 2017. Mineral supply for sustainable development requires resource governance. Nature, 543, 367.

9	<p><b>Título:</b> RECUPERACIÓN DE ORO A PARTIR DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Tesis</p>
<p><b>Autor(es):</b> Claudia Paty Pacosillo</p>		<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Pacosillo, C. P. (2012). RECUPERACIÓN DE ORO A PARTIR DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS.</p>

	<p><i>Universidad Mayor de San Andrés.</i></p> <p>Published.</p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> La autora en cuestión encuentra un especial fundamento en los avances tecnológicos y la globalización del mercado lo cual “constituyen al proceso de sustitución o desechos de estos productos lo cual genera anualmente toneladas de residuos electrónicos a nivel nacional e internacional” son detonantes en la afectación medioambiental por lo que se presenta una alternativa que la autora califica como nueva en donde se prevé la posibilidad de recuperar oro en residuos electrónicos. Evidencia los porcentajes que poseen los componentes eléctricos y electrónicos por lo que se evidencia la necesidad de plantear una etapa extractiva con solventes orgánicos y su reducción de oro metálico.</p> <p>Para lograr lo previamente establecido se requirió la selección de un solvente lo suficientemente eficiente seleccionado para poder extraer el oro. El mismo fue metil isobutil cetona por su solución acuosa-ácida.</p>	
<p><b>Contexto:</b> Este trabajo se realiza en el marco de la presentación de una tesis tendiente a verificar la posibilidad de extraer el oro de materiales desechados electrónicos. Aquello hace parte del trabajo de grado en licenciatura de una universidad denominada San Andrés de Bolivia.</p>	
<p><b>Palabras claves:</b> microprocesadores, oro, metil isobutil cetona, zetil hexanol, ácido clorhídrico, fusión por copelación.</p>	
<p><b>Análisis interpretativo por el revisor:</b> Evidentemente, a pesar de lo técnico química que es la metodología presentada por la autora, es de tomar en consideración la importancia que posee este tipo de métodos en la abstracción de metales pesados, en este caso como el oro por medio de la revisión juiciosa de los mejores solventes orgánicos que permitan sustraer el metal</p>	

precioso de los componentes electrónicos que son susceptibles de desecho o que se encuentran para la etapa de disposición final.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- CONSORCIO PROMISAC PLASTERNORT SRL: Consideraciones Teóricas Practicas Operacionales.
- BADGER, WALTER L.; BANCHERO, JULIUS T: Introducción a la ingeniería química. New York; McGraw-Hill; 1966.
- HAYES P.C., GRAY P.M.J., AIGE S.H. BISWAS A.K: Procesos de Selección en Extracción Metalúrgico.
- OTERO DE GANDARA J.L: Operaciones Unitarias y Transferencia de Masa, Madrid – Alambra 1976
- RAYMOND M. WARNER, JAMES N. FORDEMWALT: Circuitos Integrados Principios de Diseño de Fabricación; Ed. Diana – México.
- PALACIOS C., SEVERO: Estadística Aplicada. Cochabamba; Educación y Cultura.

10	<p><b>Título:</b> RECUPERACIÓN DE COBRE A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE TARJETAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Tesis</p>
<p><b>Autor(es):</b> Mariana Vargas Muñoz</p>		<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Vargas Muñoz, M. (2017). RECUPERACIÓN DE COBRE A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE</p>

	<p>TARJETAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS. <i>Universidad EAFIT - Escuela de Ingeniería.</i> Published.</p>
--	---

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:** Se mencionó como metodología la de hidrometalúrgica en razón de recuperar cobre de las tarjetas de circuitos integrados TCI de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos RAEE por medio de una solución lixivante básica realizada con amoníaco, carbonato de amonio y sulfato de cobre. Es de tomar en consideración que del análisis de los factores influyentes de la recuperación del metal en donde se obtuvo que los factores eran realmente influyentes en cuanto al carbonato de amonio, el sulfato de cobre; se realizaron muestras por medio de la absorción atómica. Finalmente se determinan costos y se da cuenta de la efectividad de la metodología propuesta.

**Contexto:** El presente texto aquí referenciado es básicamente la presentación de un trabajo de grado en razón de la obtención del título de ingeniería de una universidad colombiana en donde se demuestra la posibilidad de aplicación de una metodología encaminada especialmente a la recuperación del cobre de residuos eléctricos y electrónicos.

**Palabras claves:** cobre, electrónicos, eléctricos, lixiviados, amoníaco, carbonato de amonio, sulfato de cobre, absorción atómica, voltimetría, electro-deposición.

**Análisis interpretativo por el revisor:** Es de encontrar concordancia con que efectivamente se logra demostrar el desarrollo de un procedimiento que tiende a recuperar el cobre a partir de los residuos eléctricos y electrónicos a nivel de laboratorio en donde se dispuso a establecer condiciones de producción y maximización para recuperar cobre que básicamente constituye parte fundamental en la acumulación de tales residuos por lo que evidentemente se requiere de igual manera evidenciar la pertinencia económica, en conjunto con el cuidado medio ambiental

y demás alternativas que permitan incluir los residuos electrónicos en la economía circular como ha ocurrido con múltiples elementos.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Diamantino Feijó, F. (2007). Redução das perdas de zinco associadas aos processos de purificação do licor por cementação e de tratamento dos resíduos gerados da vitorantim metais. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais .
- Fogarasi, S., Imre-Lucaci, F., Varga, T., & Ilea, P. (2012). Eco-Friendly Leaching of Base Metals from Waste Printed Circuit Boards: Experimental Study and Mathematical Modeling. Stud. Univ. Babeş-Bolyai, 91–100.
- Cárdenas Espinosa, R. D. (2010). E- Basura: Las Responsabilidades Compartidas en la Disposición Final de los Equipos Electrónicos en algunos Municipios del Departamento de Caldas, Vistos desde la Gestión del Mantenimiento y los Procesos de Gestión de Calidad. Atlantic International University .
- Zeljko, K., Korac, M., & Ranitovic , M. (2011). Hydrometallurgical Process for Extraction of Metals from Electronic Waste – Part II: Development of the Processes for the Recovery of Copper from Printed Circuit Boards (PWB). Serbia: Association of Metallurgical Engineers of Serbia
- Hagelüken, C. (2006). Improving Metal Returns and Eco-Efficiency in Electronics Recycling—A Holistic Approach for Interface Optimisation between PreProcessing and Integrated Metals Smelting and Refining. Scottsdale, AZ, USA: In Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics and the Environment.

11	<p><b>Título:</b> Modelo Para La Gestión Integral De Raae (Residuos En</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
----	--	---

	<p>Aparatos Eléctricos Y Electrónicos)</p> <p>En La Arb</p> <p>(Asociación De Recicladores De Bogotá)</p>	
<p><b>Autor(es):</b> Niño, J. M., Bermudez, S., &amp; Duque, M. E.</p>		<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Niño, J. M., Bermudez, S., &amp; Duque, M. E. (2014). Modelo Para La Gestión Integral De Raee (Residuos En Aparatos Eléctricos Y Electrónicos) En La Arb (Asociación De Recicladores De Bogotá). Asociación De Recicladores De Bogotá. Published.</p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> El trabajo realizado por la Asociación de Recicladores de Bogotá se conecta directamente con la recuperación de los componentes que se encuentran inmersos como son los metales preciosos. En ese sentido se concertó una agenda que permitiera el apoyo de estudiantes de ingeniería ambiental de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales en donde se apoye una adecuada gestión de residuos eléctricos y electrónicos cumpliendo con los parámetros nacionales e internacionales en cuanto a su manipulación. En este sentido se prestó especialmente a todo el procedimiento de recolección, transporte, acopio, clasificación, separación, almacenamiento, desensamblaje y disposición de tales residuos.</p>		
<p><b>Contexto:</b> Este documento da cuenta de la aplicación de diferentes actividades realizadas por estudiantes y docentes universitarios a un grupo dedicado a la recuperación de residuos sólidos por lo que se realizó en el marco del reciclaje en la ciudad de Bogotá D.C. - Colombia.</p>		
<p><b>Palabras claves:</b> ARB (Asociación de Recicladores de Bogotá), Gestión Integral, RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos)</p>		

**Análisis interpretativo por el revisor:** Entendiendo la representación que establecen los residuos electrónicos y eléctricos en crecimiento teniendo en cuenta los volúmenes generados comparados con otro tipos de residuos entra en consonancia con los hábitos de consumo tecnológico de las sociedades actuales por lo que se requiere un desarrollo de un modelo que permita establecer una adecuada gestión de dichos residuos, en aras de garantizar un verdadero aprovechamiento de los mismos.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- AguayoOlivia. Lucha la ONU contra e-basura. Reforma (México D.F., México). Marzo 12, 2007.
- Alonso Castellanos Néstor. La chatarra electrónica, la contaminación ambiental y su efecto económico. XVI Forum de Ciencia y Tecnología. La Habana Cuba. 2005.
- CassiaRodriguesAngela. El Crecimiento de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos fuera de uso: El Impacto Ambiental que presentan. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico2005/cassia.pdf>
- Oro en la basura electrónica. Curiosidades científicas. 29 ene 2012. <http://www.rtve.es/alcarta/videos/tres14/tres14-curiosidades-cientificas-oro-basura-electronica/1304489/>.

12	<p><b>Título:</b> EVALUACIÓN DE UN PROCESO DE RECUPERACIÓN DE UNO DE LOS METALES PRESENTES EN LAS TARJETAS DE CIRCUITOS IMPRESOS</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Tesis</p>
----	--	--

<p><b>Autor(es):</b> Juan Felipe Villalobos</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Villalobos, J. F. (2017). EVALUACIÓN DE UN PROCESO DE RECUPERACIÓN DE UNO DE LOS METALES PRESENTES EN LAS TARJETAS DE CIRCUITOS IMPRESOS. <i>FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA</i>. Published.</p> <p><a href="http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6597">http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6597</a></p>
---	--

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:** Se sometieron unas tarjetas de circuitos impresos a un procedimiento de limpieza y desensamble de componentes electrónicos que se encontraban inmersos en estas por lo que se realiza una reducción del tamaño de partícula de las tarjetas en donde se obtiene un material particulado de casi 700 gramos. Así mismo se procedió a realizar ensayos "granulométricos" en donde se determinó el concimiento de la distribución de tamaño del particulado obtenido dando cuenta de composiciones metálicas allí. Se establece esto como un modelo de recuperación de metales presentes en las tarjetas de circuitos impresos en donde se logra identificar una alternativa por medio de la metodología de selección de alternativas por sumas ponderadas el cual consiste en lixiviación ácida usando  $H_2SO_4$  y  $H_2O_2$ .

Este trabajo también consistió en dos modelos experimentales de recuperación de cobre en tarjetas de circuitos impresos. En el primero, se realizó lixiviación en una sola etapa; en el segundo se trató de lixiviación en múltiples etapas.

Finalmente los resultados arrojaron que en el primer modelo experimental se obtuvo un porcentaje promedio de extracción del 21,09 %, mientras que en el segundo modelo se logró un porcentaje global promedio del 88,71%.

**Contexto:** Considerando el aumento tecnológico de los últimos años, lo cual ha generado impactos ambientales y de igual manera la innovación en los países en conjunto con el aumento productivo de aparatos electrónicos y la facilidad de adquirirlos son situaciones que repercuten directamente en el medio ambiente, sin embargo se evidencia la posibilidad de que componentes de esos desechos electrónicos contribuyan a la economía o rentabilidad por medio de su recuperación por medio de procedimientos químicos.

**Palabras claves:** Tarjetas de circuitos impresos, Cobre, Fluorescencia de rayos x, Lixiviación, Espectrofotometría de absorción atómica.

**Análisis interpretativo por el revisor:** El trabajo logra establecer que de los datos tomados en la experimentación de los modelos previamente mencionados se puede conocer la composición de alícuotas tomadas en laboratorio de cada una de las etapas de lixiviación de ambos modelos en donde se tomaron pruebas de espectrofotometría de absorción atómica para la determinación de cobre. Frente a esto se logra entender que la densidad de la fase líquida de las réplicas del primer modelo es inferior a la solución ácida. En conjunto se debe establecer que posterior al proceso de lixiviación de las tarjetas de circuitos impresos se da una disminución de la densidad de la misma mientras que en la fase líquida del segundo modelo en sus dos etapas aumentó frente a la densidad de la solución ácida.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- AL-SAIDI. H, M. The fast recovery of gold (III) ions from aqueous solutions using raw date pits: Kinetics, thermodynamic and equilibrium studies. Journal of Saudi chemical society, Junio, 2013. p. 2
- ARCE, Enrique. Introducción al diseño básico de procesos químicos. Mexico D.F. :s.n., 2011.
- ASOCIACION GSM. GSMA latin America. Ewaste en Colombia. [En línea] [Citado el: 18 de Septiembre de 2017.] <http://bit.ly/2ewastecolombia>.

- BECKHOFF, Burkhard. y WENDELL, Reiner. 1965. Handbook of practical x-ray fluorescence analysis. Nueva York : s.n., 1965.

13	<p><b>Título:</b> Recuperación simultánea de Ni y Cu de placas de circuitos impresos por computadora mediante biolixiviación: evaluación estadística y optimización.</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
	<p><b>Autor(es):</b> Arshadi, M., &amp; Mousavi, S.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Arshadi, M., &amp; Mousavi, S. (2014). Simultaneous recovery of Ni and Cu from computer-printed circuit boards using bioleaching: Statistical evaluation and optimization. <i>Bioresource Technology</i>, 174, 233–242. <a href="https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.140">https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.140</a></p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> En este trabajo se realizó un cultivo puro de <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> en función de lixiviar metales como el níquel de desechos electrónicos o de placas de circuito impreso. Se comenzaron a realizar diversas etapas en donde se obtuvieron los siguientes resultados:</p> <p><i>"La fase de adaptación comenzó con 1 g / l de CPCBs en polvo con 10% de inoculación y la densidad final de la pulpa se alcanzó en 20 g / l después de aproximadamente 80 d. Se optimizaron cuatro factores efectivos, incluido el pH inicial, el tamaño de partícula, la</i></p>		

*densidad de la pulpa y la concentración inicial de Fe 3+ para lograr la máxima recuperación simultánea de Cu y Ni".*

De igual manera ocurrió con la identificación del diseño compuesto en la metodología de superficie de respuesta en donde se obtuvo como resultado que las condiciones óptimas sugeridas fueron "pH 3 inicial, Fe 3+ inicial 8,4 g / l, densidad de pulpa 20 g / ly tamaño de partícula 95 µm. Casi el 100% de Cu y Ni se recuperaron simultáneamente en condiciones óptimas". Finalmente, se graficaron las características de crecimiento bacteriano frente al tiempo en condiciones óptimas.

**Contexto:** Se toma en consideración las placas de circuito impreso de los equipos de cómputo las cuales poseen ciertamente buen contenido de metales que son de significativa importancia y se producen a su vez en grandes cantidades lo cual convierte a los componentes importantes en cuanto a los desechos electrónicos

**Palabras claves:** Biolixiviación, Residuos de CPCBA, *acidithiobacillus ferrooxidans*, Mejoramiento, Metodología de superficie de respuesta

**Análisis interpretativo por el revisor:** Es de destacar que se trata de un estudio que versa fundamentalmente en la biolixiviación de Cu y Ni en las placas de circuito impreso de equipos computacionales usando *ferrooxidans*. La metodología realizada fue la de superficie de respuesta en función de poder evaluar y optimizar diferentes factores.

De lo anterior se estableció que esa metodología contribuye directamente a optimizar la biolixiviación de metales a partir de placas de circuito impresas. Además, las recuperaciones simultáneas de Cu y Ni en condiciones óptimas fueron casi del 100%.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Weihua Gu, Jianfeng Bai, Bin Dong, Xuning Zhuang, Jing Zhao, Chenglong Zhang, Jingwei Wang, Kaimin Shih Catalytic effect of graphene in bioleaching copper from

waste printed circuit boards by *Acidithiobacillus ferrooxidans* *Hydrometallurgy*, Volume 171, 2017, pp. 172-178

- Ruan Jujun, Zhu Xingjiong, Qian Yiming, Hu Jian A new strain for recovering precious metals from waste printed circuit boards *Waste Management*, Volume 34, Issue 5, 2014, pp. 901-907.
- Jarno Mäkinen, John Bachér, Tommi Kaartinen, Margareta Wahlström, Justin Salminen The effect of flotation and parameters for bioleaching of printed circuit boards *Minerals Engineering*, Volume 75, 2015, pp. 26-31

14	<p><b>Título:</b> Recuperación biológica y electroquímica de metales críticos y escasos</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
	<p><b>Autor(es):</b> Nancharaiah, Y. V., Venkata Mohan, S., &amp; Lens, N. L.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Nancharaiah, Y. V., Venkata Mohan, S., &amp; Lens, N. L. (2016). Recuperación biológica y bioelectroquímica de metales críticos y escasos. <i>Trends In Biotechnology</i>, 137–155. <a href="https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.11.003">https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.11.003</a></p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> Los desechos sólidos y líquidos poseen metales que se podrían catalogar como fuentes secundarias de metales críticos y escasos por lo que los microorganismos son un recurso de extracción y concentración de tales metales de fuentes secundarias por lo que se precisa la biotecnología microbiana en función de la extracción de tales metales básicos de minerales y asimismo asegurar el tratamiento de aguas residuales que se encuentren contenidas por parte de dichos metales. Por otra parte, las</p>		

interacciones microbio-metal en la recuperación de dichos metales críticos han encontrado mayor atención; sin embargo la recuperación de algunos apenas ha sido explorada por lo que en dicho trabajo se detalla la posibilidad de aplicar tales biotecnologías microbianas en la recuperación de dichos metales.

**Contexto:** El trabajo realiza una fase experimental en donde evidencia la importancia de realizar un tratamiento de aguas residuales que espera arroje beneficiosos resultados en la extracción de metales escasos por medio del uso de la biotecnología y microorganismos considerados valiosos en la recuperación de estos metales.

**Palabras claves:** biorecuperación, biominería, bioprecipitación, metales críticos, extraños elementos de la Tierra, metales del grupo del platino, sistemas bioelectroquímicos, pilas de combustible microbianas.

**Análisis interpretativo por el revisor:** Resulta importante para la continuidad del trabajo en cuestión, toda vez que la descripción de las aplicaciones de microorganismos en la recuperación de metales críticos constituye una parte fundamental en la extracción y tratamiento de aguas residuales. En este sentido se busca aplicar los conocimientos obtenidos en la materia para verificar las interacciones entre los microbios y el metal que es objeto de recuperación. La recuperación ciertamente puede ser aplicable por parte de los sistemas bioelectroquímicos los cuales ofrecen una plataforma tecnológica en la recuperación de dichos metales. Lo anterior genera lo denominado biominería.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Wang Yun-Hai, Wang Bai-Shi, Pan Bin, Chen Qing-Yun, Yan Wei Electricity production from a bio-electrochemical cell for silver recovery in alkaline media Applied Energy, Volume 112, 2013, pp. 1337-1341

- Liping Huang, Tianchi Li, Chuan Liu, Xie Quan, Lijie Chen, Aijie Wang, Guohua Chen Synergetic interactions improve cobalt leaching from lithium cobalt oxide in microbial fuel cells *Bioresource Technology*, Volume 128, 2013, pp. 539-546
- Cheng Shao-An, Wang Bai-Shi, Wang Yun-Hai Increasing efficiencies of microbial fuel cells for collaborative treatment of copper and organic wastewater by designing reactor and selecting operating parameters *Bioresource Technology*, Volume 147, 2013, pp. 332-337

15	<p><b>Título:</b> Una revisión de la recuperación de metales a partir de residuos industriales.</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
	<p><b>Autor(es):</b> Jadhav, U., &amp; Hocheng, H.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Jadhav, U., &amp; Hocheng, H. (2012). Una revisión de la recuperación de metales a partir de residuos industriales. <i>Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering</i>, 54(2).  <a href="https://www.semanticscholar.org/paper/A-review-of-recovery-of-metals-from-industrial-Jadhav-Hocheng/8464a75f464214efa95a4f62fbcc0a7df3a3be1a#references">https://www.semanticscholar.org/paper/A-review-of-recovery-of-metals-from-industrial-Jadhav-Hocheng/8464a75f464214efa95a4f62fbcc0a7df3a3be1a#references</a></p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> Conforme al aumento de la industrialización ha llevado a que directamente esto repercute en la producción de elementos</p>		

en muchos aspectos como lo son los componentes electrónicos. Esto genera a su vez la existencia de más residuos en mayor proporción y a ello se suma la presencia de metales pesados en sus componentes que a su vez son demandados constantemente, mientras que al mismo tiempo se evidencia la disminución de reservas de minerales. Esto hace que se presente la necesidad de iniciar una búsqueda alternativa de metales pesados por lo que la rápida industrialización al generar estos derechos constituye una fuente importante. La eliminación inadecuada de estos desechos se convierte en un factor clave en la contaminación por metales y, por lo tanto, cuando se lixivia a la atmósfera causa un problema ambiental grave.

**Contexto:** Se realiza la investigación en el marco actual del crecimiento poblacional que ha conllevado a la industrialización y a su vez a los aumentos productivos, especialmente hablando de componentes electrónicos como placas de circuito impreso, lo cual constituye una fuente alterna para la obtención de metales como el oro, cobre, plata, entre otros.

**Palabras claves:** Metales pesados, pirometalurgia, hidrometalurgia, biohidrometalurgia, extracción de residuos, industrialización.

**Análisis interpretativo por el revisor:** Se comienzan a analizar metodologías como la Pirometalurgia, hidrometalurgia y la biohidrometalurgia en donde se establecen sus beneficios y debilidades en su aplicación por diferentes situaciones económicas y medioambientales para su elección. El desarrollo de la extracción económica en procedimientos de eliminación de metales pesados de residuos industriales se configura como una verdadera necesidad por lo que la aplicación de los procedimientos en mayor escala tiene sus propias limitantes debido a que se requieren inversiones en lixiviación reactiva generando contaminación secundaria.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- D.B. Johnson, Biohydrometallurgy and the environment: intimate and important interplay, Hydrometallurgy 83 (2006) 153-166.

- S.S. Ingale, M.V. Rele, M.C. Srinivasan, Alkaline protease production by Basidiobolus (N.C.L. 97.1.1): effect of ‘darmform’ morphogenesis and cultural conditions on enzyme production and preliminary enzyme characterization, *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 18 (2002) 403-408.
- M. Choi, K. Cho, D.S. Kim, D.J. Kim, Microbial recovery of copper from printed circuit boards of waste computer by *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Journal of Environmental Science and Health Part A -Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering* 39 (2004) 2973-2982.
- F. Carranza, R. Romero, A. Mazuelos, N. Iglesias, O. Forcat, Biorecovery of copper from converter slags: slags characterization and exploratory ferric leaching tests, *Hydrometallurgy* 97 (2009) 39-45.
- T. Ishigaki, A. Nakanishi, M. Tateda, M. Ike, M. Fujita, Bioleaching of metal from municipal waste incineration fly ash using a mixed culture of sulfur-oxidizing and ironoxidizing bacteria, *Chemosphere* 60 (2005) 1087-1094.

16	<p><b>Título:</b> Biolixiviación de metales a partir de desechos electrónicos por <i>Chromobacterium violaceum</i> y <i>Pseudomonads</i> sp.</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
<p><b>Autor(es):</b> Pradhan, J. K., &amp; Kumar, S.</p>		<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Pradhan, J. K., &amp; Kumar, S. (2012). Metals bioleaching from electronic waste by <i>Chromobacterium violaceum</i> and <i>Pseudomonads</i> sp. <i>Waste Management &amp; Research: The Journal for a</i></p>

*Sustainable Circular Economy*, 30(11),  
1151–1159.  
<https://doi.org/10.1177/0734242x12437565>

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:** Es de tomar en cuenta que los desechos electrónicos deben poseer su valor debido al contenido de materiales que aquellos poseen entendiendo que conforme a sus características heterogéneas en los metales que se encuentran presentes en tales desechos por lo que el procesamiento de estos es limitado.

La metodología configurada será entonces la biolixiviación de metales a partir de desechos electrónicos lo cual se investigó usando cepas de bacterias cianogénicas (*Chromobacterium violaceum*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Pseudomonas fluorescens*).

El proceso que se siguió fue el de biolixiviación de dos pasos en condiciones de formación de cianuro para la máxima movilización de metales.

Se usaron cultivos simples y mixtos de bacterias cianogénicas en donde se logró movilizar metales de desechos electrónicos con eficiencias distintas. "*Pseudomonas aeruginosa* se aplicó en el proceso de biolixiviación por primera vez y con ello logró su capacidad de biolixiviación de movilización de metales a partir de desechos electrónicos. *Chromobacterium violaceum* como cultivo único y una mezcla de *C. violaceum* y *P. aeruginosa* exhibieron la máxima movilización de metales. *Chromobacterium violaceum* fue capaz de lixiviar más del 79, 69, 46, 9 y 7% de Cu, Au, Zn, Fe y Ag, respectivamente, a una concentración de desechos electrónicos del 1% p / v. Además, la mezcla de *C. violaceum* y *P. aeruginosa* exhibieron lixiviación de metales de más del 83, 73, 49, 13 y 8% del total Cu, Au, Zn, Fe y Ag, respectivamente. Los metales preciosos se movilaron mediante la biolixiviación, que podría considerarse una aplicación industrial para el reciclaje de desechos electrónicos en un futuro próximo".

**Contexto:** Se presenta técnicamente el uso de la biolixiviación por medio de cultivos de bacterias cianogénicas para movilizar metales presentes en residuos electrónicos.

**Palabras claves:** Biolixiviación, residuos electrónicos, bacterias cianogénicas, Chromobacterium violaceum, Pseudomonas aeruginosa, Pseudomonas fluorescentes.

**Análisis interpretativo por el revisor:** Resulta interesante identificar la existencia de diferentes metales que son de interés, allí donde se permite la aplicación de una metodología que al respecto se evidencia bastante recurrente la cual es la biolixiviación que podría considerarse especialmente efectiva en la extracción de metales como oro y cobre de los componentes electrónicos que figuran como residuos.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Awasthi, P, Sood, I, Syal, S ( 2008 ) Aislar del aire las bacterias que degradan el diésel . Ciencia actual 94: 178 - 180.
- Baxter, J, Cummings, SP ( 2006 ) El impacto de la bioaugmentación en la degradación del cianuro metálico y la estructura de la comunidad de bacterias del suelo . Biodegradación 17: 207 - 217.
- Blumer, C, Hass, D ( 2000 ) Mecanismo, regulación y papel ecológico de la biosíntesis de cianuro bacteriano . Archivos de Microbiología 173: 170 - 177.
- Brandl, H, Faramarzi, MA, Stagars, MA ( 2003 ) Nuevo tipo de movilización microbiana de metales: las bacterias cianogénicas y los hongos solubilizan los metales como complejos de cianuro . Actas del Simposio Internacional de Biohidrometalurgia, IBS2003 , 13-18 de septiembre , Atenas, Grecia, Universidad Técnica Nacional de Atenas.

17	<p><b>Título:</b> DESARROLLO DE PROCESOS PARA LA RECUPERACIÓN DE</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
----	--	---

	<p>MATERIALES CRÍTICOS A PARTIR DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS.</p>	
<p><b>Autor(es):</b> Lister, TE ; Díaz, LA ; Clark, GG ; Keller, P.</p>		<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Lister, T. E., Diaz, L. A., Clark, G. G., &amp; Keller, P. (2016, 1 septiembre). PROCESS DEVELOPMENT FOR THE RECOVERY OF CRITICAL MATERIALS FROM ELECTRONIC WASTE. Osti.Gov. <a href="https://www.osti.gov/biblio/1358185">https://www.osti.gov/biblio/1358185</a></p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> En medio de la evolución electrónica existe la necesidad del desarrollo de recuperación de material valioso proveniente de tal tecnología por lo que de allí se derivan los desafíos ambientales que acarrearán con la disponibilidad de materias primas y generación de desechos electrónicos en un considerable crecimiento.</p> <p><i>"Por lo tanto, el reciclaje y procesamiento adecuados de volúmenes crecientes de desechos electrónicos presentan una oportunidad para estabilizar el mercado de materiales críticos, reduciendo la demanda de productos minados. y proporcionar una disposición y un tratamiento adecuados de una corriente de desechos peligrosos".</i></p> <p>En el artículo referenciado se establece el desarrollo y evaluación que económicamente procede un procedimiento integral para la recuperación de valor y materiales críticos contenidos en los desechos electrónicos. Su metodología consiste en un esquema hidrometalúrgico el cual posee como objetivo la recuperación selectiva de múltiples segmentos de valor en las corrientes de materiales como metales básicos, preciosos y tierras raras.</p>		

**Contexto:** Se realiza una evaluación de carácter económica sobre la recuperación de metales básicos y metales preciosos contenidos en los desechos electrónicos.

**Palabras claves:** Tierras raras, metales preciosos, desechos electrónicos, reciclaje.

**Análisis interpretativo por el revisor:** Es importante tomar en cuenta para el curso de esta investigación la inclusión de un análisis tecnoeconómico en donde se establezca el potencial de carácter económico en medio de la valiosa recuperación de materiales críticos de los residuos electrónicos. Evidentemente se ha mostrado que se trata de un procedimiento eficiente para la recuperación electroquímica de metales básicos.

En este aspecto el análisis de sensibilidad proporciona un marco para definir los alcances mínimos de recuperación en el metal precioso.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Hageluken, C. (2006, 8-11 May 2006). Improving metal returns and eco-efficiency in electronics recycling - a holistic approach for interface optimisation between pre-processing and integrated metals smelting and refining. Paper presented at the Electronics and the Environment, 2006. Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on.
- Lister, T. E., Wang, P., & Anderko, A. (2014). Recovery of critical and value metals from mobile electronics enabled by electrochemical processing. *Hydrometallurgy*, 149, 228-237
- Behnamfard, A., Salarirad, M. M., & Veglio, F. (2013). Process development for recovery of copper and precious metals from waste printed circuit boards with emphasize on palladium and gold leaching and precipitation. *Waste Management*, 33(11), 2354-2363.

- Dodson, J. R., Hunt, A. J., Parker, H. L., Yang, Y., & Clark, J. H. (2012). Elemental sustainability: Towards the total recovery of scarce metals. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 51, 69-78.

18	<p><b>Título:</b> Recuperación de recursos de aguas residuales por tecnologías biológicas: oportunidades, desafíos y perspectivas.</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
	<p><b>Autor(es):</b> Puyol, D., Batstone, D. J., Hülsen, T., Astals, S., Peces, M., &amp; Krömer, J. O.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Puyol, D., Batstone, D. J., Hülsen, T., Astals, S., Peces, M., &amp; Krömer, J. O. (2017). Resource Recovery from Wastewater by Biological Technologies: Opportunities, Challenges, and Prospects. <i>Frontiers in Microbiology</i>, 7. <a href="https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02106">https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02106</a></p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> Es de significativa importancia que los cambios productivos de manera social tienen sus repercusiones por lo que se cambia de igual manera necesariamente el tratamiento de residuos, de igual forma ocurre con aguas residuales y la posibilidad de recuperar recursos. Ciertamente se podrían considerar importantes los procedimientos biotecnológicos debido a sus beneficios económicos y versátiles en la concentración de recursos de desechos contenidos incluso en aguas residuales lo que se considera un requisito previo al desarrollo tecnológico de una bioeconomía.</p> <p>Se trata de la identificación de tecnologías que permitan la recuperación de recursos en el tratamiento de aguas residuales. Específicamente la bioenergía en forma de hidrógeno (por foto</p>		

y procesos de fermentación oscura) y biogás (durante los procesos de digestión anaeróbica) han sido objetivos clásicos, por lo que también llamó la atención la transformación directa de biomasa lipídica en biodiesel.

**Contexto:** Se trata de la recuperación en aguas residuales de materiales o elementos que se consideren valiosos para la posible producción de biocombustibles.

**Palabras claves:** Fermentación oscura, digestión anaeróbica, biohidrógeno, recursos, aguas residuales, desechos, biotecnología, biocombustible, fertilizantes, hidrógeno, bioelectroquímicos.

**Análisis interpretativo por el revisor:** La recuperación de recursos que se encuentran incluso dentro de aguas residuales resulta importante para el curso investigativo, toda vez que dicha recuperación contribuye directamente a la disminución de los impactos ambientalmente negativos se generan a partir de la disposición final de los desechos. Es de lo anterior que la producción de polímeros a partir de ácidos, metano es una posible opción que aquí se presenta para recuperar, por ejemplo, el carbono. *"La recuperación de carbono y nutrientes se puede lograr mediante la producción de fertilizantes orgánicos o la generación de proteínas unicelulares (según la fuente) que se pueden utilizar como alimento, aditivos para alimentos, fertilizantes de próxima generación o incluso como probióticos".*

Es de agregar que los sistemas de oxidación-reducción química y bioelectroquímicos pueden recuperar sustancias inorgánicas o sintetizar productos orgánicos más allá del metabolismo microbiano natural. Anticipando la próxima generación de plantas de tratamiento de aguas residuales impulsadas por tecnologías de recuperación biológica,

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Macaskie, LE y Basnakova, G. (1998). Quimisorción de metales pesados mejorada microbianamente: un método para la biorremediación de soluciones que contienen

isótopos de larga duración de neptunio y plutonio. *Reinar. Sci. Technol.* 32, 184-187.

doi: 10.1021 / es9708528

- Maazouzi, C., Masson, G., Izquierdo, MS y Pihan, J.-C. (2008). Efectos de la ola de calor del verano en el plancton lacustre: variación de la estructura de ensamblaje y composición de ácidos grasos. *J. Therm. Biol.* 33, 287-296. doi: 10.1016 / j.jtherbio.2008.03.002
- Lemos, PCLC, Serafim, LS, Rossetti, S., Reis, MA y Tandoi, V. (2008). Caracterización microbiana de polihidroxialcanoatos que almacenan poblaciones seleccionadas en diferentes condiciones operativas utilizando un enfoque de RT-PCR de clasificación celular. *Apl. Microbiol. Biotechnol.* 78, 351–360. doi: 10.1007 / s00253-007-1301-5
- Kobayashi, M. y Tchan, YT (1973). Tratamiento de soluciones de residuos industriales y producción de subproductos útiles mediante un método bacteriano fotosintético. *Agua Res.* 7, 1219-1224. doi: 10.1016 / 0043-1354 (73) 90075-4.

19	<b>Título:</b> Oportunidades de recuperación de metales y energía de lodos de depuradora.	<b>Tipo de documento:</b> Artículo
<b>Autor(es):</b> Mulchandani, A., & Westerhoff, P.	<b>Referencia bibliográfica:</b> Mulchandani, A., & Westerhoff, P. (2016). Recovery opportunities for metals and energy from sewage sludges. <i>Bioresource Technology</i> , 215, 215–226.	

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:** Existen una serie de limitantes en procedimientos biológicos de las plantas de tratamiento de aguas residuales PTAR por lo que las opciones de eliminación de sólidos presentan una serie de oportunidades para la implementación de tecnologías novedosas que convierten las PTAR en instalaciones de recuperación de recursos.

En este trabajo se realiza un reemplazo o aumento de deshidratación extensiva, digestión anaeróbica y eliminación fuera del sitio con nuevos procedimientos termoquímicos y de extracción de líquidos.

**Contexto:** Se centra la investigación en que las PTAR podrían ser centros de recuperación y que los metales podrían recuperarse por medio de los lodos. Los patógenos de los lodos se inactivan y los contaminantes orgánicos se destruyen. Tecnologías termoquímicas y solventes líquidos evaluados para aplicación de lodos. La licuefacción hidrotermal reduce la masa de los lodos en un 50% y produce bioaceite.

**Palabras claves:** Aguas residuales, Biosólidos, Biocombustible, Licuefacción hidrotermal

**Análisis interpretativo por el revisor:** Las tecnologías previamente establecidas contribuyen directamente en la recuperación de metales mientras que inactivan patógenos y destruyen los contaminantes orgánicos. Por lo anterior existen limitantes en comparaciones sobre los tipos de lodos en la bibliografía en cuanto a la licuefacción hidrotermal por lo que se aumentan los hallazgos con datos experimentales. De lo anterior es necesario afirmar que:

*"Estos experimentos demostraron una reducción del 50% en la masa de lodos, con el 30% de los productos de licuefacción convertidos en bioaceite y la mayoría de los metales secuestrados dentro de una pequeña masa de residuos sólidos de biocarbón. Finalmente, se investiga la contribución de cada tecnología a los tres pilares de la sostenibilidad. Aunque se limita la*

*reintroducción de materiales peligrosos al medio ambiente puede aumentar el costo económico del tratamiento de lodos, se equilibra con un medio ambiente más limpio y valiosos beneficios de recursos para la sociedad".*

**Referencias de interés que cita el autor:**

- S. Venkata Mohan, G.N. Nikhil, P. Chiranjeevi, C. Nagendranatha Reddy, M.V. Rohit, A. Naresh Kumar, Omprakash Sarkar Waste biorefinery models towards sustainable circular bioeconomy: Critical review and future perspectives September 2016, pp.
- Rossana Liguori, Vincenza Faraco Biological processes for advancing lignocellulosic waste biorefinery by advocating circular economy September 2016, pp.
- Juan-Rodrigo Bastidas-Oyanedel, Chuanji Fang, Saleha Almardeai, Usama Javid, Ahasa Yousuf, Jens Ejbye Schmidt Waste biorefinery in arid/semi-arid regions September 2016, pp.

20	<p><b>Título:</b> Minería urbana como herramienta para una economía circular en la gestión de residuos: aspectos metodológicos.</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Tesis</p>
<p><b>Autor(es):</b> Mario García</p>		<p><b>Referencia bibliográfica:</b> García, M. (2020). Minería urbana como herramienta para una economía circular en la gestión de residuos: aspectos metodológicos. Repositorio Universidad de Cantabria. Published.</p>

<https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/18342>

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:** El autor del texto se soporta en un marco basado en postulados básicos de la economía circular "*como filosofía de desarrollo sostenible*" en donde se manifiestan los principios del modelo económico circular de autores como Kowszyk y sus estudios específicamente considerando la minería urbana en la gestión de residuos de aparatos electrónicos. La investigación se realizó usando la metodología documental de revisión de documentos sobre el tema en cuestión.

Los resultados que se han obtenido conforme a lo relacionado previamente dan cuenta de la viabilidad de una gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos lo cual posee aspectos positivos tanto ambiental como en la recuperación de metales y minerales potencialmente peligrosos evitando sus efectos negativos en el medio ambiente siendo susceptibles de utilización en la industria como materia prima.

**Contexto:** En esta investigación se estudia la posibilidad de viabilizar un proyecto de minería urbana que permita la recuperación de minerales y metales no ferrosos partiendo de residuos eléctricos y electrónicos como aporte a la economía circular.

**Palabras claves:** Economía circular, Gestión de residuos, Minería urbana, Recuperación de metales, Circular economy, Waste management, Urban mining, Metal recovery.

**Análisis interpretativo por el revisor:** Para esta investigación resulta importante considerar una realidad en cuanto a la generación de residuos sólidos urbanos especialmente de desechos electrónicos como un problema que va en crecimiento en todo el mundo siendo un aspecto generado por un consumo desmedido de bienes y servicios y la desechabilidad de los mismos teniendo en cuenta su corta duración o vida útil de los productos atendiendo a las situaciones actuales del mercado. Lo anterior trae consigo consecuencias ambientalmente negativas por lo

que se hace necesario la aplicación de medidas que contribuyan a contrarrestar tales situaciones.

En ese sentido el modelo de economía circular, desde sus principios de economía sostenible en contraposición a los modelos convencionales de economía lineal, se convierte en una poderosa herramienta de apoyo para una solución sustentable.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Alonso, S. (2015). Valorización de cenizas volantes y cenizas de fondo procedentes de la incineración de residuos sólidos urbanos: revisión bibliográfica. (Trabajo de Fin de Grado). Universidad de Cantabria, Cantabria, España.
- Cortés, E. (2012). Metales y producción [En línea]. Tomado de: <https://sites.google.com/site/edgarctts/metales-y-produccion-1> LogisDidactica. (2017). Índice de precios de mercancías por carretera [En línea]. Tomado de: <http://logisdidactica.es/indice-de-precios-deltransporte-de-mercancias-por-carretera/>
- Ramírez, E. (2019). UF0345: Apoyo administrativo a la gestión de recursos humanos. Málaga: Editorial Elearning, S.L.

21	<p><b>Título:</b> Elemental Copper Recovery from e-Wastes Mediated with a Two-Step Bioleaching Process</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
<p><b>Autor(es):</b> E. Benzal, M. Solé, C. Lao, X. Gamisans &amp; A. D. Dorado.</p>		<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Benzal, E., Solé, M., Lao, C., Gamisans, X., &amp; Dorado, A. D. (2020). Elemental Copper Recovery from e-Wastes Mediated with a Two-Step Bioleaching Process. <i>Waste and Biomass</i></p>

*Valorization*, 11(10), 5457–5465.

<https://doi.org/10.1007/s12649-020-01040-2>

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:** La recuperación de cobre de las placas de circuito impreso (PCB) de los teléfonos móviles de desecho se investigó mediante un proceso de biolixiviación de dos pasos. El método consiste en un primer paso donde los iones Fe (II) se oxidan biológicamente a Fe (III) por *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Posteriormente, los iones Fe (III) se ponen en contacto con los PCB para la solubilización del cobre.

En las condiciones probadas en el presente trabajo, la oxidación de Fe (II) (primer paso) casi se completó en 48 h. Se probaron dos métodos diferentes (filtración y sedimentación) para la separación de biomasa antes del segundo paso. No hay diferencias significativas entre ambas separaciones.

Los métodos se observaron en términos de la eficiencia general del proceso. En ambos casos, utilizando 7,5 g / L de concentración de residuos electrónicos, se obtuvo una recuperación de cobre del 95-100% en solo 48 h. Para probar un método económico y respetuoso con el medio ambiente para recuperar el cobre de la solución de lixiviado se realizó la sedimentación de Cu (II) con hierro metálico. El cobre en polvo obtenido tenía una pureza del 64,8%.

**Contexto:** Se trata de un artículo de revista publicado por varios autores en el marco del desarrollo de una investigación de biolixiviación. Se propone como preguntas investigativas

- ¿Cuál es el procedimiento más eficaz para recuperar cobre?
- ¿Cuál es la diferencia entre los dos métodos propuestos?
- ¿Cuál es el tiempo más óptimo en relación con la cantidad de cobre recuperado?

**Palabras claves:** Lixiviado, Biomasa, Solubilización, Optimización, Sedimentación, Pureza.

**Análisis interpretativo por el revisor:** La filtración permitió eliminar toda la biomasa presente, mientras que después de la sedimentación algo de biomasa permaneció en suspensión.

Esta es posiblemente la razón por la que la Fe (III) concentración ligeramente aumentada a lo largo del proceso de extracción después de la sedimentación. Hasta donde sabemos. Dado que ambas técnicas dieron buenos resultados, el uso de filtración o sedimentación depende de la finalidad a la que se desee llegar.

Finalmente, se pudo concluir que el procedimiento de sedimentación permitió obtener cobre elemental a partir de extraer de forma sencilla, económica y respetuosa con el medio ambiente con una pureza relativamente interesante.

En conclusión, el proceso general de extracción de cobre se ha optimizado en este trabajo reduciendo significativamente el tiempo experimental sin perder eficiencia y permitiendo la recirculación de la biomasa antes de ser afectada por el posible efecto tóxico de los metales lixiviados de los PCB.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Hsu, E., Barmak, K., West, A.C., Park, A.H.A.: Advancements in the treatment and processing of electronic waste with sustainability: a review of metal extraction and recovery technologies. *Green Chem.* 21, 919–936 (2019).
- Arshadi, M., Mousavi, S.M.: Multi-objective optimization of heavy metals bioleaching from discarded mobile phone PCBs: Simultaneous Cu and Ni recovery using *Acidithiobacillus ferrooxidans*. *Sep. Purif. Technol.* 147, 210–219 (2015).
- Isildar, A., van de Vossenberg, J., Rene, E.R., van Hullebusch, E.D., Lens, P.N.L.: Two-step bioleaching of copper and gold from discarded printed circuit boards (PCB). *Waste Manag.* 57, 149–157 (2016).

22	<b>Título:</b> Copper Recovery from PCBs by <i>Acidithiobacillus</i>	<b>Tipo de documento:</b> Artículo
----	--	------------------------------------

	ferrooxidans: Toxicity of Bioleached Metals on Biological Activity	
<b>Autor(es):</b> E. Benzal, A. Cano, M. Solé, C. LaoLuque, X. Gamisans & A. D. Dorado		<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Benzal, E., Cano, A., Solé, M., Lao-Luque, C., Gamisans, X., &amp; Dorado, A. D. (2020). Copper Recovery from PCBs by Acidithiobacillus ferrooxidans: Toxicity of Bioleached Metals on Biological Activity. <i>Waste and Biomass Valorization</i>, 11(10), 5483–5492.</p> <p><a href="https://doi.org/10.1007/s12649-020-01036-y">https://doi.org/10.1007/s12649-020-01036-y</a></p>

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:** La idoneidad y los límites de la biolixiviación para la recuperación de cobre de placas de circuitos impresos se han establecido con nuevas estrategias y metodologías. El proceso ha sido probado usando un reactor de columna continua que simula las condiciones encontradas en escala industrial. La nueva estrategia desarrollada mejoró la velocidad de reacción cinética y superó las limitaciones de transporte para la solución de lixiviación, mejorando así la recuperación de cobre del 50 al 80% en solo 6 h. Esto redujo drásticamente el tiempo requerido por estudios previos para lograr la misma recuperación de cobre. Efectos de inhibición del proceso biológico debido a la liberación de los metales de los desechos electrónicos (se han identificado mediante pruebas de monitorización microrespirométricas).

Este estudio sistemático permitió identificar que el níquel, el cobre y el aluminio impactan en la actividad de los microorganismos, inactivandolos en escenarios específicos, (dependiendo de la concentración y el tiempo de exposición), incluyendo el tiempo de exposición como variable, este trabajo demostró que las concentraciones de metales que se han informado como no tóxicas para los microorganismos, resultaron tóxicas cuando la lixiviación requerida,

considerándose el tiempo de contacto. Además de que las altas concentraciones de hierro también producen un efecto inhibitor sobre el crecimiento de los microorganismos, a pesar de ser la fuente de energía para su metabolismo.

**Contexto:** Se trata de un artículo de revista publicado por varios autores en el marco del desarrollo de una investigación de biolixiviación. Se propone como preguntas investigativas ¿Es posible generar una alternativa sostenible para la recuperación de metales a partir de desechos electrónicos y en qué consistiría?

**Palabras claves:** Inhibición, Biolixiviación, Metabolismo, Alternativa sostenible, Metales.

**Análisis interpretativo por el revisor:** La técnica planteada en este trabajo obtiene con éxito atractivos niveles de recuperación de cobre (80%) en un entorno competitivo, en un período de tiempo (menos de 6 h).

Es muy interesante como utilizan una técnica microrespirométrica para evaluar el efecto tóxico de los principales metales presentes en el lixiviado sobre la actividad de *A. ferrooxidans*. Los resultados muestran que la toxicidad depende de la concentración y el tiempo de exposición, como las diferencias entre metales. El aluminio se ha convertido y resulta ser el metal más tóxico, produciendo una inhibición completa de la actividad de las bacterias a una concentración de 0,5 M en pocos minutos de contacto. En cuanto al cobre, a la concentración obtenida durante la biolixiviación de PCB, los resultados muestran que el metabolismo microbiano no se ve afectado después de 48 h de exposición. Sin embargo, en los casos en que se acumula lixiviado (por ejemplo, una biolixiviación escalonada o recirculación de modo continuo), tóxico se pueden alcanzar concentraciones (superiores a 0,05 M).

**Referencias de interés que cita el autor:**

- David, D.J., Pradhan, D., Das, T.: Evaluation of iron oxidation rate of *Acidithiobacillus ferrooxidans* in presence of heavy metal ions. *Miner. Process. Extr. Metall.* 117, 56–61 (2008).

- Alix, M.: Bioleaching of electronic waste: milestones and challenges. In: Wong, J., Tyagi, R., Pandey, A. (eds.) *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, pp. 407–442. Elsevier, Amsterdam (2017).
- Giebner, F., Kaschabek, S., Schopf, S., Schlömann, M.: Three adapted methods to quantify biomass and activity of microbial leaching cultures. *Miner. Eng.* 79, 169–175 (2015).
- Pagnanelli, F., Luigi, M., Mainelli, S., Toro, L.: Use of natural materials for the inhibition of iron oxidizing bacteria involved in the generation of acid mine drainage. *Hydrometallurgy* 87, 27–35. (2007).

23	<b>Título:</b> Biorecovery of Metals from Electronic Waste	<b>Tipo de documento:</b> Artículo
<b>Autor(es):</b> Arda Işıldar, Jack van de Vossenberg, Eldon R. Rene, Eric D. van Hullebusch, Piet N. L. Lens		<b>Referencia bibliográfica:</b> Işıldar, A., van de Vossenberg, J., Rene, E. R., van Hullebusch, E. D., & Lens, P. N. L. (2017). Biorecovery of Metals from Electronic Waste. <i>Sustainable Heavy Metal Remediation</i> , 241–278. <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-319-61146-4_8">https://doi.org/10.1007/978-3-319-61146-4_8</a>
<b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> Establece que los desechos electrónicos o de equipos eléctricos y electrónicos RAEE, son segmento de desechos sólidos que se encuentra en aumento debido a la generación global en donde se alcanzan aproximadamente 42 millones de toneladas en 2014 y más de 50 millones en 2020, lo cual evidencia la preocupación de múltiples organizaciones en mitigar estos efectos. Es de tomar		

en consideración que se incluyen dispositivos modernos que tienen 60 elementos de diferentes concentraciones en donde se incluyen los metales básicos, críticos y del grupo del platino.

Estos productos electrónicos y la presencia de estos metales es de interés para la presente investigación por ser una fuente importante y secundaria de metales. Por lo anterior se requiere un adecuado procesamiento de la disposición final de los desechos electrónicos. Se toma como metodología el bioprocesamiento de materiales de desecho para la recuperación de metales como tecnología emergente con bajo impacto ambiental y alto índice de rentabilidad.

**Contexto:** Se desarrolla este artículo en el marco de la necesidad de extraer metales por medio de mecanismos biológicos como biolixiviación y demás técnicas de recuperación por medio del Programa Conjunto de Doctorado Erasmus Mundus.

**Palabras claves:** Bioprocesamiento Biolixiviación Biorrecuperación Residuos electrónicos RAEE Materia prima secundaria

**Análisis interpretativo por el revisor:** Es de carácter significativamente importante las técnicas utilizadas en este estudio para la recuperación de metales preciosos como el oro, plata, cobre, entre otros por medio del bioprocesamiento de tales materiales objeto de desecho utilizando este tipo de tecnologías que son amigables con el medio ambiente y considerando los beneficios económicos que los mismos poseen. Ahora bien, no se debe obviar que se destaca la biolixiviación como metodología propuesta y la biomineralización como técnica que va ir en favor de dicha recuperación.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Acevedo F (2000) El uso de reactores en procesos de biominería. Electron J Biotechnol 3: 184-194. doi: 10.2225 / vol3-issue3-fulltext-4
- Acuña J, Rojas J, Amaro AM, Toledo H, Jerez CA (1992) Quimiotaxis de Leptospirillum ferrooxidans y otros quimiotrofos acidófilos: comparación con el sistema quimiosensorial de Escherichia coli. FEMS Microbiol Lett 96 (1): 37–42

- Canovas D, Cases I, de Lorenzo V (2003) Heavy metal tolerance and metal homeostasis in *Pseudomonas putida* as revealed by complete genome analysis. *Environ Microbiol* 5:1242–1256. doi: 10.1046/j.1462-2920.2003.00463.x
- Fu F, Wang Q (2011) Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. *J Environ Manag* 92:407–418. doi: 10.1016/j.jenvman.2010.11.011
- Hennebel T, Boon N, Maes S, Lenz M (2015) Biotechnologies for critical raw material recovery from primary and secondary sources: R&D priorities and future perspectives. *N Biotechnol* 32:121–127. doi: 10.1016/j.nbt.2013.08.004
- Zhou QG, Bo F, Bo ZH, Xi L, Jian G, Fei FL, Hua CX (2007) Isolation of a strain of *Acidithiobacillus caldus* and its role in bioleaching of chalcopyrite. *World J Microbiol Biotechnol* 23:1217–1225. doi: 10.1007/s11274-007-9350-6

24	<p><b>Título:</b> Performance evaluation of anaerobic digestion technology for energy recovery from organic fraction of municipal solid waste.</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
	<p><b>Autor(es):</b> Atul Kumar, S.R. Samadder</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Kumar, A., &amp; Samadder, S. (2020). Performance evaluation of anaerobic digestion technology for energy recovery from organic fraction of municipal solid waste: A review. <i>Energy</i>, 197, 117253. <a href="https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117253">https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117253</a></p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> En este artículo se habla especialmente sobre la digestión anaeróbica como técnica de gestión de residuos eficiente y</p>		

amigable con el medio ambiente. A partir de allí se evidencia su beneficiosa aplicabilidad en la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos como una fuente de energía renovable debido a la generación de metano en medio del proceso de digestión. Se posibilita que se apliquen más estudios que contribuyan a que la digestión anaeróbica sea tecnológica y económicamente más sostenible. Así mismo se da cuenta de antecedentes desde la década de 1980 de la aplicación de esta metodología.

**Contexto:** Se establecen situaciones como la inestabilidad del reactor debido a la variación de parámetros del proceso, se centra en la codigestión como mejora en el rendimiento del proceso y la digestión anaerobia operativa que implica la codigestión. Se habla del pretratamiento que contribuye a la eficiencia de la digestión, aumentando el costo.

**Palabras claves:** Digestión anaeróbica, Codigestión, Inhibición, OFMSW, Pretratamiento, Parámetros de proceso

**Análisis interpretativo por el revisor:** Es relevante tomar en cuenta este método en cuanto a la implementación de digestión anaeróbica de la fracción orgánica de residuos sólidos al tratarse de estos desechos electrónicos, posiblemente para la recuperación de metales preciosos. Hay que tomar en cuenta las características que presenta en cuanto a la beneficiosa capacidad de ser amigable ambientalmente y ser considerablemente efectiva económicamente. El artículo presenta el efecto de la codigestión, los pretratamientos e inhibición sobre el desempeño de la digestión anaeróbica.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Varjani S., Shah A.V., Vyas S., Srivastava V.K. Processes and prospects on valorizing solid waste for the production of valuable products employing bio-routes: A systematic review.

- Bonassa G., Bolsan A.C., Hollas C.E., Venturin B., Candido D., Chini A., De Prá M.C., Antes F.G., Campos J.L., Kunz A. Organic carbon bioavailability: Is it a good driver to choose the best biological nitrogen removal process?
- Tena M., Perez M., Solera R. Benefits in the valorization of sewage sludge and wine vinasse via a two-stage acidogenic-thermophilic and methanogenic-mesophilic system based on the circular economy concept Fuel, Volume 296, 2021

25	<p><b>Título:</b> Nutrient Recovery from Digestate: Systematic Technology Review and Product Classification</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
	<p><b>Autor(es):</b> Vaneekhaute, C., Lebuf, V., Michels, E., Belia, E., Vanrolleghem, P. A., Tack, F. M. G., &amp; Meers, E.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Vaneekhaute, C., Lebuf, V., Michels, E., Belia, E., Vanrolleghem, P. A., Tack, F. M. G., &amp; Meers, E. (2016). Nutrient Recovery from Digestate: Systematic Technology Review and Product Classification. <i>Waste and Biomass Valorization</i>, 8(1), 21–40. <a href="https://doi.org/10.1007/s12649-016-9642-x">https://doi.org/10.1007/s12649-016-9642-x</a></p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> Se toma en consideración la recuperación de nutrientes de los desechos biodegradables digeridos como productos comercializables los cuales han sido objeto de conversión como tarea para que las plantas de digestión anaeróbica cumplan con los impulsores regulatorios como con demandas del mercado mientras que al tiempo constituyen una fuente de ingresos internos. Se identifica el problema actual del incremento en los niveles de residuos electrónicos por lo que también se</p>		

identifica la posibilidad de que aquello pueda ser objeto de oportunidad económica. El objetivo de este estudio fue proporcionar una descripción general completa y una comparación crítica de las tecnologías disponibles / emergentes para la recuperación de nutrientes del digestato, y una clasificación de los productos finales resultantes de acuerdo con sus características fertilizantes.

**Contexto:** Este artículo se realiza en el marco de la actualidad en la medida en la que el aumento en niveles de toneladas que se desechan o se encuentran en disposición final de residuos electrónicos es de aspecto preocupante por lo que surge la necesidad de disponer múltiples soluciones y métodos que permitan la recuperación de los componentes de metales preciosos que se encuentran inmersos en este tipo de dispositivos.

**Palabras claves:** adsorción, depuración, aire ácido, fertilizantes, nitrógeno, fósforo, oro, nutrientes, biodegradables, digestato, cristalización de estruvita, amoníaco.

**Análisis interpretativo por el revisor:** Resulta importante toda vez que es una de las metodologías que pueden ser aplicables para la recuperación de metales pesados contenidos en los materiales que se encuentran inmersos en los dispositivos electrónicos que serán posteriormente enviados en la disposición final. Aquello entendiéndose técnicamente las etapas de implementación y desempeño técnico o aspectos de precipitación y cristalización; la eliminación de amoníaco y absorción por medio de depuradores de aire como tecnologías de recuperación.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Hou, D., Al-Tabbaa, A., Guthrie, P., Watanabe, K.: Sustainable waste and materials management: National policy and global perspective. Environ. Sci. Technol. 46(5), 2494–2495 (2012)

- EuropaBio: Building a Bio-Based Economy for Europe in 2020; Policy guide; EuropaBio: Brussels, Belgium, 2015; <http://www.bio-economy.net/reports/files/building-a-bio-based-economy-for-Europe-in-2020.pdf>
- Fenton, O., Uallachain, D.: Agricultural nutrient surpluses as potential input sources to grow third generation biomass (microalgae): a review. *Algal Res.* 1(1), 49–56 (2012)
- Vaneeckhaute, C., Meers, E., Michels, E., Ghekiere, G., Accoe, F., Tack, F.M.G.: Closing the nutrient cycle by using bio-digestion waste derivatives as synthetic fertilizer substitutes: a field experiment. *Biomass Bioenerg* 55, 175–189 (2013)

26	<p><b>Título:</b> Bioleaching of copper from electronic waste using <i>Acinetobacter</i> sp. Cr B2 in a pulsed plate column operated in batch and sequential batch mode</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
	<p><b>Autor(es):</b> Jagannath, A., Shetty K., V., &amp; Saidutta, M.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Jagannath, A., Shetty K., V., &amp; Saidutta, M. (2017). Bioleaching of copper from electronic waste using <i>Acinetobacter</i> sp. Cr B2 in a pulsed plate column operated in batch and sequential batch mode. <i>Journal of Environmental Chemical Engineering</i>, 5(2), 1599–1607. <a href="https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.02.023">https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.02.023</a></p>

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:** En el texto se pone de presente la alta cantidad de desechos electrónicos como las placas de circuito impreso en donde se encuentran múltiples minerales preciosos lo cual permite el uso de lo conocido como placas de circuito impreso como minerales artificiales. La recuperación de cobre de los desechos electrónicos tiene un doble beneficio en la conservación de los recursos metálicos y la superación del peligro ambiental debido a la acumulación de desechos electrónicos. En el estudio que se informa actualmente, un biorreactor de placas pulsadas en el que los espacios entre placas estaban empaquetados con material de desecho electrónico se empleó eficazmente para la biolixiviación de cobre a partir de desechos electrónicos utilizando *Acinetobacter.sp.* Cr B2.

**Contexto:** La presente investigación se presenta en el marco del estudio de factores que son significativamente importantes en los desechos electrónicos por medio del uso de la biolixiviación.

**Palabras claves:** *Acinetobacter sp.* Biolixiviación, Cobre, Residuos electrónicos, Modo de lote secuencial, Biorreactor de placas pulsadas.

**Análisis interpretativo por el revisor:** Es de tomar en consideración que en el texto referenciado la Biolixiviación de cobre a partir de desechos electrónicos utilizando el método de *Acinetobacter sp* es el mecanismo idóneo entendiendo que la mencionada es una bacteria heterotrófica. Es importante reconocer la utilización de un biorreactor de placas pulsadas para la biolixiviación. Por otra parte, el tamaño del inóculo, la carga de desechos electrónicos, la frecuencia y la amplitud influyen en la biolixiviación. Finalmente se podría identificar que el texto afirma que la biolixiviación de cobre del 23% en un solo lote y del 63% en el modo de lote secuencial. En consecuencia, se establece que el beneficio de recuperación de metales preciosos y menor riesgo de contaminación es el mecanismo idóneo para mitigar las consecuencias ambientalmente negativas de la disposición final de estos residuos.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Arshadi M., Pourhossein F., Mousavi S.M., Yaghmaei S. Green recovery of Cu-Ni-Fe from a mixture of spent PCBs using adapted *A. ferrooxidans* in a bubble column bioreactor *Separation and Purification Technology*, Volume 272, 2021
- Krishnan S., Zulkapli N.S., Kamyab H., Taib S.M., Din M.F.B.M., Majid Z.A., Chaiprapat S., Kenzo I., Ichikawa Y., Nasrullah M., Chelliapan S., Othman N. Current technologies for recovery of metals from industrial wastes: An overview *Environmental Technology and Innovation*, Volume 22, 2021
- Feng S., Yin Y., Yin Z., Zhang H., Zhu D., Tong Y., Yang H. Simultaneously enhance iron/sulfur metabolism in column bioleaching of chalcocite by pyrite and sulfur oxidizers based on joint utilization of waste resource *Environmental Research*, Volume 194, 2021.

27	<p><b>Titulo:</b> Life cycle assessment of thermal Waste-to-Energy technologies: Review and recommendations</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
<p><b>Autor(es):</b> Astrup, T. F., Tonini, D., Turconi, R., &amp; Boldrin, A.</p>		<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Astrup, T. F., Tonini, D., Turconi, R., &amp; Boldrin, A. (2015). Life cycle assessment of thermal Waste-to-Energy technologies: Review and recommendations. <i>Waste Management</i>, 37, 104–115.</p>

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:** Se realiza una revisión de artículos de revistas y estudios que establecen en detalle los aspectos de la evaluación del ciclo de vida. A partir de allí se entienden diferentes conclusiones, por una parte, se definen los objetivos y alcances, posteriormente los parámetros tecnológicos detallados para proseguir con los principios de modernización como el cálculo de energía / masa. Se destaca que la revisión sugiere claramente que la calidad de los estudios de LCA de tecnologías y sistemas WtE, incluida la recuperación de energía, puede mejorarse significativamente. Con base en la revisión, se proporciona una descripción detallada de los supuestos y las opciones de modelado en la literatura existente junto con recomendaciones prácticas para el ACV de última generación de conversión de residuos en energía. La revisión sugiere claramente que la calidad de los estudios de LCA de tecnologías y sistemas WtE, incluida la recuperación de energía, puede mejorarse significativamente. Con base en la revisión, se proporciona una descripción detallada de los supuestos y las opciones de modelado en la literatura existente junto con recomendaciones prácticas para el ACV de última generación de conversión de residuos en energía.

**Contexto:** Se revisan diversos artículos sobre la evaluación del ciclo de vida en donde se destacan los resultados más relevantes y se establecen conclusiones que en mayor sentido se logran identificar deficiencias y críticas en estudios para proseguir a relacionar recomendaciones para subsanar dichas falencias.

**Palabras claves:** Pérdida de energía, Residuos sólidos urbanos, Incineración, Tratamiento térmico, Energía, Evaluación del ciclo de vida

**Análisis interpretativo por el revisor:** Se consolida como una importante herramienta para establecer un parámetro de las metodologías aplicadas al respecto, así como la verificación de

la viabilidad aplicable a una o a otra. En esta revisión se muestra un panorama que logra proporcionar una descripción de los supuestos y opciones de los modelos existentes para posteriormente disponer de una serie de recomendaciones para el ciclo de vida de los productos.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Civancik-Uslu D., Nhu T.T., Van Gorp B., Kresovic U., Larrain M., Billen P., Ragaert K., De Meester S., Dewulf J., Huysveld S. Moving from linear to circular household plastic packaging in Belgium: Prospective life cycle assessment of mechanical and thermochemical recycling Resources, Conservation and Recycling, Volume 171, 2021.
- Jang E.-S., Song E., Zain Siddiqui M., Lim S.J., Shin G.H., Kim D., Kim Y.-M. The effect of seawater aging on the pyrolysis of fishing nets Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Volume 156, 2021.
- Alshehrei F., Ameen F. Vermicomposting: A management tool to mitigate solid waste Saudi Journal of Biological Sciences, Volume 28, 2021.

28	<p><b>Título:</b> Resource recovery and circular economy from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
<p><b>Autor(es):</b> Wainaina, S., Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Chen, H., Singh, E., Kumar, A., Ravindran, B., Awasthi, S. K., Liu, T., Duan, Y., Kumar, S., Zhang, Z., &amp; Taherzadeh, M. J.</p>		<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Wainaina, S., Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Chen, H., Singh, E., Kumar, A., Ravindran, B., Awasthi, S. K., Liu, T., Duan, Y., Kumar, S., Zhang, Z., &amp; Taherzadeh, M. J. (2020). Resource recovery and circular economy</p>

	<p>from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies.</p> <p><i>Bioresource Technology</i>, 301, 122778.</p> <p><a href="https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122778">https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122778</a></p> <p><a href="#">8</a></p>
--	--

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:** Con el aumento de la población humana, la recuperación de recursos de la corriente de desechos se está volviendo importante para una economía sostenible, la conservación del ecosistema y para reducir la dependencia de los recursos naturales finitos. En este sentido, una economía circular de base biológica considera los desechos y residuos orgánicos como recursos potenciales que pueden utilizarse para suministrar productos químicos, nutrientes y combustibles que necesita la humanidad. Esta revisión exploró el papel de las tecnologías de digestión aeróbica y anaeróbica para el avance de una sociedad circular de base biológica. Se discutieron las rutas desarrolladas dentro del dominio de la digestión anaeróbica, como la producción de biogás y otros químicos de alto valor (ácidos grasos volátiles). También se abordó el potencial para recuperar nutrientes importantes, como el nitrógeno, a través del compostaje.

**Contexto:** En el artículo se realiza la revisión en cuanto a la recuperación de recursos partiendo de residuos por medio de la economía bio circular. En este aspecto se encuentra aplicable la tecnología de digestión aeróbica y anaeróbica como un enfoque sostenible para la biorrefinería.

**Palabras claves:** Recuperación de recursos, Residuos sólidos orgánicos, Economía circular, Digestión anaeróbica, Compostaje.

**Análisis interpretativo por el revisor:** Independientemente de la aplicación de la digestión aeróbica y anaeróbica en residuos sólidos orgánicos cabe preguntarse si efectivamente esta digestión podría considerarse aplicable en la recuperación de elementos y componentes

electrónicos en donde se pueden sustraer metales preciosos como el oro, plata, cobre, entre otros.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Zheng Y., Quan X., Zhuo M., Zhang X., Quan Y. In-situ formation and self-immobilization of biogenic Fe oxides in anaerobic granular sludge for enhanced performance of acidogenesis and methanogenesis *Science of the Total Environment*, Volume 787, 2021
- Díaz A.I., Laca A., Díaz M. Fungal treatment of an effluent from sewage sludge digestion to remove recalcitrant organic matter *Biochemical Engineering Journal*, Volume 172, 2021
- Zulqarnain, Yusoff M.H.M., Ayoub M., Nazir M.H., Sher F., Zahid I., Ameen M. Solvent extraction and performance analysis of residual palm oil for biodiesel production: Experimental and simulation study *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Volume 9, 2021.

29	<p><b>Título:</b> Environmental pollution of electronic waste recycling in India: A critical review.</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
<p><b>Autor(es):</b> Awasthi, A. K., Zeng, X., &amp; Li, J.</p>		<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Awasthi, A. K., Zeng, X., &amp; Li, J. (2016). Environmental pollution of electronic waste recycling in India: A critical review. <i>Environmental Pollution</i>, 211, 259–270.</p> <p><a href="https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.11.027">https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.11.027</a></p>

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:** El crecimiento poblacional se encuentra directamente relacionado con el crecimiento productivo de los artículos y materiales electrónicos que contienen múltiples componentes como metales pesados. En este sentido la eliminación de los desechos electrónicos que ingresan a la India de manera irregular dificulta su eliminación lo cual representa un serio desafío ambiental. La mayoría de los desechos electrónicos se tratan de manera general o, a menudo, de manera burda mediante baños ácidos de combustión al aire libre, con la recuperación de solo unos pocos materiales de valor. Como resultado de estos procesos; Se liberan dioxinas, furanos y metales pesados que son dañinos para el medio ambiente circundante, trabajadores comprometidos y también residentes que habitan cerca de los sitios.

**Contexto:** Se realiza la revisión sistemática de las consecuencias ambientales por medio del reciclaje de desechos electrónicos en India y se encuentran metales pesados y potencialmente de cuidado en los sitios de reciclaje. Se aclara que el daño al cuerpo humano por medio de la exposición directa o indirecta puede acarrear consecuencias negativas.

**Palabras claves:** Residuos electrónicos, Contaminación ambiental, Metal pesado, India, Riesgo de salud.

**Análisis interpretativo por el revisor:** La gran cantidad de desechos ha llevado a acarrear múltiples consecuencias negativas que se encuentran de la mano con el crecimiento poblacional. Aquello establece la necesidad de disponer de medidas tendientes a la conservación medio ambiental por medio de las estrategias que verifiquen una economía circular por medio del aprovechamiento, especialmente al tratarse de residuos electrónicos debido a los componentes y metales que son de interés. Ahora bien, a pesar de que los metales pesados se encuentran presentes en tales desechos, ciertamente se debe dar cuenta de que estos también deben ser susceptibles de un tratamiento.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Wan R., Li X., Wang L., Yang G., Zheng X., Zha Y., Chen Y., Meng J. Ionic copper strengthens the toxicity of tetrabromobisphenol A (TBBPA) to denitrification by decreasing substrate transport and electron transfer *Journal of Hazardous Materials*, Volume 416, 2021
- Wang M., Zhao S., Wang L., Chen S., Li S., Lei X., Sun X., Qin L. Salt stress-induced changes in microbial community structures and metabolic processes result in increased soil cadmium availability *Science of the Total Environment*, Volume 782, 2021
- Rene E.R., Sethurajan M., Kumar Ponnusamy V., Kumar G., Bao Dung T.N., Brindhadevi K., Pugazhendhi A. Electronic waste generation, recycling and resource recovery: Technological perspectives and trends *Journal of Hazardous Materials*, Volume 416, 2021

30	<p><b>Titulo:</b> Comprehensive process for the recovery of value and critical materials from electronic waste</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
	<p><b>Autor(es):</b> Diaz, L. A., Lister, T. E., Parkman, J. A., &amp; Clark, G. G.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Diaz, L. A., Lister, T. E., Parkman, J. A., &amp; Clark, G. G. (2016). Comprehensive process for the recovery of value and critical materials from electronic waste. <i>Journal of Cleaner Production</i>, 125, 236–244. <a href="https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.061">https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.061</a></p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> El desarrollo de tecnologías que contribuyan a la eliminación y el tratamiento adecuados de los desechos electrónicos no</p>		

es solo una necesidad ambiental, sino una oportunidad para la recuperación y el reciclaje de metales valiosos y materiales críticos. Los elementos de valor en los desechos electrónicos incluyen oro, paladio, plata, cobre, níquel y elementos de tierras raras. Este artículo presenta una evaluación técnica de los pasos involucrados en un esquema que permite la recuperación eficiente de valor y materiales críticos de la electrónica móvil de desecho. Un proceso de recuperación electroquímica, basado en la regeneración del ión férrico como oxidante débil., está estudiado para la recuperación selectiva de metales básicos dejando los metales preciosos para su extracción por separado con una demanda química reducida. Un proceso separado recupera los óxidos de tierras raras de los imanes en la electrónica.

**Contexto:** Conforme al desarrollo tecnológico se entiende el aumento de desechos lo cual aumenta la necesidad de disponer medidas de tratamiento y eliminación. Por ello surge esta investigación que verifique la posibilidad de extraer metales preciados de los componentes electrónicos objeto de desecho.

**Palabras claves:** Residuos electrónicos, Reciclaje, Metales preciosos, Materiales críticos, Electrodeposición

**Análisis interpretativo por el revisor:** De este artículo habrá que destacar los eficientes resultados obtenidos en cuanto a la recuperación y extracción de los minerales que son de interés siendo el 90% de los metales se obtuvo a base de la fracción no ferromagnética en diferentes matrices de solución por medio del uso de ácido sulfúrico y ácido clorhídrico.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Yi-Kang Peng, Long-Long Sun, Wei Shi, Jia-Jie Long Investigation of enzymatic activity, stability and structure changes of pectinase treated in supercritical carbon dioxide Journal of Cleaner Production, Volume 125, 2016, pp. 331-340

- Nitin Dutt Chaturvedi, Zainuddin Abdul Manan, Sharifah Rafidah Wan Alwi, Santanu Bandyopadhyay Effect of multiple water resources in a flexible-schedule batch water network Journal of Cleaner Production, Volume 125, 2016, pp. 245-252
- Árpád Imre-Lucaci, Melinda Nagy, Florica Imre-Lucaci, Szabolcs Fogarasi Technical and environmental assessment of gold recovery from secondary streams obtained in the processing of waste printed circuit boards Chemical Engineering Journal, Volume 309, 2017, pp. 655-662

31	<p><b>Titulo:</b> Electrodialysis Applications in Wastewater Treatment for Environmental Protection and Resources Recovery: A Systematic Review on Progress and Perspectives.</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
	<p><b>Autor(es):</b> Gurreri, L., Tamburini, A., Cipollina, A., &amp; Micale, G.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Gurreri, L., Tamburini, A., Cipollina, A., &amp; Micale, G. (2020). Electrodialysis Applications in Wastewater Treatment for Environmental Protection and Resources Recovery: A Systematic Review on Progress and Perspectives. <i>Membranes</i>, 10(7), 146. <a href="https://doi.org/10.3390/membranes10070146">https://doi.org/10.3390/membranes10070146</a></p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> La electrodiálisis se ha probado de manera convencional para el tratamiento de procesos industriales en cuanto a los</p>		

efluentes en las plantas de tratamiento de agua residual municipal o agua salada.c Propiedades como la selectividad, la alta eficiencia de separación y el tratamiento libre de químicos hacen que los métodos de DE sean adecuados para la desalinización y otros tratamientos con importantes beneficios ambientales. Se ha dirigido una intensa actividad de investigación hacia el desarrollo de sistemas mejorados o novedosos, lo que demuestra que los enfoques de descarga de líquido nula o mínima pueden ser tecnológicamente asequibles y competitivos.

**Contexto:** Este artículo presenta una revisión de estudios sobre aplicaciones de electrodiálisis (ED) en el tratamiento de aguas residuales, destacando el estado actual y las perspectivas futuras. La DE es un proceso de separación de membranas bajo la acción de un campo eléctrico, donde los iones se transportan selectivamente a través de membranas de intercambio iónico.

**Palabras claves:** Proceso de electro membrana; reversión de electro diálisis; electrodiálisis de membrana bipolar; electrodiálisis; metátesis de electrodiálisis; electrodesionización; electrodiálisis inversa; membranas selectivas monovalentes; reutilización del agua; valorización de salmuera.

**Análisis interpretativo por el revisor:** Esta metodología no podría quizá destacarse en mayor medida, toda vez que se trata más que todo del tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, el transporte de iones podría ser significativamente importante para el curso del presente trabajo.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Ahirrao, S. Soluciones de descarga líquida cero. En Tratamiento, Reciclaje y Reutilización de Aguas Residuales Industriales; Butterworth-Heinemann: Oxford, Reino Unido, 2014; págs. 489–520. ISBN 9780444634030.
- Zhao, WY; Zhou, M .; Yan, B .; Sol, X .; Liu, Y .; Wang, Y .; Xu, T .; Zhang, Y. Conversión de residuos y recuperación de recursos de aguas residuales mediante

membranas de intercambio iónico: estado del arte y perspectiva. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2018 , 57 , 6025–6039

- Gurreri, L .; Cipollina, A .; Tamburini, A .; Micale, G. Electrodiálisis para el tratamiento de aguas residuales — Parte II: Efluentes industriales. En *Tendencias actuales y desarrollos futuros sobre (bio) membranas-tecnología de membranas para el tratamiento de agua y aguas residuales-Avances y procesos emergentes* ; Basile, A., Comite, A., Eds .; Elsevier: Amsterdam, Países Bajos, 2020; págs. 195–241. ISBN 9780128168233.
- Chen, Q.-B .; Ren, H .; Tian, Z .; Sun, L .; Wang, J. Conversión y preconcentración de la salmuera de rechazo de SWRO en sales líquidas de alta solubilidad (HSLs) mediante metátesis de electrodiálisis. *Sep. Purif. Technol.* 2019 , 213 , 587–598.
- Tian, H .; Wang, Y .; Pei, Y .; Crittenden, JC Aplicaciones únicas y mejoras de la electrodiálisis inversa: una revisión y una perspectiva. *Apl. Energy* 2020 , 262 , 114482.

32	<b>Título:</b> Resources Overview of solid waste.	<b>Tipo de documento:</b> Artículo
<b>Autor(es):</b> Zhou, X		<b>Referencia bibliográfica:</b> Zhou, X. (2016). Resources Overview of solid waste. <i>Proceedings of the 2016 6th International Conference on Machinery, Materials, Environment, Biotechnology and Computer.</i> Published. <a href="https://doi.org/10.2991/mmebc-16.2016.171">https://doi.org/10.2991/mmebc-16.2016.171</a>

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:** Los desechos sólidos son dañinos para los desechos humanos, pero también para el desarrollo y la utilización de recursos secundarios.

El reciclaje de desechos sólidos es el uso de material técnico apropiado y la recuperación de energía de los desechos sólidos y crear valor económico. No solo puede eliminar los desechos sólidos de manera efectiva, reducir la presión sobre el medio ambiente, el espacio del daño al medio ambiente circundante, también puede reutilizar los recursos útiles del mismo. El recurso de residuos sólidos es la práctica concreta del desarrollo de la economía circular, la realidad de China determina que el límite de recursos es una medida importante y la dirección de desarrollo de la gestión de residuos sólidos en China.

En la actualidad, la escasez de recursos per cápita genera problemas globales expuestos gradualmente y se vuelven cada vez más serios, por lo que promover el reciclaje de residuos sólidos no solo aumenta las necesidades de desarrollo económico y social, sino también una forma importante de proteger el medio ambiente y prevenir la contaminación.

**Contexto:** Básicamente intenta dar cuenta de las consecuencias ambientalmente negativas que podría traer la no recuperación de residuos sólidos generados diariamente considerando la posible sostenibilidad y rentabilidad de la misma.

**Palabras claves:** residuos sólidos, recurso, medio ambiente.

**Análisis interpretativo por el revisor:** Este documento describe el camino de la industrialización de varios residuos sólidos y la recuperación de residuos sólidos utilizando la industria tiene grandes ventajas en los recursos, se discutió la tecnología de recursos de residuos sólidos. Los desechos sólidos se conocen como los "recursos extraviados" debido a su alto valor de recuperación, si no se eliminan pueden causar muchos problemas ambientales, pero también un desperdicio de recursos.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Yifeng Sun, Yanyan Lin, Wenjuan Wang, Tianhua Xu, Tianyu Zhang, et al. The comprehensive utilization of solid waste. *Technology & Development of Chemical Industry*. Vol.41(2012)No.1, p.46-47.
- Xiaopeng Wang, et al. Formation of agricultural solid waste and resource utilization. *Animal Husbandry and Feed Science*. Vol.36(2015) No.1, p.65-67.
- Xiangyang Tang, Guotao Gao, Guirong Zhu, et al. Resource Analysis and Countermeasure of MSW. *China Environmental Protection Industry*. Vol.41(2010)No.1, p.45-48.
- Peng Wang, et al. Pollution prevention and recycling of electronic waste. *China Resources Comprehensive Utilization*. Vol.9(2005)No.9, p.30-34.

33	<p><b>Título:</b> A systematic review on life cycle assessment of different waste to energy valorization technologies.</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
	<p><b>Autor(es):</b> Dastjerdi, B., Strezov, V., Rajaeifar, M. A., Kumar, R., &amp; Behnia, M.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Dastjerdi, B., Strezov, V., Rajaeifar, M. A., Kumar, R., &amp; Behnia, M. (2021). A systematic review on life cycle assessment of different waste to energy valorization technologies. <i>Journal of Cleaner Production</i>, 290, 125747. <a href="https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125747">https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125747</a></p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> La selección e implementación de estrategias de gestión de desechos efectivas y eficientes se ha considerado ampliamente</p>		

como un tema de preocupación para el desarrollo sostenible. La evaluación del ciclo de vida (LCA) es el enfoque más común para evaluar los impactos ambientales de diferentes estrategias de gestión de residuos.

Las principales observaciones de la investigación se resumieron en consecuencia, y se obtuvieron conocimientos importantes en la revisión actual. Los resultados mostraron que el tratamiento de material de desecho específico con diversas tecnologías WtE puede afectar diferentes categorías de impacto ambiental de manera contradictoria. Por ejemplo, la digestión anaeróbica puede minimizar las consecuencias ambientales relacionadas con los desechos orgánicos en la mayoría de las categorías de impacto, pero no en las categorías de impacto de ecotoxicidad y toxicidad humana. Hubo un acuerdo general en los resultados sobre la preferencia de la incineración al vertido para el tratamiento de RSU. Además, los resultados del análisis de sensibilidad mostraron que los supuestos en sustitución de los productos WtE son la principal fuente de incertidumbre. En general, los resultados de los estudios de LCA confirman la aplicación de tecnologías WtE en una estrategia integrada de gestión de residuos.

**Contexto:** Este artículo presenta una revisión sistemática de estudios científicos de ACV que evalúan los impactos ambientales de las tecnologías de conversión de residuos en energía (WtE). Se siguió un protocolo de revisión sistemática de la literatura para caracterizar y evaluar críticamente la literatura publicada sobre las dimensiones ambientales de los estudios de LCA para WtE de 1981 a 2019 en términos de software, bases de datos, métodos de evaluación del impacto del ciclo de vida, impactos ambientales y fuente de incertidumbre.

**Palabras claves:** Pérdida de energía, Manejo sustentable de residuos, Evaluación del ciclo de vida, Análisis de sensibilidad, Valorización de residuos.

**Análisis interpretativo por el revisor:** En el trabajo se realizó un protocolo de revisión sistemática para evaluar la literatura publicada. Cada tecnología WtE puede minimizar los impactos ambientales de un residuo en particular. Los supuestos en sustitución de productos

WtE son la principal fuente de incertidumbre. Una gestión de residuos sostenible requiere emplear diversas tecnologías WtE.

**Referencias de interés que cita el autor:**

34	<p><b>Título:</b> Effectiveness of struvite precipitation and ammonia stripping for recovery of phosphorus and nitrogen from anaerobic digestate: a systematic review</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
	<p><b>Autor(es):</b> Lorick, D., Macura, B., Ahlström, M., Grimvall, A., &amp; Harder, R.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Lorick, D., Macura, B., Ahlström, M., Grimvall, A., &amp; Harder, R. (2020). Effectiveness of struvite precipitation and ammonia stripping for recovery of phosphorus and nitrogen from anaerobic digestate: a systematic review. <i>Environmental Evidence</i>, 9(1). <a href="https://doi.org/10.1186/s13750-020-00211-x">https://doi.org/10.1186/s13750-020-00211-x</a></p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> Se necesita un suministro regular de nutrientes como nitrógeno y fósforo a la agricultura para la seguridad alimentaria mundial, y un mayor reciclaje de nutrientes a la agricultura a partir de corrientes de desechos orgánicos es necesario para una mayor sostenibilidad rural-urbana. La digestión anaeróbica de lodos de depuradora y residuos agrícolas se aplica ampliamente para estabilizar el sustrato y capturar parte de su valor energético a través de la producción de biogás. El digestato</p>		

anaeróbico es una fuente concentrada de nutrientes a la que se pueden aplicar tecnologías de recuperación de nutrientes. Combinando tecnologías de digestión anaeróbica y recuperación de nutrientes en el digesto, se puede lograr tanto la recuperación de energía como de nutrientes. Dos tecnologías prometedoras que podrían aumentar el reciclaje de nutrientes de diferentes tipos de aguas residuales son la precipitación de estruvita y la extracción de amoníaco.

**Contexto:** Se realizaron búsquedas de literatura académica y gris publicada después de 2013. Se realizaron búsquedas en 5 bases de datos bibliográficas en inglés, en el motor de búsqueda Google Scholar en inglés, sueco, finlandés y polaco, y en una variedad de sitios web de organizaciones en inglés, sueco, finlandés y Polaco. La selección de elegibilidad se llevó a cabo en dos niveles: "título y resumen" y "texto completo". Los estudios elegibles incluidos se sometieron a una evaluación crítica que evaluó la validez del estudio externo e interno. Se extrajo información sobre las características del estudio, la intervención, los comparadores, los modificadores del efecto y los resultados medidos. La síntesis de datos incluyó la síntesis narrativa de cada estudio con suficiente validez. Realizamos síntesis cuantitativa en un subconjunto de estudios.

**Palabras claves:** Amoniaco, nutrientes, digestión anaeróbica, agricultura, tecnología, reciclaje, precipitación estruvita, extracción

**Análisis interpretativo por el revisor:** Cuando se realiza en las condiciones adecuadas (es decir, pH alrededor de 9.5 y proporción de Mg: PO<sub>4</sub> de al menos 1: 1), la evidencia disponible sugiere que la precipitación de estruvita es una tecnología efectiva para la recuperación de nutrientes de la fase líquida del digestato anaeróbico. . La base de pruebas es limitada para la extracción de amoníaco. Proporcionamos sugerencias sobre qué datos informar en estudios futuros.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Haddaway N, Macura B, Whaley P, Pullin A: diagrama de flujo ROSES para revisiones sistemáticas. Versión 1.0. 2017.
- Bohdziewicz J, Kuglarz M. Tratamiento de licores post-digestión con la aplicación de precipitación de estruvita y ósmosis inversa. Tratamiento de agua desalinizadora. 2013; 51 (1–3): 366–73.
- Haddaway N, Macura B, Whaley P, Pullin A: diagrama de flujo ROSES para revisiones sistemáticas. Versión 1.0. 2017.
- Macura B, Johannesdottir SL, Piniewski M, Haddaway NR, Kvarnström E. Eficacia de las ecotecnologías para la recuperación de nitrógeno y fósforo del digestato anaeróbico y eficacia de los productos de recuperación como fertilizantes: un protocolo de revisión sistemática. Environ Evid. 2019; 8 (1): 29.

35	<p><b>Título:</b> Microbial Recycling of Precious and Rare Metals Sourced from Post-Consumer Products</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
	<p><b>Autor(es):</b> Saitoh, N., Nomura, T., &amp; Konishi, Y.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Saitoh, N., Nomura, T., &amp; Konishi, Y. (2017). Microbial Recycling of Precious and Rare Metals Sourced from Post-Consumer Products. <i>Solid State Phenomena</i>, 262, 563–567.</p> <p><a href="https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.262.563">https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.262.563</a></p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> En este trabajo se han centrado en la bacteria reductora de metales, las algas <i>Shewanella</i>, que son capaces de reducir y</p>		

depositar metales del grupo del platino (Pt (IV), Pd (II) y Rh (III)) y oro (Au (III)) en soluciones neutras en temperatura ambiente en condiciones anaeróbicas. Cuando el procesamiento de la solución de agua regia de catalizadores de automoción usados, el pH de la solución se ajustó a la gama óptima para las algas actividad entre pH 4 y 7. Después de este ajuste del pH, el S. algas células pudieron reducir y acumular rápida y selectivamente los iones metálicos del grupo del platino de la solución de lixiviación en las células bacterianas como nanopartículas metálicas.

**Contexto:** Se trata de un procedimiento de lixiviación por medio del cual se utilizan algas en función de la recuperación de metales, en esta ocasión por medio de las algas *Sherwanella* que reducen metales del grupo del platino.

**Palabras claves:** Biomineralización, Biosorción, Microorganismo reductor de metales, Metales preciosos, Metales raros, Reciclaje, Algas *Shewanella*.

**Análisis interpretativo por el revisor:** El procedimiento biotecnológico también tiene el potencial de permitir la recuperación de iones Au (III) de la solución de lixiviación de desechos electrónicos. También se encontró que los S. Las células de algas también eran aplicables a la adsorción de iones de metales raros a partir de soluciones ácidas. Hemos logrado adsorción selectiva de indio (In (III)) iones en las células bacterianas a partir de la solución de lixiviación de pantallas de cristal líquido de desecho mediante el ajuste de su pH, porque cobre necesario, el pH de S. algas actuar como un adsorbente eficaz difiere para diferentes iones metálicos. Nuestros métodos microbianos propuestos permiten la recuperación rápida y altamente eficiente de metales preciosos y raros obtenidos de productos posconsumo.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- R Lloyd, DL Lovley, LE Macaskie, Aplicación biotecnológica de microorganismos reductores de metales, *Adv. Apl. Microbiol.* 53 (2003), 85-128.

- T. Ogi, R. Honda, K. Tamaoki, N. Saitoh, Y. Konishi, Síntesis directa a temperatura ambiente de un catalizador de nanopartículas de Pd altamente disperso y sus propiedades eléctricas en una celda de combustible, Powder Technol. 205 (2011) 143-148. DOI: 10.1016 / j.powtec.2010.09.004
- Y. Konishi, T. Tsukiyama, K. Ohno, N. Saitoh, T. Nomura, S. Nagamine, Recuperación intracelular de oro por reducción microbiana de iones AuCl<sub>4</sub><sup>-</sup> usando la bacteria anaerobia Shewanella algae, Hydrometalurgia 81 (2006) 24-29. DOI: 10.1016 / j.hydromet.2005.09.006
- Y. Konishi, K. Ohno, N. Saitoh, T. Nomura, Y. Takahashi, T. Uruga, Deposición biorreductora de nanopartículas de platino en la bacteria Shewanella algae, J. Biotechnol. 128 (2007) 648-653. DOI: 10.1016 / j.jbiotec.2006.11.014

36	<p><b>Titulo:</b> Third generation in bio-electrochemical system research – A systematic review on mechanisms for recovery of valuable by-products from wastewater</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
	<p><b>Autor(es):</b> Jadhav, D. A., Ghosh Ray, S., &amp; Ghangrekar, M. M.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Jadhav, D. A., Ghosh Ray, S., &amp; Ghangrekar, M. M. (2017). Third generation in bio-electrochemical system research – A systematic review on mechanisms for recovery of valuable by-products from wastewater. Renewable and</p>

Sustainable Energy Reviews, 76, 1022–1031.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.096>

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:** El sistema bioelectroquímico (BES) se centró principalmente en la generación de bioenergía en forma de metano y biohidrógeno mientras se trataban las aguas residuales en una cámara anódica. El potencial de BES para producir sustancias químicas intermitentes y derivados de alto valor se ha explorado intensamente desde la última década mediante la adopción de cinéticas de reacción modificadas. Este artículo de revisión trata sobre el mecanismo de recuperación de recursos y subproductos durante las reacciones redox en BES. El BES ofrece una plataforma flexible para procesos de oxidación y reducción. El desarrollo de BES para la síntesis de productos a través de la vía bioelectroquímica ha ampliado enormemente el nuevo horizonte en la investigación de la bioenergía. Celda de combustible microbiana y celda de electrólisis microbiana, las dos variantes principales de BES, son útiles para convertir la energía presente en las aguas residuales para recuperar recursos como bioelectricidad, hidrógeno, nutrientes, metales pesados, minerales y productos químicos industriales. Así, luego de

**Contexto:** Se trata de la recuperación de subproductos y metales pesados por medio de la implementación de sistemas bioelectroquímicos en el tratamiento de aguas residuales.

**Palabras claves:** Sistema bio electroquímico, Recuperación de subproductos, Recuperación de metales pesados, Pilas de combustible microbianas, Reacciones redox, Tratamiento de aguas residuales

**Análisis interpretativo por el revisor:** Al mejorar el desempeño de BES, ampliando el alcance de la recuperación de productos desarrollando una mejor comprensión del proceso y con esfuerzos para reducir su costo de producción, puede convertirse en una tecnología sustentable para el tratamiento de aguas residuales con ventaja adicional de recuperación de recursos y bio. -generación de energía.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Nisrine Kebir, Mohamed Maaroufi Technical losses computation for short-term predictive management enhancement of grid-connected distributed generations Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 76, 2017, pp. 1011-1021
- Shiqiang Zou, Mohan Qin, Yann Moreau, Zhen He Nutrient-energy-water recovery from synthetic sidestream centrate using a microbial electrolysis cell - forward osmosis hybrid system Journal of Cleaner Production, Volume 154, 2017, pp. 16-25
- P.P. Rajesh, D.A. Jadhav, M.M. Ghangrekar Improving performance of microbial fuel cell while controlling methanogenesis by Chaetoceros pretreatment of anodic inoculum Bioresource Technology, Volume 180, 2015, pp. 66-71

37	<p><b>Título:</b> Electrochemical recovery and high value-added reutilization of heavy metal ions from wastewater: Recent advances and future trends</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
	<p><b>Autor(es):</b> Yang, L., Hu, W., Chang, Z., Liu, T., Fang, D., Shao, P., Shi, H., &amp; Luo, X.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Yang, L., Hu, W., Chang, Z., Liu, T., Fang, D., Shao, P., Shi, H., &amp; Luo, X. (2021). Electrochemical recovery and high value-added reutilization of heavy metal ions from wastewater: Recent advances and future trends. <i>Environment International</i>, 152, 106512. <a href="https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106512">https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106512</a></p>

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:** Como método controlable y respetuoso con el medio ambiente, las tecnologías electroquímicas han ganado recientemente una atención significativa. Sin embargo, existe una falta de resumen sistemático y orientado a objetivos de las técnicas de recuperación de metales electroquímicos, lo que ha inhibido la aplicación optimizada de estos métodos. Esta revisión tiene como objetivo los avances recientes en las técnicas de recuperación de metales electroquímicos, mediante la comparación de diferentes métodos de recuperación electroquímica, los intentos de apuntar al reciclaje de los recursos de metales pesados minimizando el consumo de energía, aumentando la eficiencia de recuperación y realizando la aplicación comercial. En esta revisión, diferentes métodos de recuperación electroquímica (incluida la recuperación por adsorción E, la recuperación por oxidación E, la recuperación por reducción E, y E-recuperación por precipitación) para la recuperación de metales pesados, seguido de un análisis de sus correspondientes mecanismos, factores de influencia y eficiencias de recuperación.

**Contexto:** El tratamiento de aguas residuales para los metales pesados está pasando de la remediación de la contaminación a la recuperación de recursos.

**Palabras claves:** Metales pesados, Electroquímica, Recuperación, Transferencia de masa, Valor añadido

**Análisis interpretativo por el revisor:** Se discuten las direcciones más prometedoras para la recuperación electroquímica de metales pesados junto con los desafíos y las oportunidades futuras de la tecnología electroquímica en el reciclaje de metales pesados de las aguas residuales. La eficiencia de transferencia de masa se puede promover aún más mediante la optimización de electrodos y reactores, y se podrían utilizar múltiples tecnologías (fotoelectroquímica y sonoelectroquímica) para mejorar sinérgicamente las eficiencias de recuperación.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Almazán-Ruiz et al., 2012 FJ Almazán-Ruiz, FV Caballero, MR Cruz-Díaz, EP Rivero González, I. Escalado de reactor electroquímico de electrodo de cilindro rotatorio para recuperación de Cu (II): Estudio experimental y de simulación en régimen de turbulencia *Electrochim. Acta*, 77 (2012), págs. 262 - 271, 10.1016 / j.electacta.2012.06.003
- M. Dai, M. Zhang, L. Xia, Y. Li, Y. Liu, S. Song Combined electrosorption and chemisorption of As(V) in water by using Fe-rGO@AC electrode *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 5 (8) (2017), pp. 6532-6538, 10.1021/acssuschemeng.7b00633
- Q. Ji, D. Yu, G. Zhang, H. Lan, H. Liu, J. Qu Microfluidic flow through polyaniline supported by lamellar-structured graphene for mass-transfer-enhanced electrocatalytic reduction of hexavalent chromium *Environ. Sci. Technol.*, 49 (2015), pp. 13534-13541, 10.1021/acs.est.5b03314
- W. Lai, K. Zhang, P. Shao, L. Yang, L. Ding, S.G. Pavlostathis, H. Shi, L. Zou, D. Liang, X.B. Luo Optimization of adsorption configuration by DFT calculation for design of adsorbent: A case study of palladium ion-imprinted polymers *J. Hazard. Mater.*, 379 (2019), p. 120791, 10.1016/j.jhazmat.2019.120791

38	<p><b>Título:</b> Electronic Waste- A Journey from Global Menace to Wealth Generation by its Effective Management Strategy</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
	<p><b>Autor(es):</b> Kumari, R., Karthaka, P. P., &amp; Rajan, A. P.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Kumari, R., Karthaka, P. P., &amp; Rajan, A. P. (2019). Electronic Waste-A Journey from Global</p>

	<p>Menace to Wealth Generation by its Effective Management Strategy. <i>Research Journal of Pharmacy and Technology</i>, 12(2), 848. <a href="https://doi.org/10.5958/0974-360x.2019.00146.x">https://doi.org/10.5958/0974-360x.2019.00146.x</a></p>
--	--

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:** Se espera que los desechos electrónicos aumenten hasta un 300% para el año 2020. Un país en desarrollo como India produce alrededor de 11,000-15,000 toneladas de desechos electrónicos al año. Los desechos electrónicos no solo causan serios peligros para la salud, sino también efectos ambientales nocivos y duraderos debido a los xenobióticos y metales pesados integrados en ellos.

**Contexto:** Los desechos electrónicos también tienen varios metales económicamente útiles como el cobre, el aluminio, el acero, el oro, la plata y el platino. La falta de tecnología para aprovechar estos metales beneficiosos conduce a la exportación de desechos electrónicos de los países en desarrollo a Singapur, Bélgica y Japón para su procesamiento, lo que indica sin lugar a dudas que el principal impulsor económico del reciclaje de desechos electrónicos proviene de la recuperación de metales preciosos.

**Palabras claves:** En pocas palabras, llegamos a la conclusión de que los desechos electrónicos son un mal inevitable. Toda investigación debe conducir a una solución práctica para un problema, por lo tanto, hemos realizado un análisis crítico de los pros y los contras de la gestión de residuos electrónicos existente y proponemos dos métodos efectivos para gestionar los residuos electrónicos, primero es el reciclaje efectivo (desmontaje, mejora y refinación) y el segundo es la biolixiviación utilizando varios microbios como *Acidithiobacillus* sp.

**Análisis interpretativo por el revisor:** El vacío en la gestión judicial y el último desarrollo en la recuperación de metales a partir de desechos electrónicos ha sido superado por esta revisión. Los procesos industriales y factibles involucrados en la recuperación de metales son

métodos pirometalúrgicos, métodos hidrometalúrgicos (lixiviación ácida, lixiviación con cianuro, lixiviación con tiourea y lixiviación con tiosulfato), proceso de bio-metalurgia, lixiviación bacteriana (mecanismo directo e indirecto por vía del tiosulfato y vía del polisulfuro) y lixiviación por hongos. se elaboran en esta revisión.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Ilyas S, Anwar MA, Niazi SB. Bioleaching of Metals from Electronic Scrap by Moderately Thermophilic Acidophilic Bacteria. *Hydrometallurgy*. 2007; (88):180–188.
- Anand PR, Chandra PG, Amudha J. Study on Consortium of Bacteria in Chromium Laden Aquatic Ecosystem of India. *International Journal of Institutional Pharmacy and Life Sciences*. 2012; (2):161-123.
- Hendrawan VF, Purwantari KE, Wajdi SA, Zulfarniasyah AB, Putri AS, Rahmawati MA, Al-Ilmi MF. Histopathologic Changes in Liver Tissue from Cadmium Intoxicated Mice and Treated with Curcumin during Pregnancy. *Research Journal of Pharmacy and Technology*. 2018; (3): 863-866.
- Adhikari DD, Das S. Role of Zinc Supplementation in the Outcome of Repeated Acute Respiratory Infections in Indian Children: A Randomized Double blind Placebo-Controlled Clinical Trial. *Research Journal of Pharmacy and Technology*. 2016; (9): 457-458.

39	<p><b>Título:</b> Enhancing gold recovery from electronic waste via lixiviant metabolic engineering in <i>Chromobacterium violaceum</i></p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
----	---	---

<p><b>Autor(es):</b> Tay, S. B., Natarajan, G., Rahim, M. N. B. A., Tan, H. T., Chung, M. C. M., Ting, Y. P., &amp; Yew, W. S.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Tay, S. B., Natarajan, G., Rahim, M. N. B. A., Tan, H. T., Chung, M. C. M., Ting, Y. P., &amp; Yew, W. S. (2013). Enhancing gold recovery from electronic waste via lixiviant metabolic engineering in <i>Chromobacterium violaceum</i>. <i>Scientific Reports</i>, 3(1). <a href="https://doi.org/10.1038/srep02236">https://doi.org/10.1038/srep02236</a></p>
<p><b>Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:</b> Los métodos convencionales de lixiviación (extracción) para la recuperación de oro a partir de desechos electrónicos implican el uso de ácidos fuertes y representan una amenaza considerable para el medio ambiente. El uso alternativo de microbios de biolixiviación para la recuperación de oro no es contaminante y se basa en la secreción de un lixivante o (bioquímico como el cianuro para la extracción de oro de los desechos electrónicos. Sin embargo, el uso industrial generalizado de microbios de biolixiviación se ha visto limitado por las capacidades cianogénicas limitadas de los microorganismos productores de lixiviantes como <i>Chromobacterium violaceum</i>.</p>	
<p><b>Contexto:</b> Se evidencia la construcción de una cepa de <i>Chromobacterium violaceum</i> diseñada metabólicamente que produce más (70%) de lixivante de cianuro y recupera más del doble de oro de los desechos electrónicos en comparación con las bacterias de tipo salvaje.</p>	
<p><b>Palabras claves:</b> Biolixiviación, cianogénesis, metabólico, lixivante, microbios, metales, desechos electrónicos, <i>chromobacterium violaceum</i>, cianuro.</p>	
<p><b>Análisis interpretativo por el revisor:</b> Los análisis comparativos de proteomas sugirieron la posibilidad de una mejora adicional en la cianogénesis mediante la ingeniería metabólica posterior. Los resultados demostraron la utilidad de la ingeniería metabólica lixivante en la</p>	

construcción de microbios de biolixiviación mejorados para la biolixiviación de metales preciosos a partir de desechos electrónicos.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- Carepo, M. S. et al. Identification of *Chromobacterium violaceum* genes with potential biotechnological application in environmental detoxification. *Genetics and molecular research : GMR* 3, 181–194 (2004).
- Kita, Y., Nishikawa, H. & Takemoto, T. Effects of cyanide and dissolved oxygen concentration on biological Au recovery. *J Biotechnol* 124, 545–551 (2006).
- Hagelüken, C. Recycling of electronic scrap at Umicore's integrated metals smelter and refinery. *World of Metallurgy – ERZMETALL* 59, 152–161 (2006).
- The complete genome sequence of *Chromobacterium violaceum* reveals remarkable and exploitable bacterial adaptability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100, 11660–11665 (2003).

40	<p><b>Titulo:</b> Review on <i>Chromobacterium Violaceum</i> for Gold Bioleaching from E-waste</p>	<p><b>Tipo de documento:</b> Artículo</p>
<p><b>Autor(es):</b> Liu, R., Li, J., &amp; Ge, Z.</p>		<p><b>Referencia bibliográfica:</b> Liu, R., Li, J., &amp; Ge, Z. (2016). Review on <i>Chromobacterium Violaceum</i> for Gold Bioleaching from E-waste. <i>Procedia Environmental Sciences</i>, 31, 947–953.  <a href="https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.02.119">https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.02.119</a></p>

**Principales ideas y postulados teóricos que propone el texto:** Los desechos electrónicos, como las placas de circuitos impresos, son un recurso secundario importante si se procesan con tecnologías respetuosas con el medio ambiente para la obtención de metales preciosos, como el oro. La biolixiviación de oro a partir de desechos electrónicos recibió recientemente una atención atractiva porque su depósito disponible es limitado. Esta revisión se centró en *Chromobacterium violaceum* (*C. Violaceum*), que era un anaerobio mesófilo, gramnegativo y facultativo. *C. violaceum* tiene la capacidad de producir CN, que puede disolver el oro de las partículas metálicas de las placas de circuito impreso de desechos triturados.

**Contexto:** Se trata básicamente de la recuperación de oro por medio del método de biolixiviación de desechos electrónicos por medio de *chromobacterium violaceum*.

**Palabras claves:** *Chromobacterium violaceum*, Residuos electrónicos, recuperación de oro, lixiviación, cianuro

**Análisis interpretativo por el revisor:** Este artículo también proporcionó una descripción general del mecanismo de generación de cianuro y las condiciones óptimas para *C. violaceum*. para lograr la máxima cantidad de generación de cianuro. Se compararon los logros pasados y el escenario reciente de los estudios de recuperación realizados sobre el uso de algunos otros microorganismos con *C. violaceum*. Y recientemente, algunos investigadores propusieron combinar *C. violaceum* con métodos químicos u otros mecanismos como el yoduro, *Pseudomonas aeruginosa* y *Pseudomonas fluorescens* que pueden reforzar la generación de cianuro y mejorar la eficiencia de la lixiviación del oro. Los factores que afectaron a los microorganismos en la generación de cianuro se resumieron y las condiciones adecuadas también se discutieron en este artículo. Y las investigaciones actuales de *C. violaceum* en la biolixiviación de oro había avanzado mucho y la eficiencia de lixiviación de oro informada era superior al 70%.

**Referencias de interés que cita el autor:**

- T.D. Chi, J. Lee, B.D. Pandey, et al Bioremediation of gold and copper from waste mobile phone PCBs by using a cyanogenic bacterium *Miner Eng*, 24 (11) (2011), pp. 1219-1222.
- M.A. Faramarzi, M. Stagers, E. Pensini, et al. Metal solubilization from metal-containing solid materials by cyanogenic *Chromobacterium violaceum* *J Biotechnol*, 113 (1) (2004), pp. 321-326.
- S. Ilyas, J. Lee, R. Chi Bioremediation of metals from electronic scrap and its potential for commercial exploitation *Hydrometallurgy*, 131 (2013), pp. 138-143
- O. May, S. Jin, E. Ghali, et al. Effects of sulfide and lead nitrate addition to a gold cyanidation circuit using potentiodynamic measurements *J Appl Electrochem*, 35 (2) (2005), pp. 131-137.

*Anexo 2. Base de datos*

<b>Base de datos Sistematización de la Información Recolectada</b>							
<b>Título</b>	<b>Autor(es)</b>	<b>Año</b>	<b>País</b>	<b>Metodología</b>	<b>Parámetro Analizado</b>	<b>Área del conocimiento</b>	<b>Base de datos</b>
RECUPERACIÓN DE COBRE DE CIRCUITOS IMPRESOS Y OTROS RESIDUOS ELECTRÓNICOS	José Francisco Pérez González y Zeferino Gamiño Arroyo	2016	México	Lixiviación y extracción líquido-líquido	Recuperación de cobre de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Utilización de métodos de lixiviación y extracción líquido-líquido. Concentraciones del extractante comercial. Residuos de placas de circuitos impresos. Los RAEE contienen	Ingeniería Química	Google Scholar

					<p>metales pesados como berilio, cromo, cadmio, arsénico, selenio, antimonio, mercurio y plomo, además de oro, plata y cobre.</p> <p>Los RAEE contienen metales preciosos y cobre, representando el 95% de su valor total.</p>		
<p>Efecto de los metales pesados cadmio y níquel sobre la producción de metano de un lodo anaerobio a escala de laboratorio.</p>	<p>Beatriz Amparo Wills, Camilo Castro, James</p>	<p>2005</p>	<p>Colombia</p>	<p>Biotecnología Anaeróbica</p>	<p>los tratamientos biológicos anaerobios se consideran mejores que los aerobios</p> <p>Nivel de toxicidad del níquel y cadmio</p> <p>La presencia de estos</p>	<p>Ingeniería Química</p>	<p>Google Scholar</p>

	Londoño, Felipe Morales				metales pesados debe ser en cantidades micro Biodegradabilidad del sustrato y ensayo de toxicidad		
Bioprecipitación de metales pesados en un reactor de lecho de lodos anaerobios de flujo ascendente	Marcela Alejandra Castillo Félix	2016	Mexico	Bioprecipitación - Lodos anaerobios de flujo ascendente.	Los metales pesados no pueden ser degradados, son inmovilizados para separarlos de la fuente. Los metales pesados pueden persistir durante décadas en el ambiente. Es necesario la aplicación de un pretratamiento para la reducción de sólidos en suspensión.	Ingeniería Química	Repositorio Institucional UNISON

					<p>El tratamiento primario involucra la separación del material insoluble.</p> <p>Una desventaja del reactor UASB es que los precipitados metálicos dentro del reactor son difíciles de remover.</p> <p>Es necesario trabajar en dos etapas el proceso, una donde se lleve a cabo la sulfato-reducción y otra la precipitación.</p>		
--	--	--	--	--	---	--	--

<p>Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana</p>	<p>Rosa Olivia Cañizares - Villanueva</p>	<p>2000</p>	<p>México</p>	<p>Bisorción</p>	<p>Variedad de levaduras, hongos, algas, bacterias y cierta flora acuática tienen la capacidad de concentrar los metales a partir de soluciones acuosas diluidas y de acumularlas dentro de la estructura microbiana. Los procesos más eficientes para la recuperación de metales son: biosorción y bioprecipitación. Los mecanismos moleculares que determinan la toxicidad de</p>	<p>Microbiología</p>	<p>Medigraphic - Revista Latinoamericana de Microbiología</p>
--	---	-------------	---------------	------------------	---	----------------------	---

					<p>los metales pesados se encuentran:</p> <p>El desplazamiento de iones metálicos esenciales de biomoléculas y bloqueo de sus grupos funcionales.</p> <p>modificación de la conformación activa de biomoléculas, especialmente enzimas y polinucleótidos.</p> <p>ruptura de la integridad de biomoléculas.</p> <p>modificación de otros agentes biológicamente activos.</p>		
--	--	--	--	--	---	--	--

					Los metales pesados son los contaminantes inorgánicos más importantes en el ambiente.		
--	--	--	--	--	---	--	--

<p>Diseño del proceso de recuperación de metales de procesadores y tarjetas de circuitos impresos de computadoras descartadas mediante lixiviación en columna.</p>	<p>Ricardo Andrés Montero Bermúdez</p>	<p>2012</p>	<p>Ecuador</p>	<p>Lixiviación en Columna</p>	<p>Se utilizaron procesadores y circuitos impresos de computadores obsoletos y se analizaron parámetros como el tamaño de las partículas, flujo de lixiviantes y agentes lixiviantes. Se muestra por tanto, la posibilidad de crear una planta de reciclaje de PCBs a pequeña escala conforme a los valores obtenidos.</p>	<p>Ingeniería Química</p>	<p>Repositorio Digital EPN</p>
--	--	-------------	----------------	-----------------------------------	--	-------------------------------	------------------------------------

<p>Innovación del Proceso de Recuperación de Oro Contenido en Residuos Electrónicos</p>	<p>Yajhayra Zuriely Hernández Vega</p>	<p>2018</p>	<p>México</p>	<p>Lixiviación dinámica</p>	<p>La autora encuentra su fundamentación en la generación desmedida del consumo de aparatos electrónicos teniendo en consideración la corta vida útil de los mismos lo que contribuye a aumentar significativamente los residuos de este tipo. Entendiendo esto como problemática ambiental se denota la cantidad de metales nobles y no nobles como las contenidas en circuitos impresos</p>	<p>Ingeniería Química</p>	<p>google Scholar</p>
---	--	-------------	---------------	---------------------------------	---	-------------------------------	-----------------------

					entendiendo metales como el oro, la plata y el cobre, entre otros lo cual comercialmente podría ser más atractivo.		
Desarrollo de metodología no convencional para la recuperación de metales presentes en los residuos electrónicos	Sergio Diaz Perez	2019	Jamaica	Lixiviación por medio de microfluorescencia de rayos X	El autor presenta el desarrollo de una metodología, que presuntamente, no es convencional que se encuentra en plena capacidad de que se extraigan metales preciosos que conforman	Ingeniería Química	google Scholar

					la estructura de la mayor parte de los residuos electrónicos como lo son los circuitos impresos y demás. A partir de allí se realiza el ensayo propuesto, el cual se compone de diversas etapas como selección, separación de muestras, caracterización y lixiviación de elementos.		
--	--	--	--	--	---	--	--

<p>PLANTAS Y MICROORGANISMOS ÚTILES EN LA RECUPERACIÓN DE METALES PROVENIENTES DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS</p>	<p>Dra. Maria Esther Díaz Martínez</p>	<p>2019</p>	<p>México</p>	<p>Fitoextracción y biolixiviación</p>	<p>e prevé la necesidad de evaluar la recuperación de metales provenientes de placa de circuito impreso de los residuos electrónicos por medio de microorganismos y para ello se tomó como método la biolixiviación para hongos y bacterias probando tres metodologías para evaluar la fitoextracción y biolixiviación.</p>	<p>Ingeniería Química</p>	<p>Science Direct</p>
---	--	-------------	---------------	--	---	-------------------------------	-----------------------

RECUPERACIÓN DE ORO A PARTIR DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS	Claudia Paty Pacosillo	2012	Bolivia	Fusión por copelación	Este trabajo se realiza en el marco de la presentación de una tesis tendiente a verificar la posibilidad de extraer el oro de materiales desechados electrónicos. Aquello hace parte del trabajo de grado en licenciatura de una universidad denominada San Andrés de Bolivia.	Ingeniería Química	Science Direct
RECUPERACIÓN DE COBRE A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE TARJETAS DE	Mariana Vargas Muñoz	2017	Colombia	Hidrometalúrgi ca	Se mencionó como metodología la de hidrometalúrgica en razón de recuperar cobre de las tarjetas de circuitos	Ingeniería Química	Escuela de Ingeniería Eafit

<p>CIRCUITOS INTEGRADOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS</p>					<p>integrados TCI de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos RAEE por medio de una solución lixivante básica realizada con amoniaco, carbonato de amonio y sulfato de cobre.</p>		
<p>Modelo Para La Gestión Integral De Rae (Residuos En Aparatos Eléctricos Y Electrónicos) En La Arb (Asociación De</p>	<p>Niño, J. M., Bermudez, S., &amp; Duque, M. E.</p>	<p>2014</p>	<p>Colombia</p>	<p>Articulo Informativo</p>	<p>El trabajo realizado por la Asociación de Recicladores de Bogotá se conecta directamente con la recuperación de los componentes que se encuentran inmersos como son los metales preciosos.</p>	<p>Ingeniería Ambiental</p>	<p>Google Scholar</p>

Recicladores De Bogotá)							
EVALUACIÓN DE UN PROCESO DE RECUPERACIÓN DE UNO DE LOS METALES PRESENTES EN LAS TARJETAS DE CIRCUITOS IMPRESOS	Juan Felipe Villalobos	2017	Colombia	Lixiviación ácida usando H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .	Se sometieron unas tarjetas de circuitos impresos a un procedimiento de limpieza y desensamble de componentes electrónicos que se encontraban inmersos en estas por lo que se realiza una reducción del tamaño de partícula de las tarjetas en donde se obtiene un	Ingeniería Química	Google Scholar

					material particulado de casi 700 gramos.		
Recuperación simultánea de Ni y Cu de placas de circuitos impresos por computadora mediante biolixiviación: evaluación estadística y optimización.	Arshadi, M., & Mousavi, S.	2014	Iran	Biolixiviación	En este trabajo se realizó un cultivo puro de Acidithiobacillus ferrooxidans en función de lixiviar metales como el níquel de desechos electrónicos o de placas de circuito impreso.	Ingeniería Química	Science Direct

<p>Recuperación biológica y electroquímica de metales críticos y escasos</p>	<p>Nancharaiah, Y. V., Venkata Mohan, S., &amp; Lens, N. L.</p>	<p>2016</p>	<p>Estados Unidos</p>	<p>Biolixiviación</p>	<p>El trabajo realiza una fase experimental en donde evidencia la importancia de realizar un tratamiento de aguas residuales que espera arroje beneficiosos resultados en la extracción de metales escasos por medio del uso de la biotecnología y microorganismos considerados valiosos en la recuperación de estos metales.</p>	<p>Ingeniería Ambiental</p>	<p>Google Scholar</p>
--	---	-------------	-----------------------	-----------------------	---	-----------------------------	-----------------------

<p>Una revisión de la recuperación de metales a partir de residuos industriales.</p>	<p>Jadhav, U., &amp; Hocheng, H.</p>	<p>2012</p>	<p>Taiwan</p>	<p>Lixiviación, pirometalurgia, hidrometalurgia, biohidrometalurgia.</p>	<p>Se comienzan a analizar metodologías como la Pirometalurgia, hidrometalurgia y la biohidrometalurgia en donde se establecen sus beneficios y debilidades en su aplicación por diferentes situaciones económicas y medioambientales para su elección.</p>	<p>Ingeniería de Fabricación</p>	<p>Semanticscholar</p>
--	--------------------------------------	-------------	---------------	--	---	----------------------------------	------------------------

<p>Biolixiviación de metales a partir de desechos electrónicos por <i>Chromobacterium violaceum</i> y <i>Pseudomonads</i> sp.</p>	<p>Pradhan, J. K., &amp; Kumar, S.</p>	<p>2012</p>	<p>India</p>	<p>Biolixiviación</p>	<p>Se usaron cultivos simples y mixtos de bacterias cianogénicas en donde se logró movilizar metales de desechos electrónicos con eficiencias distintas.</p> <p><i>"Pseudomonas aeruginosa</i> aplicó en el proceso de biolixiviación por primera vez y con ello logró su capacidad de biolixiviación de movilización de metales a partir de desechos electrónicos.</p> <p><i>Chromobacterium</i></p>	<p>Ingeniería Química</p>	<p>Google Scholar</p>
---	--	-------------	--------------	-----------------------	---	---------------------------	-----------------------

					<i>violaceum como cultivo único y una mezcla de C. violaceum y P. aeruginosa exhibieron la máxima movilización de metales.</i>		
DESARROLLO DE PROCESOS PARA LA RECUPERACIÓN DE MATERIALES CRÍTICOS A PARTIR DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS.	Lister, TE; Díaz, LA; Clark, GG; Keller, P.	2016	Estados Unidos	Artículo Informativo	Se realiza una evaluación de carácter económica sobre la recuperación de metales básicos y metales preciosos contenidos en los desechos electrónicos.	Economía	Google Scholar

<p>Recuperación de recursos de aguas residuales por tecnologías biológicas: oportunidades, desafíos y perspectivas.</p>	<p>Puyol, D., Batstone, D. J., Hülsen, T., Astals, S., Peces, M., &amp; Krömer, J. O.</p>	<p>2017</p>	<p>Australia</p>	<p>Articulo Informativo</p>	<p>Se trata de la identificación de tecnologías que permitan la recuperación de recursos en el tratamiento de aguas residuales. Específicamente la bioenergía en forma de hidrógeno (por foto y procesos de fermentación oscura) y biogás (durante los procesos de digestión anaeróbica) han sido objetivos clásicos, por lo que también llamó la atención la transformación</p>	<p>Ingeniería Ambiental</p>	<p>Google Scholar</p>
---	---	-------------	------------------	-----------------------------	--	-----------------------------	-----------------------

					directa de biomasa lipídica en biodiesel.		
Oportunidades de recuperación de metales y energía de lodos de depuradora.	Mulchandani, A., & Westerhoff, P.	2016	Estados unidos	Digestión Anaeróbica	Se centra la investigación en que las PTAR podrían ser centros de recuperación y que los metales podrían recuperarse por medio de los lodos. Los patógenos de los lodos se inactivan y los contaminantes orgánicos se destruyen.  Tecnologías	Ingeniería Ambiental	Science Direct

					<p>termoquímicas y solventes líquidos evaluados para aplicación de lodos. La licuefacción hidrotermal reduce la masa de los lodos en un 50% y produce bioaceite.</p>		
<p>Minería urbana como herramienta para una economía circular en la gestión de residuos: aspectos metodológicos.</p>	<p>Mario García</p>	<p>2020</p>	<p>España</p>	<p>Documental de revisión</p>	<p>En esta investigación se estudia la posibilidad de viabilizar un proyecto de minería urbana que permita la recuperación de minerales y metales no ferrosos partiendo de residuos eléctricos y</p>	<p>Ingeniería Ambiental</p>	<p>UCrea</p>

					electrónicos como aporte a la economía circular.		
Elemental Copper Recovery from e-Wastes Mediated with a Two-Step Bioleaching Process	E. Benzal, M. Solé, C. Lao, X. Gamisans & A. D. Dorado.	2020	España	Biolixiviación en dos pasos	El método consiste en un primer paso donde los iones Fe (II) se oxidan biológicamente a Fe (III) por Acidithiobacillus ferrooxidans. Posteriormente, los iones Fe (III) se ponen en contacto con los PCB para la solubilización del cobre.	Ingeniería Industrial	Springer Link

<p>Copper Recovery from PCBs by Acidithiobacillus ferrooxidans: Toxicity of Bioleached Metals on Biological Activity</p>	<p>E. Benzal, A. Cano, M. Solé, C. LaoLuque, X. Gamisans &amp; A. D. Dorado</p>	<p>2020</p>	<p>España</p>	<p>Biolixiviación</p>	<p>La nueva estrategia desarrollada mejoró la velocidad de reacción cinética y superó las limitaciones de transporte para la solución de lixiviación, mejorando así la recuperación de cobre del 50 al 80% en solo 6 h.</p>	<p>Ingeniería Industrial</p>	<p>Springer Link</p>
--	---	-------------	---------------	-----------------------	---	------------------------------	----------------------

<p>Biorecovery of Metals from Electronic Waste</p>	<p>Arda Işıldar, Jack van de Vossenber, Eldon R. Rene, Eric D. van Hullebusch, Piet N. L. Lens</p>	<p>2017</p>	<p>Paises Bajos</p>	<p>Biolixiviación</p>	<p>Establece que los desechos electrónicos o de equipos eléctricos y electrónicos RAEE, son segmento de desechos sólidos que se encuentra en aumento debido a la generación global en donde se alcanzan aproximadamente 42 millones de toneladas en 2014 y más de 50 millones en 2020, lo cual evidencia la preocupación de múltiples organizaciones en mitigar estos efectos. Es de tomar</p>	<p>Ingeniería Ambiental</p>	<p>Springer Link</p>
--	--	-------------	-------------------------	-----------------------	--	---------------------------------	----------------------

					<p>en consideración que se incluyen dispositivos modernos que tienen 60 elementos de diferentes concentraciones en donde se incluyen los metales básicos, críticos y del grupo del platino.</p>		
<p>Performance evaluation of anaerobic digestion technology for energy recovery from organic fraction of municipal solid waste.</p>	<p>Atul Kumar, S.R. Samadder</p>	<p>2020</p>	<p>India</p>	<p>Digestión Anaerobia</p>	<p>En este artículo se habla especialmente sobre la digestión anaeróbica como técnica de gestión de residuos eficiente y amigable con el medio ambiente. A partir de allí</p>	<p>Ingeniería Ambiental</p>	<p>Science Direct</p>

					se evidencia su beneficiosa aplicabilidad en la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos como una fuente de energía renovable debido a la generación de metano en medio del proceso de digestión.		
Nutrient Recovery from Digestate: Systematic Technology Review and Product Classification	Vaneckhau te, C., Lebuf, V., Michels, E., Belia, E., Vanrolleghe m, P. A.,	2016	Canadá	Digestión Anaeróbica	El objetivo de este estudio fue proporcionar una descripción general completa y una comparación crítica de las tecnologías disponibles / emergentes para la	Ingeniería Química	Springer Link

	Tack, F. M.  G., &  Meers, E.				recuperación de nutrientes del digestato, y una clasificación de los productos finales resultantes de acuerdo con sus características fertilizantes.		
Bioleaching of copper from electronic waste using Acinetobacter sp. Cr B2 in a pulsed plate column operated in batch and sequential batch mode	Jagannath, A., Shetty K., V., & Saidutta, M.	2017	India	Biolixiviación	En el estudio que se informa actualmente, un biorreactor de placas pulsadas en el que los espacios entre placas estaban empaquetados con material de desecho electrónico se empleó eficazmente para la	Ingeniería química	Science Direct

					biolixiviación de cobre a partir de desechos electrónicos utilizando <i>Acinetobacter.sp. Cr B2</i> .		
Life cycle assessment of thermal Waste-to-Energy technologies: Review and recommendations	Astrup, T. F., Tonini, D., Turconi, R., & Boldrin, A.	2015	Dinamarca	Articulo Informativo	Se revisan diversos artículos sobre la evaluación del ciclo de vida en donde se destacan los resultados más relevantes y se establecen conclusiones que en mayor sentido se logran identificar deficiencias y críticas en estudios para proseguir a relacionar	Ingeniería Ambiental	Science Direct

					recomendaciones para subsanar dichas falencias.		
Resource recovery and circular economy from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies	Wainaina, S., Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Chen, H., Singh, E., Kumar, A., Ravindran, B., Awasthi, S. K., Liu, T., Duan,	2020	China	Digestión aeróbica y anaeróbica	En el artículo se realiza la revisión en cuanto a la recuperación de recursos partiendo de residuos por medio de la economía bio circular. En este aspecto se encuentra aplicable la tecnología de digestión aeróbica y anaeróbica como un enfoque	Ingeniería Ambiental	Science Direct

	Y., Kumar, S., Zhang, Z., & Taherzadeh, M. J.				sostenible para la biorrefinería.		
Environmental pollution of electronic waste recycling in India: A critical review.	Awasthi, A. K., Zeng, X., & Li, J.	2016	India - China	Articulo Informativo	Se realiza la revisión sistemática de las consecuencias ambientales por medio del reciclaje de desechos electrónicos en India y se encuentran metales pesados y potencialmente de cuidado en los sitios de reciclaje. Se aclara que el daño al cuerpo humano por medio	Ingeniería Ambiental	Science Direct

					de la exposición directa o indirecta puede acarrear consecuencias negativas.		
Comprehensive process for the recovery of value and critical materials from electronic waste	Diaz, L. A., Lister, T. E., Parkman, J. A., & Clark, G. G.	2016	Estados Unidos	Recuperación electroquímica	Los elementos de valor en los desechos electrónicos incluyen oro, paladio, plata, cobre, níquel y elementos de tierras raras . Este artículo presenta una evaluación técnica de los pasos involucrados en un esquema que permite la recuperación eficiente de valor y materiales críticos	Ingeniería Química	Science Direct

					de la electrónica móvil de desecho.		
Electrodialysis Applications in Wastewater Treatment for Environmental Protection and Resources Recovery: A Systematic Review on Progress and Perspectives.	Gurreri, L., Tamburini, A., Cipollina, A., & Micale, G.	2020	Italia	Electrodiálisis	Este artículo presenta una revisión exhaustiva de estudios sobre aplicaciones de electrodiálisis (ED) en el tratamiento de aguas residuales, destacando el estado actual y las perspectivas futuras. La DE es un proceso de separación de membranas bajo la acción de un campo	Ingeniería Química	MDPI

					<p>eléctrico, donde los iones se transportan selectivamente a través de membranas de intercambio iónico.</p>		
<p>Resources Overview of solid waste.</p>	<p>Zhou, X</p>	<p>2016</p>	<p>China</p>	<p>Articulo Informativo</p>	<p>La escasez de recursos per cápita a nivel mundial se exponen paulatinamente y se tornan cada vez más graves, por lo que promover el reciclaje de residuos sólidos no solo está aumentando las necesidades de desarrollo económico y social, sino</p>	<p>Ingeniería Ambiental</p>	<p>Atrlantis Press</p>

					también una forma importante de proteger el medio ambiente y prevenir la contaminación. Las siguientes son algunas de las formas de recurso de los residuos sólidos.		
A systematic review on life cycle assessment of different waste to energy valorization technologies.	Dastjerdi, B., Strezov, V., Rajaeifar, M. A., Kumar, R., & Behnia, M.	2021	Australia	Conversion de residuos en energía	La evaluación del ciclo de vida (LCA) es el enfoque más común para evaluar los impactos ambientales de diferentes estrategias de gestión de residuos. Este artículo presenta una revisión sistemática de estudios científicos de	Ingeniería Ambiental	Science Direct

					ACV que evalúan los impactos ambientales de las tecnologías de conversión de residuos en energía (WtE).		
Effectiveness of struvite precipitation and ammonia stripping for recovery of phosphorus and nitrogen from anaerobic digestate: a systematic review	Lorick, D., Macura, B., Ahlström, M., Grimvall, A., & Harder, R.	2020	Suecia	Digestión anaeróbica	El digestato anaeróbico es una fuente concentrada de nutrientes a la que se pueden aplicar tecnologías de recuperación de nutrientes. Al combinar la digestión anaeróbica y las tecnologías de recuperación de nutrientes en el digestato, se puede lograr tanto la	Ingeniería Ambiental	BMC

					recuperación de energía como de nutrientes.		
Microbial Recycling of Precious and Rare Metals Sourced from Post-Consumer Products	Saitoh, N., Nomura, T., & Konishi, Y.	2017	Japón	Bisorción	Se centran en en la bacteria reductora de metales, las algas Shewanella , que son capaces de reducir y depositar metales del grupo del platino (Pt (IV), Pd (II) y Rh (III)) y oro (Au (III)) en soluciones neutras en temperatura	Ingeniería Quimica	Scientific.Net

					ambiente en condiciones anaeróbicas.		
Third generation in bio-electrochemical system research – A systematic review on mechanisms for recovery of valuable by-products from wastewater	Jadhav, D. A., Ghosh Ray, S., & Ghangrekar, M. M.	2017	India	Bioelectroquímica	El sistema bioelectroquímico (BES) se centró principalmente en la generación de bioenergía en forma de metano y biohidrógeno mientras se trataban las aguas residuales en una cámara anódica. El potencial de BES para producir sustancias químicas intermitentes y	Ingeniería Civil	Science Direct

					<p>derivados de alto valor se ha explorado inmensamente desde la última década mediante la adopción de cinéticas de reacción modificadas.</p>		
<p>Electrochemical recovery and high value-added reutilization of heavy metal ions from wastewater: Recent advances and future trends</p>	<p>Yang, L., Hu, W., Chang, Z., Liu, T., Fang, D., Shao, P., Shi, H., &amp; Luo, X.</p>	<p>2021</p>	<p>China</p>	<p>Recuperación electroquímica</p>	<p>Se clasifican por primera vez cuatro métodos típicos de recuperación electroquímica. Se discuten a fondo los mecanismos de las diferentes tecnologías de recuperación electroquímica. Se analizan los factores</p>	<p>Ingeniería Química</p>	<p>Science Direct</p>

					que influyen en la mejora de la eficiencia de recuperación de metales pesados.		
Electronic Waste- A Journey from Global Menace to Wealth Generation by its Effective Management Strategy	Kumari, R., Karthaka, P. P., & Rajan, A. P.	2019	India	Lixiviación bacteriana	La falta de tecnología para aprovechar estos metales beneficiosos conduce a la exportación de desechos electrónicos de los países en desarrollo a Singapur, Bélgica y Japón para su procesamiento, lo que indica sin lugar a dudas que el principal impulsor económico del reciclaje de	Ingeniería Química	Researchgate

					desechos electrónicos proviene de la recuperación de metales preciosos.		
Enhancing gold recovery from electronic waste via lixiviant metabolic engineering in Chromobacterium violaceum	Tay, S. B., Natarajan, G., Rahim, M. N. B. A., Tan, H. T., Chung, M. C. M., Ting, Y. P., & Yew, W. S.	2013	Singapur	Ingeniería Metabólica lixivante en Chromobacterium violaceum	El uso alternativo de microbios de biolixiviación para la recuperación de oro no es contaminante y se basa en la secreción de un lixivante o (bio) químico como el cianuro para la extracción de oro de los desechos electrónicos.	Ingeniería Bioquímica	Scientific reports

<p>Review on Chromobacterium Violaceum for Gold Bioleaching from E- waste</p>	<p>Liu, R., Li, J., &amp; Ge, Z.</p>	<p>2016</p>	<p>China</p>	<p>Biolixiviación</p>	<p>La biolixiviación de oro a partir de desechos electrónicos recibió recientemente una atención atractiva porque su depósito disponible es limitado. Esta revisión se centró en Chromobacterium violaceum (C. Violaceum), que era un anaerobio mesófilo, gramnegativo y facultativo. C.</p>	<p>Ingeniería AMbiental</p>	<p>Science Direct</p>
---	--	-------------	--------------	-----------------------	--	---------------------------------	-----------------------

### **Anexo 3. Guía práctica**

#### **Laboratorio**

#### **Recuperación de metales por Biolixiviación**

En adelante se toma como referencia el estudio denominado “*Copper Recovery from PCBs by Acidithiobacillus ferrooxidans: Toxicity of Bioleached Metals on Biological Activity*” (Benzal, Cano, et al., 2020) para la realización del respectivo procedimiento y así mismo metodología que pretende la recuperación de metales de un valor significativo como el cobre contenido en las Placas de Circuito Impreso por medio de la biolixiviación con *Acidithiobacillus ferrooxidans*.

En este manual se comprenderá el proceso mediante el cual se realiza el procedimiento utilizado para extracción o recuperación del metal de cobre. Es de aclarar, de manera preliminar que la biolixiviación podría catalogarse como una “*técnica que disuelve metales en un medio acuoso, a través de bacterias como acidithiobacillus ferrooxidans que liberan cobre en mayor cantidad que con los métodos convencionales*”. (Codelco, 2011).

Es importante resaltar que la mencionada *acidithiobacillus ferrooxidans* es una bacteria la cual habita en depósitos de pirita, metabolizando hierro y azufre que produce ácido sulfúrico. Con respecto a lo anterior cabe entender que los mencionados microorganismos se alimentan de arsénico y azufre lo cual constituyen impurezas que habrá que extraer para la producción del cobre. Se trata de un procedimiento de oxidación del azufre a ácido sulfúrico y el arsénico a especies inofensivas para las personas. (Codelco, 2011).

Así mismo, habrá que decir que la biolixiviación como metodología ha tenido una gran aceptación en los últimos años debido a su amigabilidad con el medio ambiente en la recuperación de metales como el cobre. (Mejía et al., 2011). De lo anterior se desprende el procedimiento en donde se espera una recuperación total del 50% al 80% en un lapso de aproximadas 6 horas de la siguiente manera:

#### **Procedimiento**

##### **En cuanto a la basura tecnológica:**

1. Se recuperan las placas de circuito impreso provenientes de teléfonos móviles al finalizar su vida útil.
2. Se recogen las mismas placas de las plantas de reciclaje en donde se desmantelan retirando baterías, carcasa y demás piezas, únicamente dejando las placas de circuito impreso.
3. De las placas de circuito impreso se desprenden los componentes como capacitores y microprocesadores cortando las placas en pedazos de aproximados 1 cm.

4. Las piezas previamente cortadas se trituran en función de lograr reducir el tamaño de las partículas a menos de un milímetro con la utilización de un molino de cuchillas de escala donde pasan las partículas por medio de una malla de tamiz de 1 mm.
5. Adicionalmente se vuelve a fraccionar la partícula utilizando un tamiz de 0,2 mm.
6. Se deben realizar las pruebas de biolixiviación con partículas midiendo entre 0,2 mm y 1 mm.
7. El contenido del metal que se espera recuperar se determina analizando la chatarra después de la digestión ácida.
8. Se toman 0,15 gramos de desechos electrónicos se diluyen con 10 mL de HNO<sub>3</sub> a una temperatura 150 °C durante al menos 15 minutos en un microondas.
9. Posterior a la digestión, el contenido de metal se analiza por medio del análisis atómico (espectroscopia de absorción)

### **Conforme a la preparación del microorganismo y el medio mineral:**

1. La utilización de la bacteria acidithiobacillus ferrooxidans, en conjunto con el mineral usado en los experimentos se preparan de la siguiente manera:

(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3.00; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 0.50; MgSO<sub>4</sub> \* 7 H<sub>2</sub>O 0.50; KCl 0.10; Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> \* 4 H<sub>2</sub>O disueltos en 0.014 gramos de 900 ml de agua destilada.

2. El pH se ajusta con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3N a pH 1,7 y esterilizado en autoclave (120° C / 20 min) en una autoclave.
3. Posteriormente se disuelven 30 gramos de FeSO<sub>4</sub> \* 7H<sub>2</sub>O en 100 mL. de agua destilada y el pH se ajusta con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3N a pH 1,7.
4. La solución previamente dispuesta se esteriliza por medio de filtración a través de un filtro de jeringa de 0,22 µm.
5. Posteriormente se mezclan esas dos soluciones previamente relacionadas y el pH se ajusta a pH 1,7 de ser necesario.
6. En un biorreactor de tanque agitador se cultiva el Acidithiobacillus ferrooxidans.
7. El mismo se llena con 2L de 6K medio mineral, que contiene 10% de inóculo con una concentración de 6 \* 10 células / mL.
8. El pH ha de ser controlado continuamente a pH 1,75 por medio de adición gota a gota de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3N y en biorreactor se agita a 200 rpm.
9. La temperatura debe mantenerse a 30°C dentro de la camisa del reactor mediante un baño termostático.
10. La aireación debe lograrse mediante aire comprimido.
11. Se burbujea el aire a través de un difusor de cerámica sumergido y el caudal de aire se fija en 50NL /h usando un rotámetro.
12. Cuando el potencial de oxidación-reducción esté hasta 600 mV se considera que todo el hierro se ha oxidado.
13. Se renueva el 20% del medio total con nuevo medio 6K con tal de favorecer el crecimiento de los microorganismos, cada 48 horas aproximadamente.

**Biolixiviación en el reactor de columna, se realiza de la siguiente manera:**

1. Se lleva a cabo en un tubo cilíndrico de 10 cm de altura con un diámetro interno de 3 cm.
2. La columna se llena con 3g de basura tecnologica mezclada con partículas de plástico entre 1 y 3 mm de diámetro.
3. Tales partículas sirven como estructurantes para proporcionar un adecuado contacto sólido-líquido y así evitar el efecto de pared.
4. Las partículas de plástico se obtienen aplastando la estructura plástica de los teléfonos móviles, por ejemplo.
5. Se incorpora un reservorio para facilitar el procedimiento de muestreo y las mediciones de pH y ORP durante el experimento.
6. El depósito se llena con 400 mL de la solución de hierro (III) del biorreactor de crecimiento.
7. Al hacer de manera discontinua el estudio, la solución de hierro deberá ser previamente sedimentada y usar un sobrenadante.
8. La solución de lixiviación se bombea a una velocidad aproximada de 54 ml / minuto por medio de una bomba peristáltica, lo cual significa una velocidad de 0,13 cm / s y un tiempo de contacto de 23 segundos.
9. Se deben tomar muestras de hierro y mediciones de cobre cada hora del reservorio, además medir el pH y el ORP.
10. El pH debe continuar controlado a 1,75 por medio de la adición gota a gota de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3N.
11. La concentración de iones de cobre se realiza con una espectroscopia de absorción atómica mientras que las determinaciones de hierro total y hierro (II) se lleva a cabo usando el método de la fenantrolina con un espectrofotómetro UV / VIS.
12. El potencial de oxidación-reducción y el pH se mide utilizando un medidor WTW multi 3620, equipado con un redox y un sensor de pH.

Con respecto a lo anterior habrá que determinar y analizar las placas de circuito impresas para caracterizar su composición metálica. Entonces, se deberá poder responder, conforme a las medidas establecidas lo siguiente:

1. **¿Cuáles son los porcentajes de extracción de los metales?**

---

---

2. **¿Cuáles fueron los metales extraídos?**

---

---

**3. ¿De cuánto fue el contenido de Cu, Ni, Fe, Ag, Au, Al, Pd, In, Sn, Pb, Co y Mn en g/kg?**

---

---

**4. ¿Cuánto fue el contenido total de metal de la placa de circuito impresa?**

---

---

**5. ¿Cuál es el componente extraído principalmente? ¿En qué porcentaje? ¿Qué otros se encontraron?**

---

---