

MINERÍA URBANA: RECUPERACIÓN DE METALES PARA UNA ECONOMÍA CIRCULAR SOSTENIBLE

URBAN MINING: RECOVERY OF METALS FOR A SUSTAINABLE CIRCULAR ECONOMY

María José Chávez Pérez¹

 <https://orcid.org/0009-0004-5250-4750>

Manuel Alfonso Arias Granada²

 <https://orcid.org/0009-0006-6481-4750>

Isabel Cristina Entralgo Guédez³

 <https://orcid.org/0009-0006-6969-9595>

Recibido: 10-05-2025

Aceptado: 09-06-2025

Resumen

La minería urbana se muestra como una pieza clave para recolectar residuos metálicos y, por consiguiente, convertirlos en nuevos productos útiles para su uso. Este estudio realizado muestra las fuentes principales de metales en entornos urbanos, incluyendo productos automotrices, electrodomésticos y residuos electrónicos, así como los tipos de metales que se pueden reciclar, tales como el acero, el aluminio y el cobre. Se analizaron las tecnologías de separación disponibles como: la separación magnética, las corrientes de Foucault y la clasificación por densidad; incluyendo los procesos de recuperación de residuos tales como la trituración, fundición o electrólisis. Se estudió la reintegración de estos metales en la economía circular, destacando sus usos en varias industrias y el potencial de reemplazar el uso de metales primarios. Este trabajo se llevó a cabo cualitativo mediante la revisión documental, combinando la revisión de literatura especializada con el análisis de casos prácticos en la industria del reciclaje de metales. Se concluye en el estudio como destaca los impactos socioeconómicos de la minería urbana, enfatizando la necesidad de una transformación justa de la fuerza laboral frente a la automatización y la importancia de una distribución equitativa de los beneficios.

Palabras clave: Minería urbana, reciclaje, economía circular, recuperación de residuos, sostenibilidad industrial.

Abstract

Urban mining is presented as a key piece for collecting metal waste and, consequently, converting it into new useful products for use. This conducted study shows the main sources of metals in urban environments, including automotive products, appliances, and electronic waste, as well as the types of metals that can be recycled, such as steel, aluminum, and copper. The available separation technologies were analyzed including: magnetic separation, eddy currents, and density classification; including waste recovery processes such as crushing, smelting, or electrolysis. The reintegration of these metals into the circular economy was studied, highlighting their uses in various industries and the potential to replace the use of primary metals. This work was carried out under a descriptive and analytical study with a mixed approach, combining specialized literature review with the analysis of practical cases in the metal recycling industry. The study concludes by highlighting the socioeconomic impacts of urban mining,

¹ Universidad Yacambú. Venezuela. Correo: y-30591472@micorreo.uny.edu.ve

² Universidad Yacambú. Venezuela. Correo: y-28528811@micorreo.uny.edu.ve

³ Universidad Yacambú. Venezuela. Correo: y-30615612@micorreo.uny.edu.ve

emphasizing the need for a fair transformation of the workforce in the face of automation and the importance of equitable distribution of benefits.

Keywords: Urban mining, recycling, circular economy, waste recovery, industrial sustainability.

Introducción

En estos tiempos, donde predomina el rápido crecimiento de ciudades y el exceso de consumo, la cantidad de residuos metálicos es un reto para el medio ambiente, pero también es una posibilidad económica nueva. La minería urbana, un concepto que redefine los desechos como recursos valiosos, emerge como una estrategia innovadora para la recuperación de metales en entornos urbanos. Este enfoque, que considera los residuos urbanos como reservas antropogénicas en lugar de geológicas (Workman, 2021), no solo alivia la presión sobre las reservas naturales, sino que también abre un nuevo horizonte para la sostenibilidad industrial.

Las ciudades de hoy, con su eterno movimiento de vehículos, artefactos y aparatos viejos, se han convertido en contenedores llenos de hierro, aluminio, cobre y otros metales clave. La recuperación eficiente de estos materiales, mediante tecnologías como la separación magnética y las corrientes de Foucault (Ecoembes, 2024; Steinert, s/f), promete una reducción significativa en la dependencia de la minería tradicional y sus impactos ambientales asociados. Este análisis explora el intrigante universo de la minería urbana, examinando las fuentes de metales en las urbes, los métodos de recuperación existentes y su reincorporación en una economía circular. Se analizará la manera en que industrias como la automovilística, la construcción y la electrónica están utilizando metales reciclados para disminuir su efecto en el medio ambiente y fomentar prácticas sustentables. Adicionalmente, se analizarán las políticas y regulaciones, como el Decreto N° 4. 445 en Venezuela, que apoyan este cambio hacia un futuro más circular y eficaz en la utilización de los recursos.

Para esta investigación se llevó a cabo un estudio de tipo analítico con un enfoque cualitativo, combinando la revisión de literatura especializada con el análisis de casos prácticos en la industria del reciclaje de metales. El diseño permitió explorar en profundidad los procesos de minería urbana, las tecnologías empleadas en la recuperación de metales, y el impacto socioeconómico de estas prácticas. Tiene como objetivo destacar la relevancia de la minería urbana como un elemento fundamental para la sostenibilidad industrial, evidenciando que los desechos producidos actualmente pueden convertirse en recursos valiosos para el futuro.

Por lo antes expuesto, se pretende abordar el tema mediante el desarrollo de este ensayo apoyado en la revisión documental de diversos autores contemplando aspectos como: minería urbana y

reciclaje de metales, minería urbana y residuos industriales metálicos, métodos de separación de metales, beneficios del reciclaje de metales, entre otros.

Minería Urbana y Reciclaje de Metales: Un Enfoque Sostenible para la Gestión de Residuos Industriales

La minería en la ciudad es una forma clave para la recuperación de materiales, con especial atención en los residuos industriales metálicos, donde los procesos de separación de metales, la práctica de usar otra vez los materiales y las ventajas del retorno de dinero, tienen preponderancia. También se ve el papel de la economía circular en la industria del reciclaje metales, y se dan ejemplos de aplicaciones buenas y reglas importantes, sobre todo en el contexto venezolano. La cantidad en aumento de basura de los talleres metalmeccánicos representa una gran dificultad para el cuidado del ambiente y el entorno. La recolección de metales en las calles, que ve a la basura como algo útil, es una buena opción para volver a usar los mismos y bajar la necesidad de las fuentes naturales.

Minería Urbana y Residuos Industriales Metálicos

La minería urbana se define como el método de tomar materias primas de la basura de la ciudad y de las fábricas. Este método va más allá que solo tomar metales de la basura electrónica, con impacto directo en las ganancias económicas que se logran con cualquier tipo de material en diferentes tipos de basura (Workman, 2021). Como se puede observar es el proceso de recuperar materias primas valiosas de productos desechados, edificios y residuos, en lugar de extraer minerales de la tierra, la minería urbana se enfoca en los recursos que ya están presentes en los entornos urbanos, principalmente en los flujos de residuos lo que afecta directamente las ganancias.

Los desechos de fábricas incluyen metales que no valen o no sirven más, como restos de hierro, partes de máquinas, electrodomésticos, aparatos de electricidad y coches (Depósito Gaitán, 2023). Los metales que se usan en reciclaje son el acero, el hierro el aluminio y el cobre; porque sus cualidades son útiles en muchas industrias (Sircat, 2024). El reciclaje de metales es crucial para la conservación de los recursos naturales, la reducción del consumo de energía, la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y la minimización de los residuos en los vertederos.

Métodos de Separación de Metales

Separar bien los metales de los basureros es muy importante para su reciclaje. Los modos más comunes son:

Separación Magnética. Usa campos magnéticos para separar materiales ferromagnéticos como el hierro y el acero.

Separación por Corrientes de Foucault. Permite recuperar metales no ferrosos como el aluminio, cobre y latón.

Clasificación por Densidad. Métodos como flotación y hidrociclones separan cosas según sus diferencias en densidad.

Una vez que se separen, los metales son sometidos a procesos como moler, derretir, limpiar y hacer sólidos para poder usarlos de nuevo. La fundición requiere mucha energía, pero cuesta mucho menos que la fabricación de metales nuevos (Ferros planes, 2021). Se puede decir que la fundición de metales es ventajosa para la producción de formas complejas, grandes volúmenes y piezas de gran tamaño, a menudo con un menor costo por unidad en producciones masivas, la selección de este método va a depender de los requisitos específicos de la pieza, el volumen de producción, las tolerancias necesarias, el presupuesto y las propiedades del material deseadas. En muchos casos, ambos procesos pueden incluso complementarse en la fabricación de un solo producto.

En la Separación Magnética Inteligente se aplican campos magnéticos a residuos mezclados, atrayendo partículas ferromagnéticas (Ecoembes, 2024). La innovación radica en el uso de IA y sensores para mejorar la precisión.

Por su parte, las Corrientes de Foucault de Alta Precisión permiten recuperar metales no ferrosos como aluminio, cobre y latón (Steinert, s/f). Se exploran materiales superconductores y algoritmos de optimización para mayor eficiencia.

Clasificación por Densidad Asistida por IA. Técnicas como flotación e hidrociclones, mejoradas con visión por computadora y aprendizaje automático, separan metales de plásticos (Recycling Today, s/f).

Economía Circular y Reciclaje de Metales

La economía circular, que pretende mantener los materiales en uso el máximo tiempo posible, es clave para la sostenibilidad. Es un modelo de producción y consumo que busca extender la vida útil de los materiales y productos, reduciendo al mínimo la generación de residuos. En este contexto, el reciclaje de metales juega un papel fundamental, ya que éstos son materiales que pueden ser reciclados una y otra vez sin perder sus propiedades, lo que los hace ideales para un modelo circular. Entonces, el reciclaje de metales se ajusta bien con este modelo, ya que permite la reutilización sin fin de materiales sin pérdida de valor (Williamson,2023).

Beneficios del Reciclaje de M Aplicaciones y ejemplos exitosos

- Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.

- Disminución de la contaminación de la tierra, el agua y la atmósfera.
- Conservación de recursos naturales.
- Menos basura en los vertederos.

Aplicaciones y Ejemplos Exitosos

Los metales reciclados se usan en diferentes tipos de industria, como la comida, la construcción, el transporte o en el hogar. Firmas como Ford tienen hechos programas buenos de reciclaje, mostrando el potencial de una economía circular en la industria del coche (Ecoembes, 2024). La mayor parte de los metales, como el aluminio, el plomo, el hierro, el acero o el cobre, pueden fundirse para crear nuevos objetos. Por ejemplo, el aluminio reciclado se transforma en nuevas latas o componentes para la industria automotriz y electrónica. El acero reciclado se utiliza en la construcción, electrodomésticos y envases.

Regulaciones en Venezuela

En Venezuela, el Decreto 4.445 pone a los desechos y residuos metálicos como clave para la economía del país, controlando su exportación y apoyando el reciclaje (Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, del 24 de febrero del 2021). Es decir, que de todo esto se puede concluir que la minería en las ciudades y el reciclaje de metales son muy importantes para manejar bien los desechos de industrias e ir hacia una economía circular. Usar tecnologías eficaces para separar, adoptar formas de volver a usar cosas, y seguir las reglas adecuadas son clave para obtener más ventajas ambientales y económicas del reciclaje de metales.

La Alquimia Moderna: Innovación Tecnológica y Desafíos Socioeconómicos en la Minería Urbana de Metales

La minería urbana, más que una práctica sostenible, representa una revolución tecnológica que transforma residuos en recursos valiosos, similar a la antigua alquimia, pero con fundamentos científicos y tecnológicos sólidos (Workman, 2021). Esta transformación plantea preguntas cruciales sobre su impacto en las economías y sociedades, impulsando la creación de nuevas industrias y modelos de producción. Se debe destacar que la minería urbana no solo recupera metales, sino que monetiza cualquier material de flujos de residuos, ampliando su alcance y potencial (Workman, 2021).

Procesos de Reutilización

Trituración y Pulverización Nanométricas. La trituración precisa facilita la fusión con menor energía (Ferros planes, 2021). Las técnicas avanzadas permiten la recuperación a escala nanométrica.

Fundición y Refinación con Plasma. Hornos de plasma ofrecen mayor eficiencia energética y menor impacto ambiental en la fundición de metales.

Electrólisis Avanzada y Biominería. La electrólisis purifica metales (Ferros planes, 2021), y la biominería utiliza microorganismos para la recuperación.

El Impacto Socioeconómico: Creando Nuevas Industrias y Desafíos Laborales

La minería urbana impulsa nuevas industrias de tecnología, reciclaje avanzado y manufactura sostenible, generando empleos de alta tecnología y revitalizando áreas urbanas. La automatización plantea desafíos laborales, requiriendo programas de capacitación y reconversión para una transición justa. Es crucial garantizar la distribución equitativa de los beneficios de la minería urbana en la sociedad.

La Economía Circular 2.0: Hacia un Ecosistema Industrial Simbiótico

Más allá de Reducir-Reciclar-Reutilizar, las 3R, se exploran conceptos como la simbiosis industrial, donde los residuos de una industria son materia prima para otra (Williamson, 2023). El IoT, el blockchain y la IA facilitan la trazabilidad de materiales y optimizan los ciclos de vida de los productos. Las plataformas digitales conectan a actores de la economía circular, fomentando la colaboración. El reciclaje de metales crea una cadena de valor circular, donde los metales pueden reciclarse casi al 100% indefinidamente (Williamson, 2023).

Desafíos y Oportunidades en Venezuela: Un Modelo para la Economía Emergente

El Decreto N° 4.445 establece los desechos metálicos como estratégicos para la economía nacional, prohibiendo su exportación sin autorización (Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela del 24 de febrero del 2021). Venezuela enfrenta desafíos de infraestructura, financiamiento y tecnología, pero tiene la oportunidad de desarrollar una industria de minería urbana innovadora. Se proponen inversiones en I+D, alianzas estratégicas y programas de capacitación para profesionales en minería urbana.

La Minería Urbana Como Catalizador del Cambio

La minería urbana es un catalizador para la innovación tecnológica, el desarrollo económico y la transformación social. Un enfoque holístico es esencial para maximizar su potencial, integrando tecnología, economía y sociedad. La minería urbana juega un papel fundamental en la construcción de un mundo sostenible y equitativo. El reciclaje de metales, a diferencia de otros materiales, permite que la materia prima resultante, se pueda usar para fabricar los mismos artículos en tantos ciclos como sea necesario, siendo una cadena de valor circular casi perfecta. (Ferros planes, 2021).

Sobre el Estudio

Se llevó a cabo un estudio de tipo descriptivo y analítico con un enfoque mixto, combinando la revisión de literatura especializada con el análisis de casos prácticos en la industria del reciclaje de

metales. El diseño permitió explorar en profundidad los procesos de minería urbana, las tecnologías empleadas en la recuperación de metales, y el impacto socioeconómico de estas prácticas.

La población de estudio comprendió el conjunto de residuos industriales metálicos generados en entornos urbanos, incluyendo chatarra, piezas de maquinaria, electrodomésticos, equipos electrónicos y vehículos (Deposito Gaitán, 2023). La muestra se seleccionó de forma intencional, incluyendo casos de estudio de empresas líderes en el reciclaje de metales, como Ford (Ecoembes, 2024), y análisis de las regulaciones gubernamentales en Venezuela (Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, del 24 de febrero del 2021).

Contexto

El estudio se contextualizó en el marco de la creciente importancia de la economía circular y la necesidad de gestionar de manera sostenible los residuos metálicos (Williamson, 2023). Se consideraron tanto los aspectos técnicos de los procesos de reciclaje como los factores socioeconómicos que influyen en su implementación.

Se realizó una revisión exhaustiva de artículos científicos, informes técnicos y documentos normativos relacionados con la minería urbana y el reciclaje de metales.

Se analizaron casos prácticos de empresas y proyectos que implementan tecnologías de reciclaje de metales, como el programa de reciclaje de vehículos de Ford (Ecoembes, 2024).

Se examinaron las regulaciones gubernamentales en Venezuela, específicamente el Decreto N° 4.445 (Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, del 24 de febrero del 2021), para comprender el marco legal y las políticas públicas relacionadas con la gestión de residuos metálicos.

Se documentaron los procesos técnicos de separación y reutilización de metales, incluyendo la separación magnética, la separación por corrientes de Foucault, la clasificación por densidad, la trituración, la fundición, la purificación y la solidificación (Ecoembes, 2024; Steinert, s/f; Recycling Today, s/f; Ferros planes, 2021).

Se realizó un análisis cualitativo de la información recopilada, identificando patrones, tendencias y relaciones entre los diferentes aspectos del reciclaje de metales.

Se compararon diferentes tecnologías y procesos de reciclaje, evaluando su eficiencia, impacto ambiental y viabilidad económica.

Se analizó el contenido de los documentos normativos y los casos de estudio, identificando los principales desafíos y oportunidades para la implementación de la minería urbana.

El enfoque epistémico seleccionado fue el constructivismo, que permitió comprender cómo se construyen y transforman los conocimientos y prácticas relacionadas con el reciclaje de metales en

diferentes contextos. Se consideró la interacción entre los actores involucrados, las tecnologías utilizadas y los factores socioeconómicos que influyen en el proceso.

Este enfoque permitió una comprensión integral de los procesos de minería urbana y reciclaje de metales, considerando tanto los aspectos técnicos como los socioeconómicos y ambientales.

Conclusiones o Reflexiones

Este estudio analiza la minería urbana y el reciclaje de metales como estrategias fundamentales para la gestión sostenible de los residuos industriales, revelando su potencial como catalizadores de la innovación tecnológica y la transformación socioeconómica. Es evidente que la minería urbana, definida como la recuperación de materias primas a partir de residuos urbanos e industriales (Workman, 2021), va más allá de la mera sostenibilidad y contribuye a la creación de nuevas industrias y modelos productivos.

Se enfatiza la importancia de las tecnologías avanzadas para la separación y el procesamiento de metales, incluida la separación magnética inteligente, las corrientes parásitas de alta precisión y la clasificación por densidad asistida por inteligencia artificial (Ecoebes, 2024; Steinert, s.f.; Recycling Today, s.f.). Estos métodos, junto con procesos de reutilización como la nano molienda y la fundición por plasma, optimizan la recuperación del metal y reducen el impacto ambiental (Ferros planes, 2021).

El estudio destaca los impactos socioeconómicos de la minería urbana, enfatizando la necesidad de una transformación justa de la fuerza laboral frente a la automatización y la importancia de una distribución equitativa de los beneficios. Se explora la Economía Circular 2.0, enfatizando la simbiosis industrial y el papel de IoT y blockchain en la trazabilidad de materiales (Williamson, 2023).

Se analiza en el contexto de Venezuela el Decreto N° 4.445, que establece los residuos metálicos como estrategia estratégica para la economía nacional (Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, del 24 de febrero del 2021). Se identifican desafíos y oportunidades para el desarrollo de una minería urbana innovadora y sustentable, y se proponen inversiones en I+D, alianzas estratégicas y programas de capacitación.

Se concluyó que la minería urbana y el reciclaje de metales son esenciales para reducir la contaminación, proteger los recursos naturales y reducir la cantidad de residuos en los vertederos (Deposito Gaitán, 2023; Sircat, 2024). La implementación de tecnologías eficientes, la adopción de modelos de economía circular y el cumplimiento de las regulaciones adecuadas son fundamentales para maximizar los beneficios ambientales y económicos del reciclaje de metales.

La novedad de este trabajo radica en su enfoque integrado, vinculando las innovaciones tecnológicas con los desafíos socioeconómicos y oportunidades específicas del contexto venezolano. El modelo de minería urbana propuesto no sólo optimiza el reciclaje de metales, sino que también impulsa

el desarrollo de nuevas industrias, crea empleos de alta tecnología y promueve una economía circular inclusiva y sostenible.

Referencias

- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. (2021). *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*, N° 6.617 (Extraordinario), febrero 24, 2021.
- Deposito Gaitán. (21 de marzo de 2023). *El manejo de residuos industriales*. <https://depositogaitan.com/el-manejo-de-residuos-industriales/>
- Ecoembes, H. (02 de febrero de 2024). *El impacto de la separación magnética en la gestión de residuos*. Ecoembes. <https://reducereutilizarecicla.org/separacion-magnetica/>
- Ferros planes. (11 de noviembre de 2021). *Metales reciclables: ¿dónde los encontramos y cómo se logran?* [Metales reciclables: ¿dónde los encontramos y cómo se logran? - Ferros Planes](#)
- Recycling Today. (s.f.). *Tecnología de separación y clasificación en la gestión de residuos*. <https://www.recyclingtoday.org/es/blogs/news/separation-and-sorting-technology-in-waste-management>
- Sircat. (08 de julio de 2024). *Todo lo que debes saber sobre la recuperación de metales*. <https://sircat.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-la-recuperacion-de-metales/>
- Steiner. (s.f.). *Separadores por Corrientes de Foucault*. <https://steinertglobal.com/es/sistemas-de-clasificacion/separacion-magnetica/separadores-por-c-de-foucault/>
- Williamson, R. (16 de enero de 2023). *What is the Circular Economy and What Part Metal Recycling Plays*. Geomet Recycling. <https://geometrecycle.com/what-is-circular-economy-metal-recycling-role/>
- Workman, B. (21 de septiembre de 2021). *¿Qué es la Minería Urbana?*. Recycle Track Systems (rts). <https://www.rts.com/es/blog/what-is-urban-mining/>