

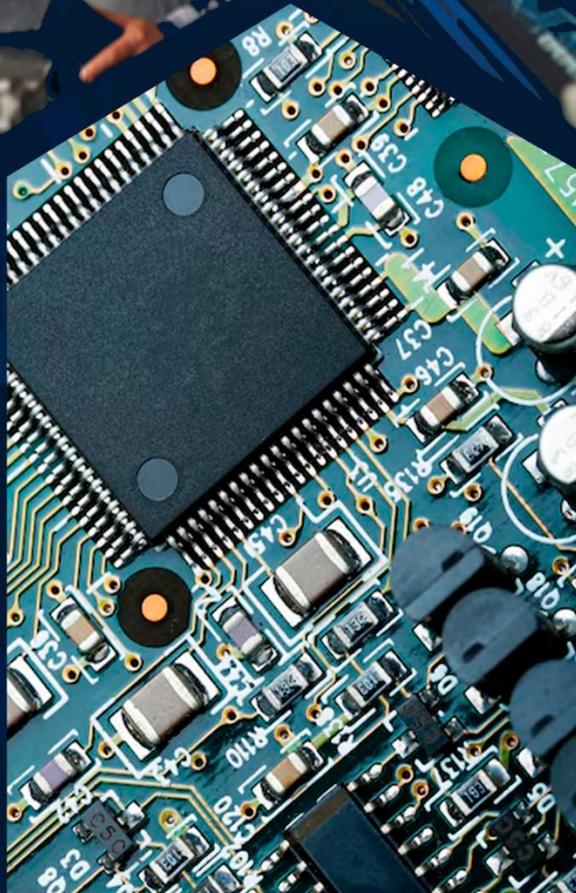
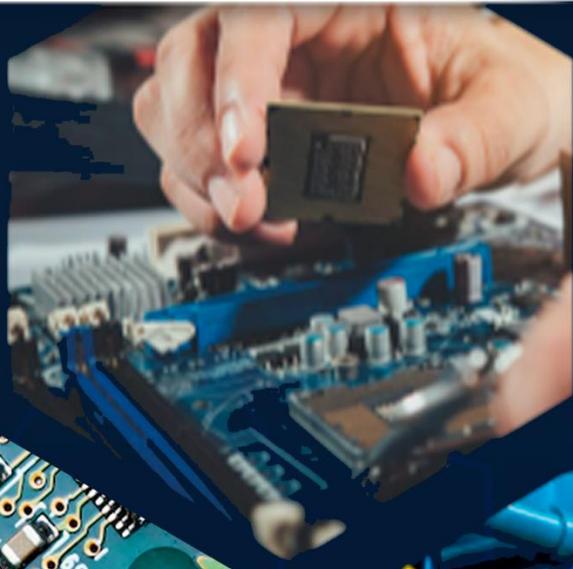


**REVISTA**

# Ingenium



**ENERO - JUNIO / 2025 / Volumen 3 - Número 1**



ISSN: En proceso / Depósito Legal: LA2024000023

---

---

## Comité Editorial

### Director

Dr. Daniel Rojas Agüero. Universidad Yacambú  
<https://orcid.org/0000-0001-6346-3502>

### Editora

MSc. María Gabriela Jiménez. Universidad Yacambú  
<https://orcid.org/0009-0001-0099-3503>

### Comité Científico Nacional

MSc. Germán Vargas. Universidad Yacambú  
<https://orcid.org/0009-0001-9554-6000>

Ing. Ana Salas. Universidad Yacambú  
<https://orcid.org/0009-0001-2367-2825>

Ing. Jazmín Durán. Universidad Yacambú  
<https://orcid.org/0009-0001-1577-7045>

Ing. Rafael Flores. Universidad Yacambú  
<https://orcid.org/0009-0000-7672-5487>

Lic. Alexander Pérez. Universidad Yacambú  
<https://orcid.org/0009-0002-2611-2118>

### Comité Científico Internacional

Ing. Rosangel Rojas. Universidad Federal de Rio Grande, Brasil.  
<https://orcid.org/0000-0003-0776-599X>

Ing. Rafael Yépez. Universidad Federal de Rio Grande, Brasil.  
<https://orcid.org/0000-0002-2557-8779>

### Equipo de Apoyo

Ing. Andrei Núñez. Apoyo técnico  
<https://orcid.org/0009-0008-3488-8534>

TSU Mercis Molero. Corrector de estilo / Diagramación / Maquetación  
<https://orcid.org/0009-0003-4441-4408>

ISSN: en proceso

Depósito Legal: LA2024000023

Facultad de Ingeniería de la Universidad Yacambú



Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

## Editorial

En el mundo actual, la ingeniería se posiciona con un eje articulador para la generación y aplicación de conocimientos, orientados en la búsqueda de soluciones a problemas o necesidades de la sociedad desde un enfoque sistémico, donde la implementación de estrategias soportadas en el uso de las tecnologías y normativas permite dar respuestas eficientes y sostenibles, dentro del marco de la globalización y competitividad organizacional en sus diferentes ámbitos. De esta forma, los avances tecnológicos y el cumplimiento a procedimientos estandarizados se configuran como oportunidades de mejora continua, impulsores de cambios significativos y como herramientas de transformación.

Por ello, la Revista Ingenium, se convierte en un espacio idóneo para el intercambio de saberes relacionados con el campo de la ingeniería, donde estudiantes, docentes y profesionales del área, comparten y actualizan conocimientos a fin de propiciar el discernimiento sobre temas que se encuentran en tendencias. En este nuevo número, se presentan temáticas variadas, referentes a la Recuperación de materiales semiconductores para una economía sostenible, Responsabilidad Social Universitaria según ISO 26000: 2010, aplicación del capítulo 7.4 en la Universidad Yacambú, Comparación del medio filtrante en proceso de elaboración de sangría en la empresa Bodegas Pomar C.A., Minería Urbana: Recuperación de metales para una economía circular sostenible, Impacto en la producción flexible por el avance de las aplicaciones inteligentes impulsadas por el Big Data en el contexto actual y el Impacto transformador de la inteligencia artificial en el razonamiento matemático: Implicaciones, Avances y Desafíos.

Ante estos temas estimados lectores, te invitamos a reflexionar sobre el papel de la ingeniería en la co-construcción del conocimiento, así como su influencia en el desarrollo humano y sostenible en pro de un futuro equitativo. Donde surgen interrogantes como: ¿Cuál es el papel de la ingeniería en el progreso tecnológico de las organizaciones?, ¿Cómo las instituciones pueden insertar la variable ambiental dentro de su cultura y desempeño organizacional?, ¿Qué estrategias pueden ser implantadas por los ingenieros para adaptarse en un mundo en constante evolución? y ¿Cómo el ingeniero desde un enfoque sistémico es capaz de dar soluciones a los diferentes desafíos?

Las interrogantes presentes, cuestionan el hacer de la ingeniería, donde los estudiantes, académicos o profesionales asumen un pensamiento crítico, convergente y divergente, a fin de conformar grupos para la colaboración inter y transdisciplinaria, que le permitan abordar los desafíos de una sociedad cada vez más compleja. De ahí, la conformación de soluciones innovadoras para mejorar la calidad de los productos o la implementación de la filosofía del reciclaje o recuperación de materiales orientados a una producción más limpia y flexible, así como el uso de la inteligencia artificial como

estrategia transformadora para el aprendizaje, buscan garantizar el progreso, adaptación y mejora en la calidad de vida de las personas.

En este sentido, reafirmamos el compromiso de ser un espacio para la divulgación de artículos y ensayos críticos referentes a áreas de interés tecnológico, ambiental y organizacional, en el cual nuestros colegas y estudiantes participen en la conformación de proyectos que les permitan desarrollar sus habilidades y destrezas investigativas, en pro de un mundo cada día mejor, con respuestas efectivas, asertivas y eficientes a las necesidades de una sociedad en constante evolución.

*En un mundo cambiante, necesitamos ingenieros constantes en su afán de aprender, construir e investigar.*

*¡Sé parte del cambio!*

MSc. Gianella Polleri

## Tabla de Contenido

### Artículos Académicos

Responsabilidad Social Universitaria Según ISO 26000: 2010 - Aplicación Del Capítulo 7.4 en la Universidad Yacambú, <i>Ivanoski Betzabeth de las Mercedes Pineda Vargas</i> .....	5
Comparación del Medio Filtrante en Proceso de Elaboración de Sangría en la Empresa Bodegas Pomar C.A, <i>Rebeca Anaís Pineda Betancourt</i> .....	19
Recuperación de Materiales Semiconductores para una Economía Sostenible, <i>Brucelee Alexander Noguera Manzanilla, María Celeste Marín González</i> .....	34

### Ensayos

Minería Urbana: Recuperación de Metales para una Economía Circular Sostenible, <i>María José Chávez Pérez, Manuel Alfonso Arias Granado, Isabel Cristina Entralgo Guédez</i> .....	53
Impacto en la Producción Flexible por el Avance de las Aplicaciones Inteligentes Impulsadas por el Big Data en el Contexto Actual, <i>Germán Eduardo Vargas Ortiz</i> .....	62
El Impacto Transformador de la Inteligencia Artificial en el Razonamiento Matemático: Implicaciones, Avances y Desafíos, <i>Alexander Antonio Pérez García</i> .....	71

## RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA SEGÚN ISO 26000: 2010 - APLICACIÓN DEL CAPÍTULO 7.4 EN LA UNIVERSIDAD YACAMBÚ

### UNIVERSITY SOCIAL RESPONSIBILITY ACCORDING TO ISO 26000:2010 – APPLICATION OF CHAPTER 7.4 AT YACAMBÚ UNIVERSITY

Ivanoski Betzabeth de las Mercedes Pineda Vargas<sup>1</sup>

 <https://orcid.org/0009-0001-2941-3752>

Recibido: 20-05-2025

Aceptado: 06-06-2025

#### Resumen

La Universidad Yacambú se encuentra en un momento clave para fortalecer su compromiso con la Responsabilidad Social Universitaria (RSU) a través del desarrollo de una investigación, cuyo objetivo general es proponer estrategias para la mejora de la Responsabilidad Social Universitaria con base en el Capítulo 7.4 de la norma ISO 26000:2010 en la Universidad Yacambú. Para diagnosticar la situación actual de la empresa y proponer posibles soluciones se utilizaron técnicas y herramientas tales como el método AUTORSE el cual reveló que la institución alcanza un cumplimiento del 42,06%, ubicándose en una etapa incipiente del proceso de implementación. A través de observaciones, entrevistas y auditorías diagnósticas, se identificaron las principales debilidades y oportunidades para avanzar hacia una gestión socialmente responsable. Con base en estos hallazgos, se elaboró una matriz FODA que sirvió de punto de partida para diseñar estrategias que impulsen la mejora continua. La propuesta se estructuró bajo el ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), permitiendo orientar las acciones de la universidad hacia metas más sostenibles e inclusivas. La propuesta presentada ofrece una guía clara y viable para alcanzar este objetivo, consolidando una cultura organizacional más ética, comprometida y alineada con las expectativas de la sociedad actual.

**Palabras clave:** Responsabilidad social universitaria, método AUTORSE, ISO 26000:2010.

#### Abstract

Yacambú University is at a pivotal moment to strengthen its commitment to University Social Responsibility (USR) through the development of research whose main objective is to propose strategies for improving USR based on Chapter 7.4 of the ISO 26000:2010 standard at Yacambú University. To diagnose the institution's current situation and propose possible solutions, various techniques and tools were used, including the AUTORSE method, which revealed a 42.06% compliance level, indicating that the institution is in the early stages of the implementation process. Through observations, interviews, and diagnostic audits, key weaknesses and opportunities were identified to move toward a more socially responsible management approach. Based on these findings, a SWOT matrix was developed as a starting point for designing strategies to drive continuous improvement. The proposal was structured around the PDCA cycle (Plan, Do, Check, Act), allowing the university's actions to be guided toward more sustainable and inclusive goals. The presented proposal offers a clear and feasible roadmap to achieve this objective, helping to consolidate a more ethical and committed organizational culture aligned with the expectations of today's society.

**Keywords:** University social responsibility, AUTORSE method, ISO 26000:2010.

<sup>1</sup> Universidad Yacambú. Venezuela. Correo: [y-30025977@micorreo.uny.edu.ve](mailto:y-30025977@micorreo.uny.edu.ve)

## Introducción

La Organización de Estándares Internacionales (ISO) es una organización que se dedica al estudio de normas voluntarias a nivel internacional. Es una federación de organismos de normalización nacionales, integrada por alrededor de 160 países. Todas las normas desarrolladas por ISO son voluntarias. Estos son las entidades encargadas de desarrollar las normas en sus respectivos países, cada uno de esos organismos nacionales representa a sus países ante la ISO.

La Norma ISO 26000 nace para ayudar a organizaciones de todo tipo a ser más responsables socialmente. Esta norma internacional tiene como objetivo asesorar a las organizaciones y fomentar el desarrollo sostenible. En los últimos tiempos, ha crecido la preocupación por el impacto que las actividades del hombre ocasionan tanto a nivel ambiental como social, de ahí que las empresas sean constantemente observadas y supervisadas durante el desarrollo de sus actividades.

En un contexto mundial donde la sostenibilidad y la ética organizacional cobran protagonismo, las universidades no escapan a la necesidad de redefinir su papel dentro de la sociedad. Lejos de ser solo centros de formación académica, las instituciones de educación superior están llamadas a ejercer un rol transformador que promueva no solo el conocimiento, sino también el compromiso social, ambiental y económico. Es bajo este enfoque que surge la necesidad de revisar el grado de Responsabilidad Social Universitaria (RSU) practicado por estas organizaciones, alineándolo con estándares internacionales como los establecidos en la Norma ISO 26000:2010.

La Universidad Yacambú, una de las instituciones privadas más reconocidas en el estado Lara, ha manifestado interés en fortalecer su vínculo con la comunidad y el entorno, consolidando iniciativas que promuevan los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Sin embargo, estudios preliminares y entrevistas no estructuradas con su personal docente han evidenciado importantes debilidades en el conocimiento y aplicación de la RSU, así como vacíos en la comprensión del marco normativo que la regula. Esta situación compromete el potencial de impacto que la universidad podría generar en su entorno, y revela la urgencia de implementar herramientas que fortalezcan su gestión socialmente responsable.

La presente investigación tiene como propósito analizar la situación actual de la RSU en la Universidad Yacambú, específicamente bajo los lineamientos del capítulo 7.4 de la norma ISO 26000:2010, titulado “Prácticas para integrar la responsabilidad social en toda la organización”. Con ello, se busca diseñar estrategias que sirvan de guía para la mejora continua y la consolidación de una cultura institucional basada en valores éticos y sostenibles.

Desde el punto de vista metodológico, se adoptó un enfoque cuantitativo, enmarcado dentro del paradigma positivista. La investigación fue diseñada bajo un proyecto especial con diseño de campo,

desarrollada mediante trabajo de campo. Para el diagnóstico se aplicaron diversas herramientas como la observación directa, entrevistas no estructuradas y una auditoría diagnóstica basada en el método AUTORSE, lo cual permitió cuantificar el nivel de cumplimiento en RSU con un resultado global de 42,06%, clasificando a la institución como “en vías de implementación”.

A partir del análisis FODA, se identificaron fortalezas y debilidades claves que facilitaron el diseño de una propuesta estructurada bajo el ciclo de mejora continua PDCA (Plan-Do-Check-Act). Esta propuesta comprende acciones estratégicas para integrar de manera transversal la RSU en todas las áreas de la universidad: formación, investigación, extensión y gestión administrativa.

Este estudio no solo aporta un diagnóstico útil para la Universidad Yacambú, sino que también ofrece un modelo replicable para otras instituciones educativas interesadas en transitar hacia un modelo de gestión universitaria socialmente responsable. En tiempos donde la legitimidad de las organizaciones se mide tanto por sus resultados como por su impacto social, iniciativas como esta representan un paso firme hacia una educación con propósito y una sociedad más justa y equitativa.

### **Materiales y Métodos**

Según Sampieri (2004) la presente investigación se ubica en el paradigma positivista del enfoque cuantitativo, así mismo utilizó la recolección de datos fundamentada en la medición, para posteriormente llevar a cabo el análisis de estos y dar respuesta al objetivo de proponer estrategias para la mejora de la Responsabilidad Social universitaria con base en el capítulo 7.4 de la norma ISO 26000:2010 en la Universidad Yacambú. Por otro lado, estudio correspondió a una investigación de campo pues la información recabada se obtendrá directamente de los trabajadores que laboran en la institución antes mencionado. Adicionalmente, el tipo de estudio se enmarcó en un diseño no experimental transeccional, así mismo, la población sujeta a estudio fue finita, en este sentido, la misma estuvo conformada por los siete (7) sujetos que conforman la directiva del departamento de ingeniería de la Universidad Yacambú. La muestra estará constituida por los sujetos de la directiva del departamento de ingeniería que laboran en la Universidad Yacambú. En la Tabla 1 se exhibe la muestra de estudio.

**Tabla 1**
*Muestra de estudio*

Cargo	Cantidad
Decano	1
Director de carrera	1
Jefes de departamentos	3
Enlaces	2
<b>Total</b>	<b>7</b>

*Nota.* Elaboración propia.

### Estructura de la Investigación

Consiste en seguir ciertos pasos predefinidos para desarrollar una cada uno de los objetivos específicos planteados en la investigación. Su objetivo debe ser único y de fácil identificación, aunque es posible que existan diversos procedimientos que persigan el mismo fin, cada uno con estructuras y etapas diferentes, y que ofrezcan más o menos eficiencia. A continuación, en la Tabla 2 se muestran las etapas de la investigación en donde se detalla el nombre y su respectivo propósito. En otras palabras, es un resumen de lo que se va a realizar.

**Tabla 2**
*Etapas de la investigación*

Etapas	Nombre	Propósito
I	<b>Diagnóstico de la Situación Actual</b>	Diagnosticar la situación actual relacionada con el Capítulo 7.4 "Prácticas para integrar la responsabilidad social en toda la organización" de la norma ISO 26000:2010.
II	<b>Identificación de Debilidades y Fortalezas</b>	Identificar las debilidades y fortalezas presentes en la universidad Yacambú relacionadas con la Responsabilidad Social Universitaria.
III	<b>Propuesta de Acciones de Mejora</b>	Establecer acciones para la mejora de la responsabilidad social universitaria con base en el capítulo 7.4 de la norma ISO 26000:2010 en la universidad Yacambú.

*Nota.* Elaboración propia.

Se buscaron las técnicas más adecuadas para diagnosticar la situación actual relacionada con el Capítulo 7.4 “Prácticas para integrar la responsabilidad social en toda la organización” de la norma ISO 26000:2010. En la Tabla 3 se detalla las técnicas e instrumentos de recolección de la información.

**Tabla 3**

*Técnicas e instrumentos de recolección de información*

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información					
Técnica	Instrumento	Tipo de Dato		Tipo de Análisis	
		Numérico	No Numérico	Cualitativo	Cuantitativo
Observación Directa y Entrevista No Estructurada	Guía de Observaciones y Anotaciones		X	X	
	FODA		X	X	
	Plan de Auditoría		X	X	
	Lista de Verificación	X			X
Auditoría Diagnóstica	Cuadro Resumen de Lista de Verificación	X			X
	Perfil de Auditoría		X	X	
	Método AUTORSE	X			X

*Nota.* Elaboración propia.

La observación directa se utiliza siendo un método que consiste en visualizar sistemáticamente los hechos y situaciones que ocurren en la naturaleza o la sociedad, la guía de observación es un documento que orienta el control de un determinado fenómeno mientras que la guía de anotaciones es un instrumento que permite el registro de la información dada por los informantes entrevistados, así mismo se hace el análisis por medio de una matriz FODA una herramienta que permite obtener una imagen de la situación actual de una empresa y así obtener un diagnóstico certero que permita, en base a ello, la toma de decisiones acordes con las metas y políticas establecidas.

Se realiza una auditoría diagnóstica siendo el principal objetivo de una auditoría diagnóstica en normas ISO proporcionar a la organización una evaluación clara y objetiva de su conformidad con los requisitos de la norma ISO, así como identificar áreas de mejora antes de una auditoría de certificación formal o como parte de un proceso de mejora continua y así mismo un plan de auditoría, se utilizó una lista de verificación como un instrumento para organizar tareas y realizar seguimientos, está diseñada para minimizar errores y asegurar la coherencia e integridad de la ejecución del proceso así mismo se

realizó un cuadro resumen de la lista de verificación que representa el resumen de los datos obtenidos al calcular el número de no conformidades obtenidos como hallazgos al aplicar las preguntas de la lista de verificación representa de manera tabulada los porcentajes de cada uno de dichos hallazgos, se realiza un plan de auditoría permitiendo visualizar el porcentaje alcanzado en una auditoría, y se efectúa a partir de los datos recogidos en la lista de verificación y se aplica el método AUTORSE.

### Método AUTORSE

Consiste en una guía que permita identificar la posición de la organización en relación con las políticas relacionadas con RSE. Compuesto de un cuestionario que deberá responder de manera conjunta las personas que ocupan cargos de decisión en la organización, junto con el evaluador para que siempre de apoyo para resolver dudas. El cuestionario ayuda a identificar aquellas propuestas y recomendaciones de la ISO 26000 que son relevantes para organizaciones que quieren implantar estrategias de RSE. Hay que indicar que el cuestionario no tiene como fin imponer requisitos a las organizaciones, solo identificar la situación actual de la organización en materia de RSE.

González (2014), en su artículo indica “El principal objetivo del trabajo fue la realización de un modelo guía de evaluación y análisis de la ISO 26000 denominado **Método AUTORSE**, para conseguir datos cualitativos y cuantitativos en relación a la RSE en una organización” (p.1), está dividido en siete secciones una por cada eje que desarrolla la ISO 26000, estas materias son fundamentales, ya que, cubren los impactos más probables, tanto de tipo económico, como ambiental y social que deberían abordar las organizaciones en materia de RSE.

En cada una de las secciones se plantean una serie de indicadores como afirmaciones respecto a las acciones y políticas implementadas por la empresa en materia de RSE. Para cada cuestión existen tres alternativas posibles de respuesta. Se deberá señalar la que mejor describe la actuación de su empresa. Los puntos asignados a las tres alternativas de respuesta propuestas varían de 0 a 2, donde: “NO” = 0, “SI” = 2 y “EN PROYECTO” \*sigla “EP” = 1. Una vez respondido el cuestionario, se procede a calcular la puntuación obtenida, a partir de la suma de los indicadores evaluados con 0 (NO), 1 (En proyecto), o 2 (SI). Luego se calculó la puntuación de la empresa considerando:

$$\text{Puntuación alcanzada} / \text{Total de ítems} = \text{Puntuación de la Empresa}$$

Finalmente, una vez realizada la evaluación se establece un procedimiento de medición y valoración de los puntos obtenidos. Considerando que 2 es la puntuación máxima, se establece una escala del 1 al 5 para calificar el estado del desempeño en RSE de empresa; por tanto:

- $0.40 = 1$

- 0.80 = 2
- 1.20 = 3
- 1.60 = 4
- 2 = 5

### **Interpretaciones**

#### *Hasta 0.80*

La empresa tiene grandes oportunidades de mejorar, pues aún no posee una gestión orientada a la RSE. Si los gestores de la organización creen en todas las ventajas que genera la implantación de estrategias sobre RSE, se debe comenzar a estructurar políticas coordinadas y concretas para aumentar la calidad y la extensión de las acciones dirigidas hacia la RSE.

#### *De 0.81 a 1.19*

La empresa ya realiza acciones en el ámbito de la RSE. Se debe realizar un seguimiento de las buenas prácticas sobre RSE que se han implantado, pero seguir fomentando acciones positivas de RSE e ideas sobre cómo desarrollar acciones creativas y formas de superar obstáculos que aún se observan.

#### *De 1.20 a 1.69*

La empresa ya asimiló los conceptos de RSE y tiene claridad de los compromisos necesarios para una gestión socialmente responsable. Esos compromisos están generando aspectos positivos en su negocio, por medio de una relación más próxima y productiva con las partes involucradas (gobierno y sociedad, comunidad, público interno, clientes, proveedores). En esta etapa actual, la empresa posee madurez para profundizar algunos aspectos de esa gestión en RSE que proporcione más beneficios a la empresa y reputación de marca.

Se tiene que analizar los temas individualmente que menos se estén trabajando y buscar la estrategia más adecuada para perfeccionarlos, elaborando una planificación a medio y largo plazo. El nivel es adecuado para empezar a comunicar a niveles superiores que el local su trabajo en RSE. Se puede comenzar abordando este trabajo asistiendo a conferencias, talleres y cursos con profesionales de la RSE, encuentros empresariales o generando guías de sostenibilidad o de buenas prácticas.

#### *De 1.70 a 2*

La empresa está bien informada de los temas emergentes de gestión y utiliza la RSE para alcanzar sus objetivos, tanto económicos como sociales. Uno de los pasos para no estancarse en lo ya conseguido, es seguir sumando y aportando valor a los grupos de interés. La búsqueda de socios y de alianzas intersectoriales como forma de potenciar el desempeño de la empresa en materia de RSE, es una de las

mejores maneras. No olvidar que la adquisición y sistematización de conocimientos innovadores y profesionales sobre RSE es fundamental e importante.

En el caso particular de la presente investigación para la recolección de la información se emplearan los requisitos del Capítulo 7.4 “Prácticas para integrar la responsabilidad social en toda la organización” de la norma ISO 26000:2010, que se encuentra validada por organismos internacionales y nacionales de acuerdo a la procedencia, asimismo es confiable, debido a que constituye la base para la elaboración de la lista de verificación, aplicable en diferentes escenarios, a fin de realizar el proceso de auditoría.

En relación con el método AUTORSE, el mismo fue validado y determinada su confiabilidad por medio de una prueba piloto a una empresa de más de 60 trabajadores con bastante éxito. Además, el mismo sigue los lineamientos de la norma ISO 26000:2010, a fin de obtener el modelo guía de evaluación y análisis, para conseguir datos cualitativos y cuantitativos en relación con la RSE en una organización.

Los análisis e interpretaciones que se generen deberán estar bajo el sentido crítico objetivo debido a que los resultados se extraen de números recogidos en la aplicación del instrumento mostrados en cuadros descriptivos que reflejan datos en frecuencia absoluta (FA) y frecuencia relativa (FR) respectivamente.

### **Resultados o Hallazgos**

Se inició realizando el diagnóstico empleando la guía de observaciones y anotaciones que muestra que la universidad posee: 1. La universidad cuenta con carteleras relacionadas con los Objetivos de Desarrollo Sustentable y la Agenda 21. 2. Se ha desarrollado actividades relacionadas con el reciclaje dentro de la institución. 3. Existe una carrera del área de ambiente, no obstante, incluyen dentro de las demás asignaturas relacionadas con la conservación y preservación de ecosistemas. 4. Promueven a través de congresos la participación ciudadana y el desarrollo sostenible en la universidad. 5. Existen programas relacionados con la responsabilidad social, tales como la inclusión de personas alejadas en actividades académicas. 6. El servicio comunitario, sirve para interrelacionar la universidad con la sociedad. 7. No se evidencia exclusión dentro de la universidad ni de género, ni raza. 8. Existe un colector para desechos plásticos en la universidad, a fin de promover la concienciación de la comunidad.

Seguidamente se procedió a aplicar la lista de verificación correspondiente al Capítulo 7.4 “Prácticas para integrar la responsabilidad social en toda la organización” de la norma ISO 26000:2010, para ello se establece el Plan de Auditoría, el Resumen de la Lista de Verificación y el Gráfico correspondiente al Perfil de la Auditoría.

**Tabla 4**

*Resumen de la lista de verificación*

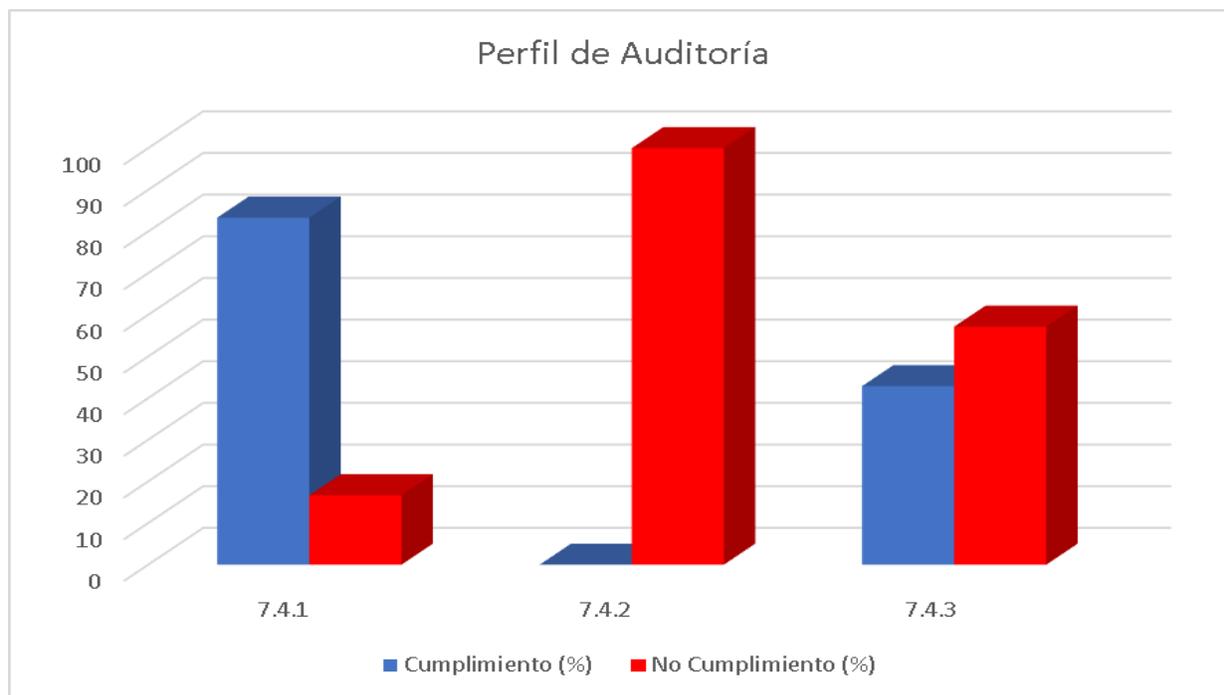
Resumen de la Lista de Verificación		
Capítulo	Cumplimiento (%)	No Cumplimiento (%)
7.4.1 Aumentar la toma de conciencia y crear competencias para la responsabilidad social.	83,33	16,67
7.4.2 Establecimiento del rumbo de una organización hacia la responsabilidad social.	0,00	100,00
7.4.3 Incorporación de la responsabilidad social dentro de la gobernanza, los sistemas y procedimientos de una organización.	42,86	57,14
<b>Total (% Cr)</b>	<b>42,06</b>	<b>57,94</b>

*Nota.* Elaboración propia.

Para una mejor visualización se presenta el Figura 1 relacionado con el Perfil de Auditoría.

**Figura 1**

*Perfil de auditoría*



*Nota.* Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se muestra que la Universidad Yacambú presenta un 83,33% de cumplimiento a los deberes del capítulo 7.4.1 Aumentar la toma de conciencia y crear

competencias para la responsabilidad social, debido a que actualmente se encuentran en proceso de crear una cultura de responsabilidad social dentro de una organización. Asimismo, se tiene para el capítulo 7.4.2 Establecimiento del rumbo de una organización hacia la responsabilidad social, se presenta un 0,00% de cumplimiento, esto se debe a que la responsabilidad social no se refleja como parte integral de sus políticas, cultura o, estrategias, estructuras y operaciones, ni se encuentra declarada en la visión, misión, los principios y asuntos de responsabilidad social que ayuden a determinar la manera en que la misma opera.

Igualmente, se requiere que la misma adopte códigos escritos de conducta o ética que especifiquen su compromiso con la responsabilidad social y el establecimiento de objetivos y planes detallados para el alcance de los objetivos estratégicos en materia de responsabilidad social. Por último, en relación con el capítulo 7.4.3 Incorporación de la responsabilidad social dentro de la gobernanza, los sistemas y procedimientos de una organización, se presenta con un 42,86% de cumplimiento, esto se debe a que la organización se encuentra en proceso de gestionar de forma cuidadosa y metódica sus propios impactos asociados con cada materia fundamental, así como establecer el seguimiento de los impactos dentro de su esfera de influencia, para minimizar el riesgo de daño social y ambiental, así como maximizar las oportunidades y los impactos positivos, a fin de tomar de decisiones considerando los posibles impactos.

Todo lo anteriormente muestra que la Universidad Yacambú presenta un cumplimiento de 42,06% a los deberes del capítulo en estudio, lo que significa que se encuentra realizando cambios en pro de la mejora en materia de responsabilidad social, lo cual se avala empleando el método AUTORSE a fin de identificar la posición de la organización en relación con las políticas relacionadas con RSU. En la Tabla 5 se muestra los resultados obtenidos para cada eje asociado a la RSU.

**Tabla 5**

*Ejes de Responsabilidad Social Universitaria*

Eje	Si (2)	En Proceso (1)	No (0)
1. Gobernanza de la organización	4	4	1
	8	4	0
Sub-Total		12	
2. Derechos Humanos	10	1	2
	20	1	0
Sub-Total		21	
3. Prácticas Laborales	22	0	2
	44	0	0
Sub-Total		44	
4. Medio Ambiente	8	0	10

	16	0	0
Sub-Total		16	
5. Prácticas Justas de Operación	12	0	1
	24	0	0
Sub-Total		24	
6. Asunto de consumidores	24	0	1
	48	0	0
Sub-Total		48	
7. Participación activa y desarrollo de la comunidad	24	0	1
	48	0	0
Sub-Total		48	
Total		213	
Calificación		213/127=1,68	

*Nota.* Elaboración propia.

Ahora bien, considerando que la calificación máxima es 2 y tiene una ponderación de 5 puntos, para el valor hallado en escala de 5 es de 4 al tomar en cuenta que  $1.60 = 4$ , por lo tanto, el método establece que, de acuerdo con lo establecido por el autor, la calificación significa que los conceptos de responsabilidad social y los compromisos que deben ser relacionados con la gestión se encuentran asimilados y se reconocen como parte del quehacer. Además, los compromisos están creando aspectos positivos en la universidad, por medio de una relación más próxima y con las partes interesadas (gobierno y sociedad, comunidad, público interno, clientes, proveedores).

En esta etapa actual, posee madurez para profundizar algunos aspectos de la RSU que proporcione más beneficios para la institución. Igualmente, los temas individualmente se están trabajando para buscar la estrategia más adecuada para mejorarlos, elaborando una planificación a medio y largo plazo. El nivel es adecuado para empezar a comunicar a niveles superiores, abordando este trabajo asistiendo a conferencias, talleres y cursos con profesionales de la RSU, encuentros empresariales o generando guías de sostenibilidad o de buenas prácticas. Empleando una matriz FODA, se identificarán las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, con la finalidad de establecer las estrategias que permitan generar un plan de mejora para la Universidad Yacambú. En la Tabla 6, se evidencia la Matriz FODA.

Tabla 6

Matriz FODA

		Fortalezas	Debilidades
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La Alta Gerencia se encuentra comprometida con establecer lineamientos de RSU.</li> <li>2. Personal capacitado en materia de RSU.</li> <li>3. Formación continua en su personal.</li> <li>4. Plataforma tecnológica que permite la difusión.</li> <li>5. Gerencia basada en los deberes y derechos humanos, sin discriminación de género, ni raza.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Falta de elaboración y difusión de cultura de responsabilidad social dentro de una organización.</li> <li>2. No se ha profundizado respecto al impacto social y ambiental de la institución.</li> <li>3. Participación moderada respecto a temas relacionados con la RSU.</li> <li>4. Carencia de medios de evaluación de desempeño en materia de RSU.</li> <li>5. No existe métodos de reciclaje de agua interna.</li> </ol>
<b>Oportunidades</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alianzas con universidad públicas y privadas a nivel nacional e internacional.</li> <li>2. Sociedad civil para aceptar la extensión universitaria y el servicio comunitario como interrelación universidad – sociedad.</li> <li>3. Espacios potenciales para difundir la responsabilidad social como acción.</li> <li>4. Cambio de paradigma a nivel mundial.</li> </ol>	<p>F1-O2: Ejecutar un plan de acción para realizar de manera sistemática el contacto con las comunidades aledañas para colaborar en la resolución de problemas o necesidades.</p> <p>F4-O3: Emplear la plataforma tecnológica para difundir conocimientos relacionados con los principios de la responsabilidad social universitaria.</p>	<p>D3-O2: Incentivar a la comunidad universitaria en la intervención de actividades relacionadas con la preservación y cuidado del ambiente.</p> <p>D5-O4: Desarrollar lineamientos estratégicos que permitan el reciclaje del agua dentro del recinto universitario.</p>
<b>Amenazas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Absentismo laboral.</li> <li>2. Cambios políticos.</li> <li>3. Desigualdades socioeconómicas.</li> <li>4. Rechazo de la sociedad al cambio de económica lineal a economía circular.</li> </ol>	<p>F2-A4: Difundir los principios y ventajas de considerar las económicas circular en las actividades diarias, visto como una manera de ahorro.</p> <p>F5-A3: Difundir el desarrollo humano como articulador de acciones relacionadas con Responsabilidad Social Universitaria.</p>	<p>D3-A2: Elaborar lineamientos que dé respuestas a las necesidades y expectativas de la sociedad.</p> <p>D4-A4: Promover dentro de la institución indicadores de gestión relacionados con las actuaciones de reciclaje, recuperación, reducción.</p>

Nota. Elaboración propia.

### Discusión

En particular, para la presente investigación y con base a los resultados obtenidos se les dará respuesta a las no conformidades detectadas, a través de la aplicación de la lista de verificación relacionadas con el Capítulo 7.4 “Prácticas para Integrar la Responsabilidad Social en toda la Organización” de la Norma ISO 26000:2010, la cual sirve como una guía fundamental para las organizaciones que buscan incorporar la responsabilidad social (RS) de manera efectiva en todas sus operaciones y en su toma de decisiones, así como el Método AUTORSE respecto al índice de Responsabilidad Social Universitaria.

### Objetivo de la Propuesta

Proponer un plan de acción, el cual según Stephen Covey (2003) no es más que la creación de un mapa claro y específico que guía las acciones hacia las metas previamente definidas para la responsabilidad social universitaria con base en los lineamientos del Capítulo 7.4 de la Norma ISO 26000:2010 y el Método AUTORSE para la Universidad Yacambú. La propuesta se desarrolla con base en la información obtenida de las fases anteriores, siguiendo un orden lógico a través de cuatro (04) etapas, de acuerdo con el ciclo de Deming o ciclo PDVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar).

**Tabla 7**

*Estructura de la propuesta*

Fase	Descripción	Descripción
I	Planeación	Planificación y programación de las actividades a realizar (Diagrama de Gantt).
II	Hacer	2.1 Plan de Actividades 7.4 Prácticas para Integrar la Responsabilidad Social en toda la Organización de la Norma ISO 26000:2010 2.2. Plan de Capacitación
III	Verificar	Indicadores de Gestión
IV	Actuar	Plan de 5W + 1H

*Nota.* Elaboración propia.

### Conclusiones

Para la etapa de diagnóstico, que permitió determinar las características actuales relacionadas con la responsabilidad social en la Universidad Yacambú, se evidencia que cuenta con carteleras relacionadas con los Objetivos de Desarrollo Sustentable y la Agenda 2021. Además, han desarrollado actividades relacionadas con el reciclaje dentro de la institución, congresos con la participación ciudadana y el desarrollo sostenible. Así como por medio de la Auditoría Diagnóstica correspondiente al Capítulo 7.4 “Prácticas para integrar la responsabilidad social en toda la organización” de la norma ISO 26000:2010, se obtuvo un 42,06% de cumplimiento, debido a que actualmente se encuentran en proceso de crear una cultura de responsabilidad social dentro de una organización. En función de los resultados del método AUTORSE, se muestra que la Universidad Yacambú, presenta una 1.60, encontrándose que la institución ya asimiló los conceptos de responsabilidad social y tiene claridad de los compromisos necesarios para una gestión socialmente responsable.

De igual manera se identificaron las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, con la finalidad de establecer las estrategias que permitan generar un plan de mejora para la Universidad Yacambú, determinándose ocho (8) acciones, las cuales sirvieron para generar el objetivo estratégico para la Responsabilidad Social Universitaria. La propuesta se desarrolló con base en la información obtenida de las etapas anteriores, de acuerdo con el ciclo de Deming o ciclo PDVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar), donde se establecieron la planificación y programación de las actividades a realizar (Diagrama de

Gantt), Plan de Actividades 7.4 Prácticas para Integrar la Responsabilidad Social en toda la Organización de la Norma ISO 26000:2010, Plan de Capacitación, Indicadores de Gestión y Plan de 5W + 1H.

### Referencias

- González, H. (29 de julio de 2014). *Método AUTORSE*. Diario responsable.  
<https://diarioresponsable.com/opinion/18035-rse-iso26000-empresas->
- Secretaría Central de ISO. (2010). *ISO 20006, Guía de Responsabilidad Social*. ISO.  
<https://www.americalatinagenera.org/wp-content/uploads/2014/09/U4ISO26000.pdf>

## COMPARACIÓN DEL MEDIO FILTRANTE EN PROCESO DE ELABORACIÓN DE SANGRÍA EN LA EMPRESA BODEGAS POMAR C.A.

### COMPARISON OF FILTERING MEDIUM IN THE PROCESS OF MAKING SANGRIA AT THE COMPANY BODEGAS POMAR C.A.

Rebeca Anaís Pineda Betancourt<sup>1</sup>

 <https://orcid.org/0009-0005-8377-8292>

Recibido: 23-05-2025

Aceptado: 06-06-2025

#### Resumen

Esta investigación tiene como objetivo evaluar comparativamente el rendimiento de tres medios filtrantes utilizados en el proceso de elaboración de sangría en Bodegas Pomar C.A., ubicada en Carora, estado Lara, a fin de garantizar un producto de calidad que cumpla con los estándares de la empresa. El estudio se desarrolla bajo el paradigma positivista, con enfoque cuantitativo, en modalidad de proyecto especial y diseño campo. Se estructura en tres etapas. En la primera, se realiza un diagnóstico de la situación actual mediante observación directa, entrevistas no estructuradas, encuestas y registros, utilizando instrumentos validados por juicio de expertos y con confiabilidad KR-20 de 0,7730. En la segunda etapa, se caracteriza el sistema y los medios filtrantes, estableciendo parámetros para la simulación. La tercera etapa comprende una propuesta dividida en dos fases: el estudio técnico, con simulaciones de laboratorio para los tres medios; y el estudio económico, que estima un ahorro anual del 10,32% con el proveedor seleccionado. Se concluye que es necesario sustituir el actual proveedor de tierra diatomea, recomendando una alternativa viable que cumple con los requerimientos técnicos y económicos del proceso.

**Palabras clave:** Medio filtrante, tierra diatomea, filtración, simulación.

#### Abstract

This research aims to comparatively evaluate the performance of three filter media used in the sangría production process at Bodegas Pomar C.A., located in Carora, Lara state, in order to ensure a quality product that meets the company's standards. The study is developed under the positivist paradigm, with a quantitative approach, as a special project in a descriptive, field-based, cross-sectional, and experimental design. It is structured in three stages. The first stage involves diagnosing the current situation through direct observation, unstructured interviews, surveys, and data recording, using validated instruments evaluated by expert judgment and a KR-20 reliability coefficient of 0.7730. The second stage characterizes the system and the filter media, establishing values for the simulation process. The third stage presents a proposal in two phases: a technical study, consisting of laboratory simulations of the three filter media, and an economic study, estimating an annual cost saving of 10.32% with the selected supplier. The study concludes that it is necessary to consider replacing the current diatomaceous earth supplier, recommending a viable alternative that meets both technical and economic requirements for implementation.

**Keywords:** Filter media, diatomaceous earth, filtration, simulation.

<sup>1</sup> Universidad Yacambú. Venezuela. Correo: [y-29685764@micorreo.uny.edu.ve](mailto:y-29685764@micorreo.uny.edu.ve)

## Introducción

La producción de bebidas alcohólicas, como la sangría, ha evolucionado significativamente en respuesta a las demandas de calidad y competitividad en el mercado global. En este contexto, la filtración desempeña un papel crítico, asegurando la claridad y estabilidad microbiológica del producto final. Este proceso es esencial no solo para cumplir con los estándares de calidad, sino también para preservar las características organolépticas que distinguen a los productos de alta gama.

Razón por la cual, las empresas dedicadas a la fabricación de bebidas alcohólicas tienden a emplear medios filtrantes que permitan mantener la calidad del producto, así como garantizar la inocuidad de este, de manera que satisfaga el paladar de los clientes. Dichos medios filtrantes, dependerán de los requerimientos de la empresa, por ello la selección, adquisición e implementación de estudios para determinar el mejor, es una tarea indispensable que permite a la misma, mantenerse a la vanguardia de las exigencias y expectativas internacionales y nacionales.

Bodegas Pomar C.A., empresa venezolana líder en el sector vinícola, enfrenta actualmente una dificultad operativa asociada al suministro de tierra diatomea, medio filtrante fundamental para su línea de producción de sangría “La Caroreña”. Ante la inestabilidad en la distribución del proveedor tradicional, la organización se ve en la necesidad de evaluar alternativas viables que garanticen la continuidad del proceso, sin comprometer la calidad del producto ni la eficiencia económica. Esta situación plantea la importancia de realizar una investigación comparativa entre distintos proveedores del insumo filtrante, considerando aspectos técnicos, económicos y de calidad.

Así mismo, se presentan los resultados obtenidos a partir de pruebas piloto y análisis comparativos realizados bajo condiciones controladas. De esta manera, los resultados ofrecen una perspectiva integral sobre el desempeño de cada proveedor, permitiendo establecer recomendaciones estratégicas para la optimización del proceso de filtración, orientadas a fortalecer la competitividad y sostenibilidad de Bodegas Pomar C.A. en el mercado local e internacional.

La investigación no solo busca contribuir al mejoramiento de los procesos productivos de la empresa, sino también servir como referencia para futuras investigaciones en la industria vinícola, fomentando la adopción de prácticas innovadoras y sostenibles. La presente investigación se desarrolla en tres etapas: en la primera etapa se realiza un diagnóstico de las condiciones actuales del sistema de filtración; en la segunda etapa se caracteriza el sistema y los medios filtrantes evaluados; y en la tercera etapa se presenta una propuesta dividida en una fase técnica y una fase económico-financiera, con el fin de determinar la alternativa más eficiente y viable para el proceso de elaboración de sangría.

## Materiales y Métodos

La investigación está orientada por el paradigma positivista, como sustento epistemológico, bajo un enfoque cuantitativo, modalidad proyecto especial, con un diseño de campo. El estudio se llevó a cabo en la planta de producción de Bodegas Pomar C.A., ubicada en Carora, estado Lara, durante el período comprendido entre septiembre de 2024 y abril de 2025.

La población de esta investigación estuvo conformada por cuatro trabajadores del área de filtrado en Bodegas Pomar C.A.: un maestro enólogo, un supervisor y dos operadores, quienes representan la totalidad de los empleados involucrados directamente en el proceso de producción de sangría. Siguiendo el criterio de Hurtado (2008), “no es necesario realizar muestreo, cuando la población consta de menos de 100 integrantes”, por lo que se consideró al grupo completo como muestra. Además, se definió como unidad objeto de estudio los nueve medios filtrantes suministrados por tres proveedores: Imerys, Dicalite y Chemviron, cada uno con tres tipos de tierra diatomea (fina, media y gruesa), que varían en su capacidad de retención, velocidad de flujo y claridad del producto final. La evaluación de estos medios permitirá determinar cuál ofrece el mejor desempeño técnico, económico y de calidad, contribuyendo a optimizar el proceso de elaboración de sangría en la empresa.

La investigación se estructuró en tres etapas. En la primera etapa se diagnosticaron las condiciones actuales del sistema de filtración, mediante la aplicación de técnicas e instrumentos como observación directa, entrevistas no estructuradas y encuestas. Para ello se diseñó una hoja de registro de operación, una ficha de caracterización del sistema filtrante y un cuestionario compuesto por diez preguntas dicotómicas (sí/no), dirigido al personal de operación y validado mediante juicio de expertos. Este instrumento obtuvo un coeficiente de confiabilidad KR-20 de 0,7730, considerado alto.

La segunda etapa consistió en la caracterización técnica del sistema de filtración y los tres medios filtrantes evaluados, suministrados por los proveedores Chemviron, Dicalite e Imerys. Esta caracterización incluyó parámetros como consumo en gramos por hectolitro (g/hL), tiempo de duración del ciclo de filtrado, volumen de sangría filtrada por ciclo, concentración de hierro a la salida del filtro y carga microbiológica remanente. Los ensayos se realizaron bajo condiciones estandarizadas de operación en planta piloto, con lotes controlados de sangría base.

En la tercera etapa se diseñó y aplicó una propuesta dividida en dos fases. La primera fase contempló el estudio técnico mediante simulación del comportamiento de cada medio filtrante en condiciones homogéneas, utilizando el filtro industrial de la empresa. La segunda fase consistió en un estudio económico-financiero en el que se analizaron los precios por saco de tierra diatomea, el

rendimiento de cada medio, y se calculó el porcentaje de ahorro anual estimado para la empresa al seleccionar el proveedor más eficiente.

El análisis de datos se efectuó mediante técnicas estadísticas descriptivas, utilizando promedios, porcentajes y gráficos comparativos. Se elaboraron cuadros de evaluación técnica y económica, que permitieron contrastar el desempeño de cada proveedor con base en criterios de eficiencia, calidad del producto y costo-beneficio.

## Resultados o Hallazgos

### Etapa I. Diagnóstico de las Condiciones Actuales

El diagnóstico representado en la Tabla 1, permitió identificar que, aunque el filtro se encuentra operativo y sin fallas aparentes, existen problemas puntuales relacionados con la turbidez de la sangría producida, producto de irregularidades en la filtración. Adicionalmente los operarios indicaron que se han identificado problemas de variación de presión y flujo durante los procesos de operación, no obstante, se realizan las medidas correctivas.

**Tabla 1**

*Hoja de Registro Sistema de Filtrado*

	Hoja de Registro Sistema de Filtrado	Fecha: 15/02/2025
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Debido a la materia prima empleada para la fabricación del mosto de uvas importado, se le ha detectado problemas de turbidez en la sangría, debido a problemas en el proceso de filtración.</li><li>2. Las pre-capas se mantienen según el procedimiento establecido, el cual ha tiene un desempeño eficiente, por lo que se mantiene el mismo tipo de medio filtrante.</li><li>3. El estado general del filtro actualmente es operativo y sin fallas.</li><li>4. La empresa tiene establecidos indicadores para evaluar el desempeño del filtro, los cuales son determinación de turbidez, presión de entrada y salida del producto filtrado, cantidad de kilogramos de tierra infusoria consumido y caudal del producto filtrado.</li><li>5. Para de cada ciclo de operación, se sigue protocolos de preparación del filtro, para ello se procede a dosificar la tierra diatomea, de acuerdo con la receta establecida, la cual indica las cantidades de cada una de las tierras que conforman el lecho.</li><li>6. No se han hecho evaluaciones para cambios de medios filtrantes, sin embargo, se han presentado problemas con los proveedores, por lo que se requiere contar con alternativas.</li><li>7. Se han identificado problemas de variación de presión y flujo durante los procesos de operación, no obstante, se realizan las medidas correctivas.</li></ol>		

*Nota.* Rebeca Pineda (2025).

Seguidamente, se procedió a calcular la frecuencia y porcentaje de los cuestionarios aplicados a la muestra de estudio, los cuales se agruparon de acuerdo con los indicadores del cuadro de operacionalización de las variables: Mano de Obra, Método y Mantenimiento. Los resultados más relevantes se presentan a continuación:

- **Indicador Mano de Obra**

El 100% del personal sigue el protocolo de preparación del filtro y monitorea parámetros de flujo; sin embargo, solo el 75% ha recibido capacitación formal.

- **Indicador Método**

Se realizan pruebas de calidad regularmente (100%), se usa la tierra diatomea según recomendaciones del fabricante (100%), y se dispone de documentación técnica (100%). No obstante, el 25% indica que no existen procedimientos operacionales formalizados.

- **Indicador Mantenimiento**

El filtro no ha recibido mantenimiento preventivo en el último mes (100%), y solo el 25% reportó mantenimiento correctivo. A pesar de estar operativo, el 100% reportó fallas durante su uso, lo cual evidencia deficiencias en la gestión de mantenimiento.

**Etapa II. Caracterización de Parámetros de Control**

La Tabla 2 se realizó empleando la observación directa y la entrevista no estructurada, esto permitirá posteriormente establecer los parámetros de control en el laboratorio de la empresa, con la finalidad de simular y conocer el comportamiento de los diferentes tipos de medios filtrantes.

**Tabla 2**

*Caracterización de Parámetros de Control*

 <b>Hoja de Registro</b> <b>Caracterización de Parámetros de Control</b>		Fecha: 15/02/2025
Tipo de Filtro:	BUCHER	
Modelo de Filtro:	SYNOX PF 1500/4700	
Medio Filtrante:	Tierra Diatomea (Chemviron)	
Frecuencia de uso del filtro:	Lunes a viernes, en jornadas de 8 horas continuas.	
<b>Variables de Control del Filtrado</b>		
Mecanismos de filtración	Retención de partículas en el medio filtrante.	
Tiempo promedio dura cada ciclo de filtración.	Para un volumen de 50.000 Litros el promedio es de 3,5 horas.	

Área de filtración	89 m <sup>2</sup>
Parámetros de control físicos	Control de presión diferencial de entrada/salida, seguimiento de flujo y cantidad de tierra infusoria por ciclo
Rendimiento (litros filtrados por cantidad de material usado).	80-120 gramos de tierra diatomea por hectolitro
Capacidad de Filtración	35000 L/h
Conservación de las propiedades organolépticas del producto.	Se mantiene la claridad, color y estabilidad del producto con variaciones menores al 5% en sus propiedades físico-químicas
Duración del ciclo de filtración en horas totales del ciclo.	22 horas en promedio
Desempeño del aumento de la presión de entrada en función de los litros filtrados.	Aumento gradual de presión después de 3000 hL filtrados, alcanzando el valor máximo cercano al retro lavado.
Flujo de filtración (constante y al valor nominal)	350 hL/h
<b>Variables de Control del Medio Filtrante Actual</b>	
	DIC, CBR, CBL3 (Chemviron)
Tipos de medio filtrante	
Porosidad	DIC (Gruesa), CBR (Media) y CBL3 (Fina)
Permeabilidad	Alta en tierras gruesas, moderada en tierras medias y baja en tierras finas.
Turbidez del vino a la salida del filtro	<1,5 EBC (European Brewing Convention)
Volumen de vino filtrado por ciclo de preparación del filtro	6093 hectolitros en promedio
Concentración de hierro en el producto filtrado	< 0.20mg/L

*Nota.* Rebeca Pineda (2025).

### Etapa III. La Propuesta, Fase I Estudio Técnico

Para la realización de las pruebas del proceso de filtrado para evaluar los medios filtrantes, se empleó el laboratorio de calidad interno de la planta Pomar, ubicado en la Carretera Lara-Zulia, Kilometro 1, Zona Industrial, Carora, estado Lara.

La tierra diatomea (kieselguhr) a evaluar proviene de tres proveedores Chemviron, Dicalite e Imerys, donde se buscó compararon los rendimientos del proceso de filtrado en condiciones similares a las del kieselguhr CLARCEL-Chemviron utilizado habitualmente en POMAR, cuyas especificaciones son: el filtro de velas BUCHER modelo SYNOX PF 1500 / 4700, con una superficie de filtración de 89 m<sup>2</sup> y un flujo nominal de filtración de 350 hL/h. En la Figura 1 se muestra las características de los medios filtrantes empleados y en la Tabla 3 las respectivas presentaciones de medio filtrante.

Figura 1

Características del Medio Filtrante

Proveedor:	Imerys (celite)	Chemviron (Clarcel)	Perméa. (Dary)	Densité (humide) (gr/m <sup>3</sup> )	DICALITE	Perméa. (Dary)
<b>FINA</b>	<b>Filter-Cel® EBC</b>	Kieselguhr fin				
Property	Min Limit    Max Limit    Units	CBL	0.045-0.110	≤ 0.4	Superaid	< 0.13
Permeability	0.04    0.13    darcy	CBL <sub>3</sub>	0.025-0.058	≤ 0.4		
<b>MEDIA</b>	<b>Standard Super-Cel® EBC</b>	Kieselguhr moyen				
Property	Min Limit    Max Limit    Units	CBR	0.080-0.220	≤ 0.41	Speedflow	0.13-0.27
Permeability	0.16    0.36    darcy	CBR <sub>3</sub>	0.160-0.450	≤ 0.41		
<b>GRUESA</b>	<b>Hyflo® Super-Cel® EBC</b>	Kieselguhr gros				
Property	Min Limit    Max Limit    Units	DIC/B	0.80-1.80	≤ 0.43	Speedplus	0.70-1.10
Permeability	0.73    1.60    darcy	DIF/BO	0.9-1.3	≤ 0.325		
		DIC/S	2.4-4.0	≤ 0.405		

Nota. Información suministrada por proveedores.

Tabla 3

Formato de Kilogramos de Tierra de Diatomeas por saco de cada Proveedor

Proveedor	Tipo KG	Kilogramos por sacos
Imerys	HYFLOSUPERCEL	25
	STANDARD	25
	FILTERCEL	25
Dicalite	SPEED PLUS	22,7
	SPEED FLOW	22,7
	SUPERAID	22,7
Chemviron	DIC	25
	CBR	20
	CBL3	20

Nota. Rebeca Pineda (2025).

Se llevó a cabo una simulación para evaluar el desempeño de tres tipos de tierra diatomea (Chemviron, Dicalite e Imerys) bajo condiciones operativas controladas, cada uno de los cuales ofrece tres presentaciones con diferente granulometría: gruesa, media y fina. Estas variantes son utilizadas de forma complementaria durante el proceso, ya que el filtro requiere la combinación de los tres tipos para formar una estructura de filtración en profundidad que garantice una mayor eficiencia y claridad del producto. Durante el ciclo completo de filtración con el filtro BUCHER modelo SYNOX PF 1500/4700, se realizó un monitoreo continuo de variables como presión de entrada y salida, flujo, tiempo efectivo y colmatación, registrando los datos cada media hora.

A mitad de cada ciclo se tomaron muestras para analizar la calidad del producto filtrado. Se determinaron los niveles de hierro mediante espectrofotometría de absorción atómica y se realizó una evaluación microbiológica a través de cultivos en medios selectivos e incubación controlada, identificando posibles levaduras y bacterias.

Este procedimiento permitió obtener una visión integral del rendimiento técnico y microbiológico de cada medio filtrante, facilitando una comparación objetiva que contribuyó a identificar la opción más eficiente para el proceso de elaboración de sangría. Los resultados de evaluación comparativa del medio filtrante se muestran a continuación en la tabla 4:

**Tabla 4**

*Consumo Gramos por Proveedor / hectolitros (hL)*

Proveedor	Tipo	g/hL por tipo de kieselguhr	Promedio global (g/hL)
IMERYS	HYFLOSUPERCEL	9,2	46,9
	STANDARD	28,8	
	FILTERCEL	8,9	
DICALITE	SPEED PLUS	13,2	51,7
	SPEED FLOW	29,7	
	SUPERAID	8,8	
CHEMVIRON	DIC	8,3	45,5
	CBR	29,0	
	CBL3	8,2	

*Nota.* Rebeca Pineda (2025).

La Tabla 4 evidencia que el consumo de tierra diatomea es similar entre los tres proveedores, aunque Dicalite presenta un uso ligeramente mayor, posiblemente debido al formato de sus sacos de 22,7 kg, que complica una dosificación precisa. De igual forma, se procedió a realizar un cuadro comparativo con respecto a los tres (3) ciclos ejecutados, para luego obtener la tabla 5.

**Tabla 5**

*Cantidad de Sangría Filtrada por Ciclo por Proveedor*

Proveedor	hL de sangría filtrada/ciclo	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Promedio	Promedio*
IMERYS	Total Sangría	6600	8100	3600	<b>6100</b>	
DICALITE	Total Sangría	6234	607	7500	4780	<b>6867</b>
CHEMVIRON	Total Sangría	6593	8084	3602	<b>6093</b>	

(\*) Promedio entre el ciclo 1 y 3.

*Nota.* Rebeca Pineda (2025).

En la Tabla 5, se muestra un promedio de 6093 a 6867 hectolitros de Sangría filtrados por ciclo. Para cada proveedor, observamos ciclos de producción máximos de 8100, 7500 y 8084 hL de Sangría respectivamente. En el segundo ciclo de filtración del proveedor Dicalite, hubo un aumento temprano de la presión del filtro debido a un nuevo tanque de sangría antes del proceso de filtración (es posible que la purga de la levadura no se haya realizado correctamente antes de la filtración). Seguidamente, se realizó la Tabla 6 que muestra la Duración del Ciclo de Filtración.

**Tabla 6**

*Duración del Ciclo de Filtración*

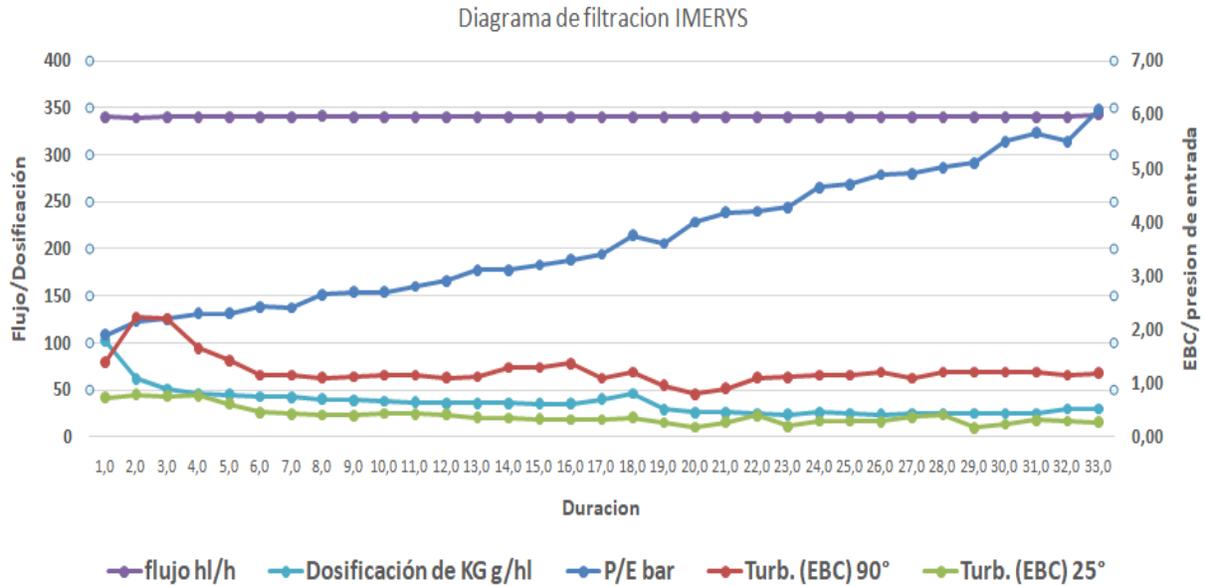
Proveedor	Horas de filtración	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Promedio	Promedio (*)
IMERYS	Tiempo total (h)	33	38	13		
	Tiempo recirculación (h)	11	7	1		
	<b>Tiempo efectivo (h)</b>	22	31	12	<b>22</b>	
DICALITE	Tiempo total (h)	40	3	42		
	Tiempo recirculación (h)	18		16		
	<b>Tiempo efectivo (h)</b>	22	3	26	17	<b>24</b>
CHEMVIRON	Tiempo total (h)	28	36	28		
	Tiempo recirculación (h)	5	16	4		
	<b>Tiempo efectivo (h)</b>	23	20	24	<b>22</b>	

*Nota.* Rebeca Pineda (2025).

En la Tabla 6, se muestra la duración (horas) por ciclo en el proceso de filtrado por proveedor, donde se obtiene que los tiempos promedio de ciclo fueron similares para los tres proveedores (entre 22 y 24 horas en total). De igual forma, se procedió a realizar los diagramas que describe la Presión de Entrada, Dosificación de kieselguhr (KG) y Turbidez A 90° Y 25° para los tres proveedores en estudio.

**Figura 2**

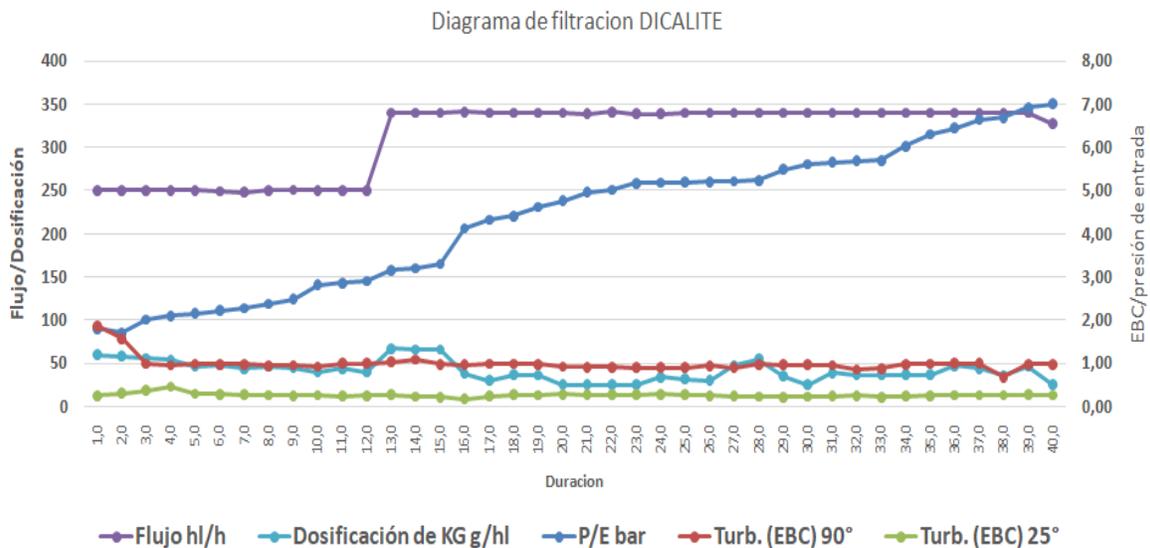
*Diagrama de Filtración de IMERYS*



Nota. Rebeca Pineda (2025).

**Figura 3**

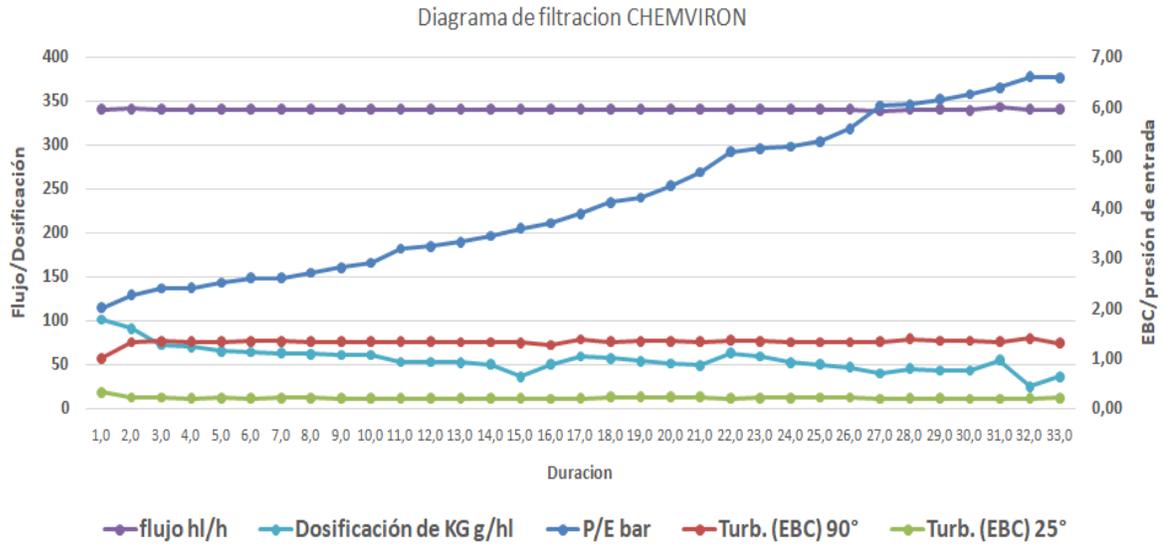
*Diagrama de Filtración de DICALITE*



Nota. Rebeca Pineda (2025).

**Figura 4**

*Diagrama de Filtración de CHEMVIRON*



*Nota.* Rebeca Pineda (2025).

Los diagramas muestran el aumento progresivo de la variación de la presión entrada vs salida, reflejando el dosificado adecuado (cantidad) de tierra de diatomeas a lo largo del ciclo. Para los tres proveedores, los resultados de la medición en línea de la turbidez a 90° estuvieron entre (0,9 y 1,3) European Brewery Convention (EBC), ciertamente fuera de los límites de las especificaciones técnicas del proceso de la empresa; cabe señalar que aún estamos optimizando y calibrando este instrumento en línea con el soporte del fabricante BUCHER.

Al inicio de la figura 3, se observa un caudal de filtración de 250 hL/h debido a la filtración de la Sangría. La turbidez a 25° es conforme (<0,3 EBC) para los tres proveedores. Posteriormente, en la Tabla 7, se muestra el resultado para el Análisis de Hierro (mg/L) a la Salida del Filtro.

**Tabla 7**

*Análisis de Hierro (mg/L) a la Salida del Filtro*

Proveedor	Presión de entrada	Hierro (mg/L)
Imerys	2 bar	0.07
	4 bar	0.06
	6 bar	0.03
	<i>Recirculación 2h</i>	<b>0.21</b>
Dicalite	2 bar	0.08
	4 bar	0.05

<b>Chemviron</b>	6 bar	0.02
	<b>Recirculación 2h</b>	<b>0.28</b>
	2 bar	0.12
	4 bar	0.09
	6 bar	0.09
	<b>Recirculación 2h</b>	<b>0.20</b>

Nota. Rebeca Pineda (2025).

Para la Tabla 7, los resultados muestran una concentración más alta de hierro con el proveedor CHEMVIRON, lo cual es coherente con las pruebas anteriores realizadas en Pomar. Para los tres proveedores, durante una recirculación de 2 horas por espera de un tanque de Sangría filtrada disponible, se observaron valores de hierro de entre 0,2 y 0,28 mg/L. Por último, se procedió a evaluar el aspecto microbiológico representados la Tabla 8, respecto a la Levadura de la Sangría a la Salida del Filtro (inicio, mitad y fin del ciclo a partir de una misma presión de entrada).

**Tabla 8**

*Evaluación Microbiológica*

Proveedor	Presión de entrada	Caldo Wallerstein nutriente (WLN)	Caldo Wallerstein Diferencial (WLD)	levadura, malta + cobre inibidor (YM+Cu)	Man, Rogosa y Sharpe (MRS)
<b>Imerys</b>	2 bar	11	19	0	0
	4 bar	0	0	0	0
	6 bar	0	0	0	0
<b>Dicalite</b>	2 bar	0	0	0	0
	4 bar	7	3	0	0
	6 bar	40	0	0	0
<b>Chemviron</b>	2 bar	10	5	0	0
	4 bar	0	0	0	0
	6 bar	0	0	0	0

Nota. Rebeca Pineda (2025).

En la Tabla 8, respecto al análisis microbiológico por tipo de proveedor, los resultados fueron conformes para los medios de cultivo YM+Cu y MRS, sin recuento de células por mililitro a la salida del filtro durante las pruebas. Por lo tanto, de los resultados obtenidos se puede concluir que es posible utilizar kieselguhr de los proveedores IMERYS y DICALITE con resultados similares a los del proveedor

CHEMVIRON, utilizado normalmente en Bodegas Pomar. Los resultados de turbidez a 25° y 90° y el incremento de la variación de la presión de entrada vs salida fueron similares entre los tres proveedores.

El consumo de tierra de diatomeas (g/HL) es muy similar entre los tres proveedores, con un ligero aumento en el proveedor Dicalite, probablemente debido al formato de saco de 22,7 kg. Los resultados muestran una concentración más alta de hierro con CHEMVIRON, lo que concuerda con pruebas anteriores. Con el uso del filtro de velas BUCHER modelo SYNOX PF 1500 / 4700, el consumo medio de kieselguhr fue mayor (3 veces) en comparación con el kieselguhr fino y grueso.

De lo anteriormente descrito, se considera como medio filtrante óptimo, a Imerys, debido a que cumple con los requerimientos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos del proceso de filtración de la Sangría.

### Discusión

#### Etapa III. La propuesta, fase II estudio Económico – Financiero

De acuerdo con el estudio técnico realizado, se puede evidenciar que el medio filtrante a emplear en el sistema de filtrado de la empresa Imerys para la elaboración de Sangría, el cual tiene un costo de 1612 EUR/ Tonelada.

El proveedor actual, ofrece un precio de 591 euros por tonelada, con un consumo anual estimado de 9 toneladas, lo que representa un costo total anual de 5.319 euros. Por su parte, el proveedor Imerys, seleccionado como alternativa, presenta un precio por tonelada de 530 euros para el mismo volumen anual, resultando en un costo total anual de 4.770 euros. Esta diferencia refleja una reducción significativa en los costos del insumo clave para el proceso de filtración.

El porcentaje de ahorro es una herramienta esencial para evaluar la eficiencia económica de los recursos utilizados y medir el impacto de una inversión en términos de reducción de costos. En este contexto, se calcula el porcentaje de ahorro anual:

$$\% \text{Ahorro Anual} = \frac{\text{Costo Chemviron} - \text{Costo Imerys}}{\text{Costo Chemviron}} * 100$$

$$\% \text{Ahorro Anual} = \frac{5.319 \text{ EUR} - 4.770 \text{ EUR}}{5.319 \text{ EUR}} * 100 = 10,32\%$$

El ahorro anual estimado de (10,32%), lo que representa una reducción significativa en los costos de insumos para el proceso de filtración. Aunque esta disminución puede no parecer sustancial a primera vista, el verdadero valor radica en el impacto a nivel de gestión operativa. La selección de Imerys como proveedor no solo disminuye los costos, sino que también simplifica la cadena de suministro, reduciendo

la necesidad de gestiones adicionales, como trámites con múltiples proveedores, análisis de calidad adicionales y ajustes operativos.

Además, es importante resaltar que la tierra diatomea de Imerys no solo es más económica, sino que también mantiene la calidad del producto final. Los resultados de análisis realizados muestran que el desempeño de filtración y las características organolépticas de la sangría se mantienen prácticamente idénticas a las obtenidas con Chemviron, garantizando así la estabilidad y claridad del producto sin comprometer los estándares de calidad exigidos.

Esta optimización se traduce en una mayor eficiencia del proceso productivo, liberando recursos tanto humanos como financieros para ser reinvertidos en otras áreas estratégicas de la empresa. Por lo tanto, la adopción de esta alternativa representa un beneficio integral para Bodegas Pomar, mejorando no solo la estructura de costos, sino también la estabilidad y previsibilidad en el suministro de un insumo clave.

### **Conclusiones o Reflexiones**

En la Etapa I, relacionada con el Diagnóstico de las Condiciones Actuales, por medio de la observación directa y la entrevista no estructurada, se obtuvo que el estado general del filtro actualmente es operativo y sin fallas, y no se han hecho evaluaciones para cambios de medios filtrantes, sin embargo, se han presentado problemas con los proveedores, por lo que se requiere contar con alternativas.

De la aplicación de la encuesta por medio del cuestionario, se estudiaron los indicadores mano de obra, método y mantenimiento, obteniéndose que los encuestados establece que el personal sigue un protocolo establecido para la preparación del filtro antes de cada ciclo. Asimismo, se realizan pruebas de calidad del filtrado de manera regular, no obstante, el filtro no ha sido sometido a mantenimiento preventivo en el último mes, lo que indica una deficiencia en la gestión del mantenimiento preventivo del filtro.

En la Etapa II, se realizó la Caracterización de Parámetros de Control, empleando la observación directa y la entrevista no estructurada, obteniéndose que el Tipo de Filtro es BUCHER, modelo SYNOX PF 1500/4700, cuyo Medio Filtrante es la Tierra Diatomea (Chemviron), así como las diferentes variables de control del filtrado y medio filtrante actual, lo que servirá de comparativa en el proceso de evaluación de este.

Se elaboró en la Etapa III representado en el Capítulo V La Propuesta, dividida en dos (2) fases, la primera el Estudio Técnico que contiene Simulación de las Pruebas del Proceso de Filtrado: a. Condiciones del Proceso de Simulación y b. Procedimiento de Simulación y Evaluación Comparativa del Medio Filtrante, dando como resultado que el medio filtrante que puede ser empleado es Imerys como alternativa.

La segunda, referida al Estudio Económico – Financiero, donde se abordaron el Costo de la tonelada del material filtrante por tipo de proveedor seleccionado y el porcentaje de ahorro, concluyendo que Imerys no solo representa un ahorro significativo del 10,32%, sino también una mejora en la gestión operativa y el mantenimiento de la calidad del producto final.

### Referencias

Hurtado, J. (2008). *El proyecto de investigación. Comprensión holística de la metodología y la investigación*. (4a. ed.). Quirón Ediciones.

## RECUPERACIÓN DE MATERIALES SEMICONDUCTORES PARA UNA ECONOMÍA SOSTENIBLE

### RECOVERY OF SEMICONDUCTOR MATERIALS FOR A SUSTAINABLE ECONOMY

Brucelee Alexander Noguera Manzanilla<sup>1</sup>

 <https://orcid.org/0009-0000-5980-0609>

María Celeste Marín González<sup>2</sup>

 <https://orcid.org/0009-0006-0272-2885>

Recibido: 10-05-2025

Aceptado: 05-06-2025

#### Resumen

Este artículo investiga la aplicación de la recuperación de semiconductores y materiales críticos presentes en residuos urbanos, integrando un enfoque técnico y sostenible. Se analizan tres etapas fundamentales: en la fase de recuperación se evalúan métodos de extracción y se presentan casos de estudio que ilustran tanto los desafíos técnicos como las oportunidades para optimizar el proceso; en el procesamiento se detallan las técnicas de purificación que transforman residuos en materiales de alto valor; y en la re inserción se propone la reincorporación de estos semiconductores en la cadena productiva, fomentando la economía circular. La investigación se sustenta en un diseño exploratorio con un enfoque cualitativo. Se aplicó una metodología basada en la revisión documental de estudios de caso y cuadros comparativos, integrando perspectivas técnicas, ambientales y socioeconómicas. Además, se enfatizan objetivos sostenibles clave: reducir la huella de carbono mediante procesos energéticamente eficientes, minimizar los residuos valorizando subproductos y conservar los recursos naturales al disminuir la dependencia de la minería primaria. Los hallazgos ofrecen un modelo integral que fortalece la sostenibilidad ambiental y promueve políticas y estrategias innovadoras para un desarrollo responsable.

**Palabras clave:** semiconductores, economía circular, minería, sostenibilidad ambiental, recursos críticos.

#### Abstract

This article investigates the application of the recovery of semiconductors and critical materials present in urban waste, integrating a technical and sustainable approach. Three fundamental stages are analyzed: in the recovery phase, extraction methods are evaluated, and case studies are presented that illustrate both the technical challenges and the opportunities to optimize the process; in the processing phase, purification techniques that transform waste into high-value materials are detailed; and in the reinsertion phase, the reintegration of these semiconductors into the production chain is proposed, promoting the circular economy. The research is based on an exploratory design with a qualitative approach complemented by secondary quantitative analysis. A methodology based on document review, case studies, and comparative tables was applied, integrating technical, environmental, and socioeconomic perspectives. In addition, key sustainable objectives are emphasized: reducing the carbon footprint through energy-efficient processes, minimizing waste by valuing by-products, and conserving natural resources by decreasing dependence on primary mining. The findings offer a comprehensive model

<sup>1</sup> Universidad Yacambú. Venezuela. Correo: [y-27397025@micorreo.uny.edu.ve](mailto:y-27397025@micorreo.uny.edu.ve)

<sup>2</sup> Universidad Yacambú. Venezuela. Correo: [y-30025956@micorreo.uny.edu.ve](mailto:y-30025956@micorreo.uny.edu.ve)

that strengthens environmental sustainability and promotes innovative policies and strategies for responsible development

**Keywords:** Semiconductors, circular economy, mining, environmental sustainability, critical resources.

### Introducción

El acelerado avance de la tecnología y la digitalización han transformado de manera profunda la producción y el consumo de dispositivos electrónicos a nivel global. El incremento exponencial en la fabricación de aparatos, desde computadoras y teléfonos móviles, hasta paneles solares y sistemas de comunicación, han dado lugar a una acumulación sostenida de residuos electrónicos, denominados RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos). Estos residuos, objeto de preocupación tanto ambiental como económica, poseen en su composición una concentración significativa de materiales de alto valor y componentes críticos, en particular semiconductores, que resultan esenciales para la fabricación de microchips y otros dispositivos de alta tecnología. Al mismo tiempo, la extracción de dichos insumos a partir de minerales vírgenes, mediante minería primaria, ha demostrado ser costosa y altamente contaminante, generando impactos negativos sobre los ecosistemas, contribuyendo a la degradación de suelos y a la emisión de gases de efecto invernadero.

Ante este escenario, la recuperación de materiales surge como una estrategia innovadora y sostenible, orientada a la recuperación de materiales valiosos a partir de desechos electrónicos. Esta solución técnica permite extraer y acondicionar insumos primarios de alta calidad, sin recurrir a la explotación de nuevos yacimientos. La transformación de RAEE en recursos útiles no solo fortalece la economía circular, sino que también contribuye a reducir la presión sobre el medio ambiente, al disminuir la dependencia de los procesos extractivos tradicionales. Por esto, se realizará un análisis de manera integral sobre el proceso de minería urbana aplicado a semiconductores y materiales críticos, abordando sus etapas, retos y beneficios en el marco de modelos teóricos que favorecen la sostenibilidad.

Para analizar de forma integral el proceso de recuperación, procesamiento y reinserción de semiconductores, este estudio emplea una metodología exploratoria de enfoque cualitativo, complementada con análisis cuantitativos secundarios. Se realizó una revisión documental de fuentes académicas, informes institucionales y casos de implementación práctica, lo que permitió contrastar marcos teóricos como la economía circular, el metabolismo y la ecología industrial con experiencias reales en la transformación de RAEE.

El presente estudio reconoce que la problemática asociada al manejo de los RAEE no se limita a la mera disposición final de residuos, sino que abarca cuestiones profundas relacionadas con el diseño, la producción y el ciclo de vida de los dispositivos electrónicos. La corta duración de muchos aparatos, y la

práctica de la obsolescencia programada, han llevado a que estos equipos terminen en vertederos o sean dispuestos de forma inadecuada, implicando un riesgo importante para la salud ambiental y pública. La minería urbana se define, por tanto, como el conjunto de procesos y tecnologías orientadas a convertir el residuo electrónico en materias primas, mediante la aplicación de métodos de separación, purificación y reciclaje que, en última instancia, permiten incorporar estos materiales en nuevos ciclos productivos. En contraposición a la minería primaria, la minería urbana aprovecha lo que ya ha sido extraído del medio ambiente en ciclos de producción anteriores, contribuyendo a cerrar el ciclo de vida de los productos. de esta manera, se logra una doble función. Por un lado, se extrae valor de lo que tradicionalmente se consideraba “desperdicio”; por otro, se mitigan los efectos negativos asociados con la explotación incesante de recursos naturales vírgenes.

Dentro de los materiales tratados en la minería urbana, se encuentran los semiconductores, que constituyen uno de los pilares esenciales en la industria tecnológica moderna. Su relevancia radica en la capacidad de estos materiales para controlar de forma precisa el flujo de la corriente eléctrica debido a sus propiedades de conductividad intermedia entre conductores y aislantes, lo que los hace indispensables en la fabricación de circuitos integrados y microprocesadores. Históricamente, el silicio ha sido el semiconductor predominante debido a su abundancia, sus propiedades físicas y su relativa estabilidad química. Sin embargo, el creciente requerimiento de dispositivos más rápidos y eficientes ha llevado a la introducción de otros materiales críticos en el campo de la electrónica, tales como el germanio, el galio y, en aplicaciones de alta potencia y frecuencia, compuestos basados en el arseniuro de galio (GaAs), el nitruro de galio (GaN) y el carburo de silicio (SiC).

El silicio, por ejemplo, se utiliza de manera extensiva en la fabricación de obleas para microchips, paneles solares y diversos sistemas de procesamiento. Sin embargo, las limitaciones inherentes al silicio en términos de velocidad y eficiencia energética han impulsado el desarrollo y la integración de otros materiales semiconductores. El germanio, aunque menos abundante, posee una movilidad electrónica mayor que la del silicio, lo que permite fabricar dispositivos capaces de operar a velocidades superiores, especialmente en aplicaciones de comunicación y en sensores infrarrojos. Por otro lado, el galio es fundamental para la tecnología de semiconductores compuestos; se emplea en la producción de dispositivos LED, en la fabricación de diodos emisores de luz y en aplicaciones de alta frecuencia y eficiencia energética, como en amplificadores y sistemas de radar. Asimismo, los compuestos avanzados como GaN y SiC se han consolidado en nichos especializados, donde sus propiedades, como la resistencia a altas temperaturas y la capacidad para operar a elevada tensión, ofrecen ventajas significativas en industrias como la automotriz y la energética.

La importancia de estos semiconductores y materiales críticos no solo se circunscribe a la fabricación de dispositivos electrónicos, sino que también incide en aspectos estratégicos y geopolíticos, ya que la dependencia de materias primas vírgenes para su obtención genera vulnerabilidades en la cadena de suministro. La extracción de estos elementos a partir de depósitos naturales requiere inversiones masivas y, en muchos casos, se desarrolla en zonas donde los estándares ambientales y laborales son cuestionables. En contraste, la recuperación de semiconductores a partir de RAEE, a través de la minería urbana, permite diversificar las fuentes de insumos, reducir la presión sobre los recursos naturales y favorecer una distribución más equitativa y sostenible de estos materiales. Además, este enfoque reduce el impacto ambiental inherente a la minería convencional, al disminuir la huella de carbono y minimizar la generación de desechos tóxicos.

En paralelo, la integración de la minería urbana se orienta a alcanzar objetivos ambientales y sociales estratégicos, en particular la reducción de la huella de carbono, la minimización de residuos y la conservación de los recursos naturales. La reducción de la huella de carbono se consigue, en gran medida, al reemplazar los procesos extractivos tradicionales, altamente intensivos en consumo energético y producidos con emisiones elevadas de CO<sub>2</sub>, por técnicas de recuperación basadas en el reciclaje de materiales ya existentes. Esta transformación contribuye a una disminución notable en las emisiones asociadas a la extracción y el procesamiento de materias primas vírgenes. Por otro lado, la minimización de residuos se logra a través de la valorización de subproductos, dentro del paradigma del “residuo cero”, en el que cada componente es considerado potencialmente útil. Finalmente, la conservación de recursos naturales se fortalece al extender el ciclo de vida de los semiconductores y otros materiales críticos, reduciendo la necesidad de intervenciones extractivas sobre ecosistemas frágiles.

El marco teórico que sustenta la investigación se apoya en conceptos que han redefinido los sistemas de producción en las últimas décadas. La economía circular, por ejemplo, promueve una transformación del modelo de producción lineal basado en la extracción, utilización y descarte de recursos; hacia un modelo en el que los residuos se convierten en insumos, cerrando estos ciclos y maximizando la eficiencia en el uso de los recursos (figura 1). De forma complementaria, el concepto de metabolismo industrial permite analizar los flujos de energía y materiales en las actividades productivas, identificando ineficiencias que pueden ser optimizadas para lograr una mayor sostenibilidad.

**Figura 1**

*Ventajas de un proceso circular y sostenible de materiales*

### El reciclaje ofrece la perspectiva de una cadena de valor minera más circular y sostenible

Las ventajas del ciclo de reciclado se indican con un signo +. Las desventajas se indican con un signo -.



*Nota.* Prepararse para el impacto. Tomado de: Análisis PwC (p.1). por Millán G y Rossouw A, 2024.

Por último, la ecología industrial y el concepto de simbiosis industrial fomentan la colaboración entre sectores para aprovechar los subproductos de una industria como materia prima para otra, impulsando la integración de procesos y la reducción de impactos ambientales globales. La aplicación conjunta de estos marcos teóricos no sólo justifica la viabilidad técnica y económica de la minería urbana, sino que además destaca las ventajas ambientales y sociales que se derivan de su implementación.

El análisis de casos internacionales resulta fundamental para evidenciar la factibilidad y el impacto de la recuperación de metales aplicada a semiconductores. Diversos proyectos ejecutados en países de América Latina y Asia demuestran que la aplicación de técnicas avanzadas de recuperación y reciclaje puede transformar la gestión de RAEE en una fuente de recursos estratégicos. En Brasil, por ejemplo, la iniciativa liderada por Ambipar ha conseguido extraer semiconductores y otros elementos críticos de los residuos electrónicos a través de sistemas de segregación y tratamiento especializado, reduciendo así la carga contaminante asociada con la acumulación de estos desechos y disminuyendo la presión sobre los recursos naturales (Ambipar, 2024).

De igual forma, el proyecto “Rodrigo Scrap Reciclaje Ecología”, desarrollado en Venezuela, ha convertido el manejo de residuos electrónicos en una oportunidad económica y ambiental, a través de la

recolección, reutilización y transformación de componentes dispuestos como desecho en insumos de valor (Márquez, 2022). Estos ejemplos no solo evidencian el carácter innovador de la minería urbana, sino que también resaltan su potencial para generar beneficios económicos y para promover el desarrollo sostenible.

El alineamiento de las iniciativas de minería urbana con el marco normativo y las políticas globales es otro aspecto relevante de la investigación. Diversos países han comenzado a establecer regulaciones y políticas que incentiven la recuperación de materiales críticos a partir de RAEE, en un esfuerzo por reducir la dependencia de la minería tradicional. Por ejemplo, en Estados Unidos y en la Unión Europea, se han instaurado normativas que obligan a la implementación de sistemas de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), con el fin de promover la reutilización y el reciclaje de componentes electrónicos. En particular, la Unión Europea ha impulsado el Circular Economy Action Plan, una iniciativa que establece metas ambiciosas de reciclaje y una reducción en el consumo de materias primas, respaldada por incentivos económicos y regulaciones estrictas (European Commission, 2020). Además, Baldé, et al. (2024) ha proporcionado datos relevantes sobre la magnitud del problema y las oportunidades que ofrece la minería urbana a escala mundial. Estos marcos regulatorios y políticas públicas son esenciales para fomentar la inversión en tecnologías verdes y para garantizar que la transición hacia modelos de producción sostenibles se lleve a cabo de manera sistemática y coordinada.

La relevancia de la minería urbana se extiende también al ámbito socioeconómico. La implementación de proyectos que integren esta práctica tiene el potencial de generar nuevas fuentes de empleo y de impulsar el desarrollo de modelos de negocio innovadores, especialmente en zonas urbanas con altos índices de generación de RAEE. La consolidación de redes de simbiosis industrial entre el sector público, privado y académico puede favorecer la creación de grupos de reciclaje tecnológico, en los que los residuos son convertidos en recursos que alimenten nuevamente el ciclo productivo de industrias de alta tecnología. Estas iniciativas, además de generar beneficios económicos, contribuyen a la reducción de riesgos asociados con conflictos geopolíticos y a la diversificación del suministro de materiales críticos, elementos esenciales en un contexto de globalización y de alta volatilidad en los mercados internacionales de materias primas.

El propósito del presente artículo consiste en analizar de forma exhaustiva los procesos, desafíos y oportunidades inherentes a la minería urbana de semiconductores y materiales críticos, identificando los elementos técnicos y normativos que sustentan su viabilidad y su impacto positivo en el medio ambiente. La investigación se orienta a responder interrogantes fundamentales: ¿cuáles son las etapas clave que permiten optimizar la recuperación, el procesamiento y la reinserción de insumos extraídos de

los RAEE? ¿De qué manera contribuye la implementación de estas técnicas a la reducción de la huella de carbono y a la mitigación de la contaminación generada por la minería primaria? ¿Cómo es posible integrar de manera eficaz los marcos teóricos de la economía circular, el metabolismo y la ecología industrial en los modelos de gestión de residuos?

La respuesta a estas interrogantes se espera que sirvan de base para la formulación de recomendaciones específicas orientadas a la implementación de tecnologías limpias y a la promoción de la simbiosis industrial entre sectores, favoreciendo un manejo integral de los residuos electrónicos en beneficio tanto del medio ambiente como de la economía. De esta forma, se busca demostrar que la minería urbana de semiconductores presenta un potencial considerable para transformar el manejo de los RAEE y para contribuir al desarrollo sostenible de la industria tecnológica. La utilización de materiales recuperados a través de procesos eficientes y sostenibles posibilita no sólo la reducción de efectos ambientales adversos, sino también el fomento de nuevos modelos de negocio y de colaboración intersectorial. Este enfoque integral, fundamentado en marcos teóricos y en la evidencia empírica de proyectos exitosos, es una herramienta indispensable para la planificación de políticas públicas y para la reestructuración de la cadena de suministro de materiales críticos en un mundo cada vez más interconectado y exigente en términos de sostenibilidad.

## **Materiales y Métodos**

### **Diseño de la Investigación**

El estudio se estructuró bajo un diseño exploratorio con un enfoque cualitativo, complementado con análisis de estudios de casos. Asimismo, la investigación se estructuró integrando perspectivas técnicas, ambientales y socioeconómicas. Se adoptó la técnica de revisión documental, centrado en el análisis de fuentes secundarias que abarcan estudios científicos, informes institucionales y casos de implementación práctica. Este modelo permitió evaluar la coherencia entre los marcos teóricos y las experiencias aplicadas, sin requerir la recolección de datos primarios.

La investigación se situó en un escenario donde los RAEE representan el flujo de residuos de más rápido crecimiento a nivel global, con 53.6 millones de toneladas generadas en 2024 y una tasa de reciclaje inferior al 20% (Baldé, et al. 2024). En otras palabras, el contexto de estudio se delimitó a la gestión de residuos electrónicos (RAEE), con énfasis en la recuperación de semiconductores como silicio, galio, germanio y compuestos avanzados (GaN, SiC). La población analizada incluyó:

- Ambipar Group (Brasil): Procesó 80,000 toneladas/año de RAEE mediante trituración mecánica y separación magnética, recuperando 1.2 toneladas de oro y 8.5 toneladas de plata anualmente (Ambipar Group, 2024).
- Midas (Chile): Especializada en hidrometalurgia, logró concentraciones de cobre del 20% en placas de circuitos, superando la eficiencia de yacimientos naturales (Cerda, 2023).
- Plantas en la UE: Implementan refinación por solventes para extraer tierras raras de paneles solares, reduciendo importaciones en un 15% (Millán & Rossouw, 2024).
- Iniciativas en Venezuela, Estado Lara como Rodrigo Scrap.
- Normativas globales, entre ellas el *Circular Economy Action Plan* de la Unión Europea y el *Global E-Waste Monitor* (Forti, et al. 2020).

Por otro lado, el marco teórico combinó tres pilares:

### ***Economía Circular***

Para evaluar cómo la minería urbana cierra ciclos de materiales, reduciendo la dependencia de recursos vírgenes. Se analizaron casos como el de Intel, que incorporó un 40% de silicio reciclado en sus chips.

### ***Ecología Industrial***

Para examinar interacciones entre actores (empresas, gobiernos, comunidades) en la gestión de RAEE, destacando proyectos como el "Rodrigo Scrap Reciclaje Ecología" en Venezuela.

### ***Sostenibilidad Tecnológica***

Basado en informes de la OECD (2020), se evaluó el impacto de innovaciones como la electrólisis de alta eficiencia (85% en recuperación de metales) y la integración de energías renovables en procesos térmicos.

### **Instrumentos de Recolección de Datos**

Se revisaron fuentes académicas, institucionales, corporativas y legales, estructurados organizado en tres categorías:

- Documentación técnica: Artículos sobre procesos de recuperación de semiconductores, especificando métodos de extracción (separación magnética, hidrometalurgia) y técnicas de purificación (electroquímica).
- Casos de estudio: Se seleccionaron proyectos que demostraran la escalabilidad de la minería urbana.
- Marco normativo: Se revisaron políticas públicas vinculadas a la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) y estándares de reciclaje de RAEE.

## Análisis de Datos

Se construyeron tablas comparativas para evaluar técnicas de recuperación

**Tabla 1**

*Técnicas de Recuperación*

Método	Ventajas	Limitaciones	Caso Ejemplo
Mecánico	Bajo costo, rápida implementación	Contaminación cruzada, baja pureza	Ambipar (Brasil): 80,000 t/año
Químico	Alta pureza (ej.: 20% Cu en Midas)	Uso de ácidos tóxicos, residuos peligrosos	Midas (Chile): 6,000-7,000 t/año
Térmico	Recuperación de metales y carbono	Alto consumo energético (ej.: pirólisis)	Plantas UE: Captura de calor residual

*Nota.* Elaboración propia.

Asimismo, se realizó un cuadro comparativo entre la minería tradicional y la “nueva minería”.

**Tabla 2**

*Comparativa entre minería tradicional y la nueva minería*

	Minería tradicional	Nueva minería
Proceso de extracción	Extracción a cielo abierto o subterránea mediante técnicas convencionales como el uso de explosivos.	Extracción a través de técnicas más eficientes y menos invasivas, como la lixiviación y la flotación.
Impacto ambiental	Genera un alto impacto ambiental debido a la remoción de grandes cantidades de tierra y la contaminación de suelos y cuerpos de agua cercanos.	Reduce significativamente el impacto ambiental al utilizar técnicas más limpias y eficientes en el uso de recursos naturales.
Costos operativos	Alto: exploración, maquinaria pesada y manejo de residuos	13 veces más rentable que la minería tradicional según estudios en China (Medina G, 2018)
Inversión inicial	Millones de dólares en infraestructura y permisos	Microfábricas con costos desde USD 370,000 y retorno en 2-3 años (Woollacott, 2018)

*Nota.* Elaboración propia.

Se lograron identificar las 3 etapas de la minería urbana:

- Recuperación (Recovery).
- Beneficiado/Procesamiento (Processing).
- Reinserción (Reintegration).

### **Recuperación (Recovery)**

La primera fase de la minería urbana en semiconductores se centra en la recuperación de materiales mediante la extracción y separación de componentes valiosos de los residuos electrónicos. Este proceso implica la aplicación de técnicas mecánicas, químicas y térmicas que permiten la separación de elementos críticos presentes en tarjetas madre, circuitos integrados y otros dispositivos electrónicos. La Tabla 1 resume las técnicas de recuperación aplicables en minería urbana, destacando sus ventajas, limitaciones y casos representativos. Estos métodos incluyen:

#### ***Métodos Mecánicos***

Se basan en la trituración y el cribado de los residuos electrónicos para reducir su tamaño y facilitar la separación física de los componentes. Según Ambipar (2024), su planta en Brasil procesa 80,000 toneladas anuales de residuos electrónicos, recuperando oro, plata y cobre mediante métodos mecánicos como trituración y separación magnética.

#### ***Métodos Químicos***

La lixiviación ácida es uno de los procesos químicos más utilizados en la recuperación de metales de alta pureza. Este método consiste en la disolución de metales mediante soluciones ácidas, facilitando la posterior separación y refinación. En Chile, empresas como Midas emplean procesos hidrometalúrgicos para extraer cobre de placas de circuitos, donde la concentración alcanza hasta un 20%, superando ampliamente los yacimientos naturales (Cerda, 2023).

#### ***Métodos Térmicos***

Los procesos térmicos, como el pirólisis, implican la descomposición de los materiales orgánicos y la separación de metales a través de la aplicación de altas temperaturas en ausencia de oxígeno. Este tipo de métodos son eficaces para la recuperación de metales y carbono, pero su escalabilidad se ve limitada por el alto consumo energético, tal como se detalla en la Tabla 1.

### **Beneficiado/Procesamiento (Processing)**

Una vez recuperados los materiales, el siguiente paso es su procesamiento, que abarca la purificación y refinación de los elementos extraídos para obtener materias primas de alta calidad que puedan ser reintroducidas en la cadena de valor de la industria de semiconductores.

#### ***Electrólisis***

Es una técnica ampliamente utilizada para la purificación de metales. En este proceso, la

aplicación de una corriente eléctrica a una solución que contiene iones metálicos permite la deposición selectiva de metales sobre un cátodo. Según Fernández (2013), la electrólisis se emplea para recuperar metales preciosos como oro y plata de circuitos integrados, logrando eficiencias superiores al 85% en ambientes controlados.

### ***Refinación por Solventes***

Técnica que emplea solventes orgánicos para separar y purificar metales mediante extracción líquido-líquido. Destaca en la recuperación de metales raros y críticos, pero requiere inversión en infraestructura y manejo seguro de solventes para minimizar impactos ambientales.

### ***Fundición (Smelting)***

Método tradicional que funde materiales para separar metales por puntos de fusión. Modernizado con captura de emisiones y recuperación de calor, permite obtener metales puros, aunque consume mucha energía y exige control estricto de gases tóxicos generados.

### ***Reinserción (Reintegration)***

La última etapa en la cadena de la minería urbana es la reinserción de los materiales procesados en la cadena productiva, cerrando el ciclo de la economía circular y reduciendo la dependencia de fuentes primarias de recursos. Los materiales recuperados y procesados encuentran aplicaciones directas en la fabricación de nuevos semiconductores y componentes electrónicos. Empresas líderes en la industria, como Intel y TSMC, han mostrado interés en la utilización de metales recuperados para la elaboración de chips y otros dispositivos de alta tecnología.

La alta pureza de los metales obtenidos mediante procesos de recuperación y refinación permite mantener los estándares de calidad exigidos en la fabricación de dispositivos críticos, lo que a su vez favorece la reducción de la huella ecológica asociada a la extracción minera tradicional. Además, estos materiales también se utilizan en la producción de componentes para energías renovables, como sistemas fotovoltaicos y turbinas eólicas. La reinserción de materiales en estos sectores no solo contribuye a la reducción de residuos electrónicos, sino que también impulsa la sostenibilidad y la eficiencia en la generación de energía limpia.

## **Resultados o Hallazgos**

Los hallazgos de esta investigación evidencian que la minería urbana de semiconductores y materiales críticos ofrece ventajas técnicas, económicas y ambientales significativas frente a los métodos tradicionales de extracción. A continuación, se sintetizan los resultados clave:

### ***Eficiencia en la Recuperación de Materiales***

**Métodos Mecánicos.** La trituración y separación magnética, aplicada en casos como la planta de Ambipar (Brasil), permite procesar 80,000 toneladas anuales de RAEE, recuperando 1.2 toneladas de oro y 8.5 toneladas de plata. Sin embargo, presenta limitaciones como la contaminación cruzada y la baja pureza de materiales.

**Métodos Químicos.** La hidrometalurgia, empleada por Midas (Chile), logra concentraciones de cobre del 20% en placas de circuitos, superando la eficiencia de yacimientos naturales. No obstante, requiere manejo de ácidos tóxicos.

**Métodos Térmicos.** El pirólisis permite recuperar metales y carbono, pero su alto consumo energético (ej: 85% en procesos térmicos sin captura de calor residual) limita su escalabilidad.

### ***Reducción de la Huella de Carbono***

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) demuestra que la minería urbana reduce hasta un 85% el consumo energético en comparación con la extracción primaria, especialmente en metales como el cobre. Además, proyectos como las plantas de la UE, que integran refinación por solventes, disminuyen las importaciones de tierras raras en un 15%, mitigando emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al transporte y procesamiento de minerales vírgenes.

### ***Impacto Económico y Rentabilidad***

La Tabla 2 demuestra que la minería urbana es 13 veces más rentable que la tradicional, con inversiones iniciales desde USD 370,000 y retornos en 2-3 años (Woollacott, 2018). La recuperación de una tonelada de RAEE proporciona concentraciones de metales 50 veces superiores a las minas convencionales, reduciendo costos operativos a largo plazo al internalizar externalidades ambientales (OECD, 2020).

### ***Contribución a la Economía Circular***

Empresas como Intel incorporan un 40% de silicio reciclado en sus chips, mientras iniciativas como el Circular Economy Action Plan de la UE exigen un 15% de materiales reciclados en baterías para 2031. La reinserción de materiales en sectores como la automoción y energías renovables reduce la demanda de recursos vírgenes en un 30-40%, según proyecciones de la OECD (2020).

### ***Tendencias Futuras***

La integración de inteligencia artificial (IA) en la cadena de recuperación optimiza la clasificación de metales (mediante visión por computadora) y predice fluctuaciones en la demanda de materiales. Proyectos piloto en la UE ya utilizan IA para mejorar la precisión en la separación de componentes, reduciendo errores en un 25% (Millán & Rossouw, 2024).

## Discusión

Los resultados planteados evidencian que la minería urbana de semiconductores y materiales críticos constituye una alternativa viable y, en muchos aspectos, superior a los métodos tradicionales de extracción. Los hallazgos obtenidos a partir del análisis de procesos—incluyendo técnicas mecánicas, químicas y térmicas—permiten interpretar que, si bien los métodos convencionales presentan eficiencia en la obtención de insumos, las tecnologías aplicadas en la minería urbana ofrecen ventajas sustanciales en términos ambientales, de seguridad y de economía circular.

Los procesos implementados en la minería urbana (Tabla 1), tales como la trituración combinada con separación magnética (ejemplificada en la planta de Ambipar en Brasil) y la lixiviación ácida para la recuperación de metales de alta pureza (utilizada por Midas en Chile), han demostrado que es posible obtener concentraciones de materiales críticos—como el silicio, germanio, galio y tierras raras—con niveles de pureza comparables a aquellos extraídos de yacimientos primarios. Estudios previos indican que, en algunas situaciones, la minería urbana puede alcanzar eficiencias de recuperación que superan en hasta 50 veces la concentración obtenida en minas tradicionales (Esteve, 2020; Woollacott, 2018), evidenciado en la Tabla 2. Además, las técnicas adoptadas, en general, permiten reducir la contaminación por materiales tóxicos, siempre y cuando se implementen sistemas de control ambiental adecuados.

La minería urbana enfrenta desafíos económicos derivados de procesos complejos, como la separación de materiales en dispositivos electrónicos. Sin embargo, estudios indican que los costos pueden compensarse al considerar las externalidades ambientales de la minería tradicional. Al comparar ambas aproximaciones, es evidente que, aunque las técnicas tradicionales, como la extracción a cielo abierto o la minería subterránea, tienen la ventaja de operar a gran escala, generan un alto impacto ambiental y requieren de inversiones significativas en infraestructuras que, además, implican costos externos no contabilizados (como la contaminación de suelos y agua). En contraste, la minería urbana no solo aprovecha materiales que ya han sido extraídos previamente del medio ambiente, sino que también disminuye la necesidad de nuevas operaciones mineras, reduciendo así la emisión de gases de efecto invernadero y el consumo energético (de Vera, 2024; Baldé, 2024).

En términos de seguridad, la minería urbana reduce la vulnerabilidad de la cadena de suministro ante fluctuaciones del mercado internacional y conflictos geopolíticos. Al diversificar las fuentes de insumos críticos y depender menos de extracciones a gran escala, los países pueden mitigar riesgos asociados a la escasez y a la dependencia de importaciones. Así, los datos económicos y de seguridad analizados confirman que la minería urbana se posiciona como un componente estratégico dentro de las políticas globales de sostenibilidad.

Uno de los aspectos más destacados de la investigación es la evaluación de la minería urbana desde la óptica de la reducción de la huella de carbono. Se encontró que, al utilizar RAEE para recuperar materiales críticos, se disminuye la necesidad de procesos extractivos intensivos en energía y, por ende, se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con la minería primaria. El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) aplicado a semiconductores recuperados demuestra que los procesos basados en la economía circular reducen significativamente el consumo energético y mejoran la eficiencia de la cadena productiva (European Commission, 2020; Baldé, 2024).

Asimismo, la implementación de estrategias para la valorización de subproductos—por ejemplo, la recuperación de oro de contactos eléctricos mediante técnicas innovadoras que utilizan esponjas de fibrillas de proteína (como se ha reportado en estudios de la Escuela Politécnica Federal de Zúrich, 2025)—representa un avance importante en la minimización de residuos. La adopción de tecnologías de "residuo cero", mediante el uso combinado de técnicas mecánicas, químicas y térmicas, permite una recuperación máxima de insumos y reduce la cantidad de desechos enviados a vertederos, evidenciando la sinergia entre innovación tecnológica y sustentabilidad ambiental.

La recuperación de semiconductores y materiales críticos a partir de RAEE se alinea perfectamente con los objetivos de conservación de recursos naturales. La minería urbana contribuye a preservar reservas limitadas de insumos esenciales, como el galio y ciertos elementos de tierras raras, prolongando su vida útil y disminuyendo la necesidad de recurrir a la minería primaria, la cual suele tener un impacto ambiental severo (OECD, 2020). Además, la estrategia de reinserción de materiales recuperados en la fabricación de nuevos dispositivos fortalece la cadena de suministro y garantiza un suministro más seguro y sostenible, reduciendo a la vez la dependencia de métodos extractivos que implican alta contaminación y degradación del medio ambiente.

A pesar de las evidentes ventajas en términos de eficiencia, sostenibilidad y seguridad del suministro, la presente investigación reconoce ciertas limitaciones que deben ser abordadas en futuros estudios:

- La heterogeneidad de los residuos electrónicos y la posible contaminación cruzada entre componentes representan desafíos que pueden limitar la eficiencia de las técnicas de separación y recuperación. Además, la inversión inicial en tecnologías avanzadas (como sistemas de clasificación por IA, métodos de lixiviación controlada o instalaciones de captura de emisiones) es significativa, lo que puede dificultar la escalabilidad de los procesos, especialmente en países con infraestructura limitada (OECD, 2020; Fernández, 2013).

- Aun cuando la minería urbana reduce significativamente la huella de carbono y la contaminación en comparación con la minería primaria, existen impactos residuales asociados a los procesos térmicos y químicos, tales como la generación de subproductos tóxicos y residuos peligrosos. La investigación futura deberá centrarse en desarrollar e integrar tecnologías que minimicen o neutralicen estos residuos, por ejemplo, mediante la reutilización de subproductos en otras industrias o mediante técnicas de tratamiento que aseguren la completa neutralización de contaminantes (de Vera, 2024).
- Los avances tecnológicos, como la integración de la inteligencia artificial en la clasificación y optimización de la cadena de recuperación, han mostrado un potencial significativo para mejorar la eficiencia y reducir los costos del proceso. Sin embargo, la implementación de estas tecnologías aún se encuentra en etapas emergentes y requiere de mayores inversiones en investigación y desarrollo. La consolidación de sistemas basados en IA podría potenciar la precisión de la separación de componentes y la optimización de procesos, pero requiere un enfoque multidisciplinario que involucra a expertos en tecnología, medio ambiente y economía.

Es así como se evidencia que la minería urbana de semiconductores y materiales críticos no solo representa una solución técnicamente viable, sino que también se alinea con los objetivos globales de sustentabilidad ambiental y seguridad en la cadena de suministro. Las técnicas de recuperación analizadas—cuando se comparan con los métodos tradicionales—ofrecen ventajas significativas en cuanto a la reducción de la huella de carbono, la minimización de residuos y la diversificación de fuentes de insumos críticos. No obstante, la implementación efectiva de estos procesos depende de la superación de diversas limitaciones técnicas, económicas y regulatorias, lo cual demanda una innovación continua y el fortalecimiento de marcos normativos internacionales.

### Conclusiones o Reflexiones

Al término de este análisis sobre la aplicación de la minería urbana en la recuperación de semiconductores y materiales críticos, resulta evidente que se está ante una transformación paradigmática en la forma de concebir el ciclo de vida de los productos tecnológicos. La acumulación acelerada de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) representa simultáneamente un desafío ambiental y una oportunidad económica sin precedentes. Los semiconductores, elementos fundamentales para el funcionamiento de dispositivos que sostienen la sociedad digitalizada actual, pueden ser recuperados mediante procesos técnicos avanzados, reduciendo así la dependencia de la minería primaria y sus efectos nocivos asociados.

El recorrido analítico realizado a través de las tres etapas fundamentales del proceso de minería urbana ha permitido identificar las potencialidades y limitaciones de este enfoque innovador. En la etapa de recuperación, se ha constatado que la implementación de métodos especializados de extracción constituye el primer eslabón para transformar lo que convencionalmente se considera "desecho" en un recurso valioso. La Tabla 1 ha sido clave para ilustrar la diversidad de métodos disponibles (mecánicos, químicos, térmicos), sus ventajas y limitaciones específicas, así como ejemplos concretos de su aplicación en la industria (ej. Ambipar en Brasil, Midas en Chile). Estos casos de estudio demuestran que la segregación adecuada de componentes electrónicos y su posterior tratamiento pueden generar rendimientos significativos en términos de recuperación de materiales de alto valor. No obstante, persisten desafíos relacionados con la logística de recolección y con la heterogeneidad de los dispositivos, aspectos que requieren soluciones adaptativas y flexibles por parte de los ingenieros industriales involucrados en estos procesos.

La fase de procesamiento, caracterizada por la aplicación de técnicas de purificación y separación, representa el núcleo técnico de la minería urbana. Las metodologías analizadas revelan que es posible alcanzar niveles de calidad similares a los obtenidos a partir de materias primas vírgenes, siempre que se implementen procesos adecuados de tratamiento físico-químico. La transformación de residuos complejos en insumos de alta pureza demanda no solo equipamiento especializado, sino también conocimientos interdisciplinarios que integren principios de la química, la física y la ingeniería de materiales. Este aspecto subraya la importancia de la formación integral de los profesionales de la ingeniería industrial, quienes deben desarrollar competencias diversas para optimizar estos procesos de transformación.

El análisis de la etapa de reinserción ha evidenciado que la incorporación de semiconductores recuperados en nuevos ciclos productivos cierra el círculo de la economía circular, generando beneficios tangibles tanto para las empresas como para el medio ambiente. La experiencia de iniciativas como las desarrolladas por Ambipar en Brasil o el proyecto "Rodrigo Scrap Reciclaje Ecología" en Venezuela demuestra que es factible establecer modelos de negocio rentables basados en la valorización de residuos electrónicos. La reinserción efectiva de materiales recuperados requiere, sin embargo, el establecimiento de estándares de calidad rigurosos y sistemas de trazabilidad que garanticen la confiabilidad de los componentes, aspectos que deben ser prioritarios en cualquier implementación industrial de estos procesos.

En cuanto a los objetivos sostenibles asociados a la minería urbana, se ha confirmado su alineación con las metas globales de reducción de impacto ambiental. La disminución de la huella de

carbono se logra mediante la sustitución de procesos extractivos intensivos en energía por métodos de recuperación más eficientes. Los datos analizados sugieren que la energía requerida para recuperar materiales a partir de RAEE es considerablemente menor que la necesaria para extraerlos de fuentes primarias, lo que representa una ventaja significativa en términos de mitigación del cambio climático.

En ese orden de ideas, la minimización de residuos a través de la valorización de subproductos contribuye a reducir la presión sobre los sistemas de disposición final. La conservación de recursos naturales, otro objetivo fundamental identificado en el estudio se materializa en la reducción de la demanda de minería primaria, actividad asociada con impactos severos como la deforestación y la contaminación. La Tabla 2 ha reforzado esta perspectiva, detallando claramente las diferencias en el proceso de extracción, impacto ambiental, costos operativos e inversión inicial, y demostrando la superioridad de la minería urbana en términos de sostenibilidad y rentabilidad.

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, la implementación de sistemas de minería urbana representa un campo fértil para la aplicación de metodologías de optimización y mejora continua. Los principios de manufactura esbelta, combinados con enfoques de análisis de ciclo de vida, pueden potenciar la eficiencia de estos procesos y maximizar la recuperación de valor. El diseño de plantas de tratamiento que integren automatización, sensores avanzados y sistemas de control de calidad constituye un desafío técnico que demanda soluciones innovadoras por parte de los ingenieros industriales. Adicionalmente, la aplicación de herramientas de análisis de datos y modelado predictivo puede contribuir a anticipar flujos de residuos y a planificar capacidades de procesamiento, aspectos críticos para la viabilidad económica de estos proyectos.

Los marcos teóricos examinados en la investigación, particularmente la economía circular, el metabolismo y la ecología industrial, ofrecen fundamentos conceptuales sólidos para el desarrollo de la minería urbana. La transición desde modelos lineales hacia sistemas circulares implica repensar no sólo los procesos productivos, sino también las relaciones entre diferentes actores industriales. Los ingenieros industriales, como diseñadores y gestores de sistemas complejos, están llamados a liderar esta transición, facilitando la colaboración intersectorial y el establecimiento de redes de valor sostenibles.

El análisis de casos internacionales y políticas públicas ha revelado que el entorno regulatorio juega un papel determinante en la viabilidad de la minería urbana. Iniciativas como el Circular Economy Action Plan de la Unión Europea establecen marcos propicios para la inversión en tecnologías de recuperación y reciclaje. Los profesionales de la ingeniería industrial deben mantenerse actualizados sobre estas tendencias regulatorias, ya que condicionan no sólo los aspectos técnicos de los procesos,

sino también su factibilidad económica. La capacidad para adaptar soluciones tecnológicas a diferentes contextos normativos constituye una competencia valiosa en este campo emergente.

Las perspectivas futuras para la minería urbana de semiconductores son prometedoras, especialmente considerando el crecimiento sostenido en la generación de RAEE y la creciente escasez de ciertos materiales críticos. El desarrollo de tecnologías más eficientes para la recuperación selectiva de elementos de alto valor, combinado con avances en el diseño de productos que faciliten su posterior desmontaje y reciclaje, podría potenciar significativamente los beneficios de este enfoque.

En conclusión, la minería urbana aplicada a semiconductores y materiales críticos representa mucho más que una solución técnica para el manejo de residuos electrónicos; constituye un enfoque integral que redefine la relación entre producción, consumo y regeneración de recursos. Su implementación efectiva requiere no sólo de avances tecnológicos, sino también de transformaciones profundas en los modelos de negocio y en los marcos regulatorios. Los ingenieros industriales, con su visión sistémica y su capacidad para integrar aspectos técnicos, económicos y ambientales, están posicionados idealmente para liderar esta transformación hacia sistemas productivos más sostenibles y resilientes. El camino hacia su consolidación como práctica industrial estandarizada demandará esfuerzos sostenidos en investigación, desarrollo e implementación, pero los beneficios potenciales para la sociedad y el planeta justifican ampliamente estas inversiones.

### Referencias

- Ambipar Group. (3 de diciembre de 2024). *Entiende qué es la minería urbana y descubre cómo funciona*. <https://ambipar.com/es/noticias/entiende-que-es-la-mineria-urbana-y-descubre-como-funciona-el-mayor-proyecto-del-pais/>
- Forti, V.; Baldé, C.; Kuehr, R. & Bel, G. (2020). *The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, Flows and the Circular Economy Potential*. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam. [https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/11/GEM\\_2020\\_def\\_july1\\_low.pdf](https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/11/GEM_2020_def_july1_low.pdf)
- Cerda, E. (31 de mayo de 2023). *Minería urbana: recuperar la riqueza que se estaba desechando*. País Circular. <https://www.paiscircular.cl/economia-circular/mineria-urbana-recuperar-la-riqueza-que-se-esta-desechando/>
- De Vera, B. (02 de julio de 2024). *Minería urbana: tu móvil como materia prima*. Ecovidrio. <https://hablandoenvidrio.com/mineria-urbana/>

- Esteve, J. (03 de enero 2020). *La minería urbana o cómo aprovechar los materiales de tu móvil*. El Confidencial. [https://www.elconfidencial.com/sociedad/2020-01-03/mineria-urbana-reciclaje-materiales-movil-bra\\_2396996/](https://www.elconfidencial.com/sociedad/2020-01-03/mineria-urbana-reciclaje-materiales-movil-bra_2396996/)
- European Commission. (2020). *Circular Economy Action Plan*. <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>
- Fernández, G. (2013). *Minería urbana y la gestión de los recursos electrónicos*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Grupo Uno.
- Baldé, C. Kuehr, R., Yamamoto, T., McDonald, R., D'Angelo, E., Althaf, S. Bel, G., Deubzer, O., Fernández-Cubillo, E., Forti, V., Gray, V., Herat, S., Honda, S., Iattoni, G., Khatriwal, D., Cortemiglia, V., Lobuntsova, Y., Nnorom, I., Pralat, N. & Wagner, M. (2024). Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) e Instituto de las Naciones Unidas para Formación Profesional e Investigaciones (UNITAR). 2024. Observatorio internacional sobre residuos electrónicos 2024. Ginebra, Bonn. [https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2024/12/GEM\\_2024\\_ES\\_11\\_NOV-web.pdf](https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2024/12/GEM_2024_ES_11_NOV-web.pdf)
- Márquez, T. (25 de marzo de 2022). *Un joven maestro del reciclaje en el taller de Rodrigo Scrap*. La Inventadera. <https://lainventadera.com/2022/03/25/un-joven-maestro-del-reciclaje-en-el-taller-de-rodrigo-scrap/>
- Woollacott, E. (13 de junio 018). Cómo las 'Minas Urbanas' pueden convertirse en una Rica Fuente de Preciados Minerales. BBC New Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-44749073>
- Millán, G. & Rossouw, A. (28 de junio de 2024). Mine 2024: 21a edición. Prepararse para el impacto. <https://www.pwc.com/cl/es/Publicaciones/mine-2024.html>
- OECD. (2022). *Urban Mining: The Role of Recycling in Sustainable Development*. OECD Publishing.

## MINERÍA URBANA: RECUPERACIÓN DE METALES PARA UNA ECONOMÍA CIRCULAR SOSTENIBLE

### URBAN MINING: RECOVERY OF METALS FOR A SUSTAINABLE CIRCULAR ECONOMY

María José Chávez Pérez<sup>1</sup>

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

Manuel Alfonso Arias Granada<sup>2</sup>

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

Isabel Cristina Entralgo Guédez<sup>3</sup>

 <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,

<sup>1</sup> Universidad Yacambú. Venezuela. Correo: [y-30591472@micorreo.uny.edu.ve](mailto:y-30591472@micorreo.uny.edu.ve)

<sup>2</sup> Universidad Yacambú. Venezuela. Correo: [y-28528811@micorreo.uny.edu.ve](mailto:y-28528811@micorreo.uny.edu.ve)

<sup>3</sup> Universidad Yacambú. Venezuela. Correo: [y-30615612@micorreo.uny.edu.ve](mailto: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 metalmecánicos 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/>

## IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN FLEXIBLE POR EL AVANCE DE LAS APLICACIONES INTELIGENTES IMPULSADAS POR EL BIG DATA EN EL CONTEXTO ACTUAL

### IMPACT ON FLEXIBLE PRODUCTION DUE TO THE ADVANCEMENT OF INTELLIGENT APPLICATIONS DRIVEN BY BIG DATA IN THE CURRENT CONTEXT

Germán Eduardo Vargas Ortiz<sup>1</sup>

 <https://orcid.org/0009-0001-9554-6000>

Recibido: 26-05-2025

Aceptado: 06-06-2025

#### Resumen

El presente ensayo, basado en una revisión documental, aborda el impacto que sobre la producción flexible tiene el avance que se viene desarrollando del Big Data y tecnologías inteligentes, resultando en un modelo de producción más eficiente, adaptable y orientado hacia la innovación en el contexto actual, destacando el papel fundamental de la Big Data como impulsor de esta sinergia. Se exploran las principales tendencias en la industria 4.0, donde la integración de tecnologías digitales permite a las empresas adaptarse rápidamente a las demandas del mercado, optimizar procesos y mejorar la eficiencia. Además, se discuten los desafíos asociados a la gestión de grandes volúmenes de datos y la implementación de soluciones inteligentes, así como las oportunidades que surgen para la innovación y la competitividad, y los riesgos presentes al implementar estas soluciones tecnológicas. La investigación concluye que la colaboración entre producción flexible y aplicaciones basadas en Big Data representa una estrategia clave para afrontar los retos de la economía moderna y potenciar el desarrollo sostenible en diversos sectores.

**Palabras clave:** Producción flexible, big data, tecnologías inteligentes.

#### Abstract

This essay, based on a documentary review, addresses the impact that the ongoing advancement of Big Data and smart technologies has on flexible manufacturing, resulting in a more efficient, adaptable, and innovation-oriented production model in the current context, highlighting the fundamental role of Big Data as a driver of this synergy. The paper explores the main trends in Industry 4.0, where the integration of digital technologies allows companies to quickly adapt to market demands, optimize processes, and improve efficiency. Furthermore, the paper discusses the challenges associated with managing large volumes of data and implementing smart solutions, as well as the opportunities that arise for innovation and competitiveness, and the risks involved in implementing these technological solutions. The paper concludes that collaboration between flexible manufacturing and Big Data-based applications represents a key strategy for addressing the challenges of the modern economy and promoting sustainable development in various sectors.

**Keywords:** Flexible manufacturing, big data, smart technologies.

<sup>1</sup> Universidad Yacambú. Venezuela. Correo: [facing.director@uny.edu.ve](mailto:facing.director@uny.edu.ve)

## Introducción

La producción flexible como lo señala la página web del Centro de Formación de Estudios Abiertos Seas (2023) es una “...metodología de trabajo que tiene como objetivo minimizar el despilfarro, mejorar la productividad y asignar mayor responsabilidad a los trabajadores de una fábrica” (párr.2). Es así como lo señala la página web creaciondempresas.es, donde indica que esta metodología fue aplicada por la empresa Toyota en sus inicios, y pretendía mantener su capacidad de reacción ante cambios en la demanda, incorporando control automatizado en las diferentes fases de producción.

Sin embargo, el crecimiento que ha tenido las aplicaciones inteligentes potenciada por las capacidades que ofrece la Big Data para el análisis y predicción de datos, está transformando fundamentalmente la forma en que las empresas diseñan, producen y distribuyen bienes y servicios, permitiendo de esta manera una mayor agilidad, personalización y sostenibilidad, representando una evolución crucial en la gestión industrial y empresarial.

Por consiguiente, el presente ensayo fundamentado en una revisión documental explora esta sinergia entre producción flexible y la Big Data y Aplicaciones Inteligentes, evidenciándose que este crecimiento tecnológico no solo optimiza los procesos productivos y la satisfacción del cliente, sino que también fomenta la innovación y la sostenibilidad en un mundo cada vez más dinámico y conectado. Para aprovechar plenamente estos beneficios, las organizaciones deben invertir en tecnología, infraestructura y en la formación de su talento humano, asegurando así su competitividad en el contexto actual y futuro.

## Desarrollo

El rápido crecimiento que han tenido las tecnologías para la automatización de procesos industriales, aunado al hecho de que las empresas manufactureras compiten en un mercado ampliamente globalizado, lleva a las empresas a realizar inversiones con miras a ser más rápidas y eficientes a la hora de producir los productos que se demandan. Es así como Seas (2023), señala que “...la producción flexible es un sistema enfocado en lograr este objetivo, garantizando que el proceso productivo sea mucho más rentable y adaptado a las necesidades de los clientes, independientemente del momento o lugar” (párr.1). A continuación, se abordará como se interrelacionan la integración de tecnologías avanzadas, maquinaria versátil, sistemas de control automatizados y procesos modulares con la toma de decisiones basadas en datos, para la optimización de la producción, permitiendo una mayor capacidad de adaptación a cambios en la demanda y personalización en sus procesos productivos.

## Definición y Principios Básicos de la Producción Flexible

La producción flexible de acuerdo con lo señalado por la empresa Six Sigma (2024) en su artículo sobre flexibilidad de procesos, afirma que es:

La capacidad de un sistema para responder eficazmente a los cambios en la gama de productos, el volumen de producción y las condiciones operativas. La flexibilidad de procesos es fundamental en las operaciones de fabricación y negocios modernos, en un mercado altamente globalizado y competitivo. (p.1)

Continúa señalando Six Sigma (2024) como principios básicos de la flexibilidad de procesos los siguientes:

- **Adaptabilidad del Enrutamiento.** Permite reducir los cuellos de botella y mejorar el rendimiento general. La flexibilidad del enrutamiento permite que las operaciones continúen sin problemas incluso cuando ciertas máquinas o estaciones no están disponibles.
- **Flexibilidad de Volumen.** Permite aumentar o reducir la producción sin afectar significativamente los costos, y de esta manera poder responder eficientemente a las demandas del mercado, manteniendo la rentabilidad.
- **Flexibilidad de Mezcla.** Permite que los sistemas de producción gestionen varios tipos de productos simultáneamente.
- **Flexibilidad de Nuevos Productos.** Permite a las organizaciones introducir nuevos productos sin realizar modificaciones importantes en los procesos.

La gestión de operaciones se beneficia significativamente de la flexibilidad de procesos contribuyendo a la excelencia operativa general, resultando en una reducción de los tiempos de cambio, mejora en la utilización de recursos, reducción del inventario de trabajo en curso y una mejora en la utilización de la mano de obra. También ayudará a identificar patrones óptimos de asignación de recursos que maximicen la eficiencia y mantengan la flexibilidad.

En el caso específico de Venezuela, algunas industrias han adoptado modelos flexibles para adaptarse a la situación económica. Se han visto cambios en la forma de producir, con la introducción de nuevas tecnologías y la adaptación a la demanda del mercado. Un ejemplo de ello es la industria manufacturera, que ha experimentado una disminución en la utilización de la capacidad instalada, obligando a las empresas a buscar nuevas estrategias para sobrevivir. Para afrontar los desafíos anteriormente mencionados, las empresas venezolanas han tomado medidas como la reestructuración operativa para lograr la reducción de costos, capacitación del personal en nuevas habilidades.

Entre las Industrias que han adoptado modelos flexibles tenemos:

**Industria Manufacturera.** La industria manufacturera ha tenido que adaptarse a cambios en la demanda y la disponibilidad de insumos. Esto ha llevado a las empresas a buscar nuevas formas de producir, como la reducción de costos, la diversificación de productos y la búsqueda de nuevos mercados. Dentro del sector automotriz, Toyota Aplica el Sistema de Producción Toyota (TPS) y el principio Just-in-Time (JIT) para mejorar la eficiencia y la flexibilidad. Así mismo, tanto Toyota como Ford utiliza líneas de producción flexibles para fabricar diferentes modelos en una misma línea.

**Industria Alimenticia.** La industria alimenticia, ha tenido que adaptarse a las nuevas condiciones económicas. Se han visto cambios en la forma de producir, con la introducción de nuevas tecnologías y la diversificación de productos para satisfacer la demanda del mercado. Empresas como Nestlé han adoptado modelos flexibles en diversas áreas, incluyendo la tecnología, la gestión de recursos humanos y la organización del trabajo.

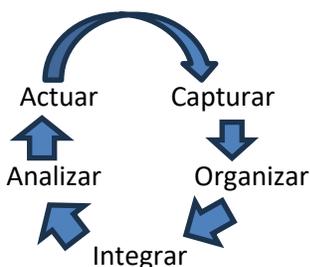
**Sector de la Construcción.** La industria de la construcción ha tenido que adaptarse a cambios en la demanda de viviendas y edificios. Sin embargo, también se han visto cambios en la forma de construir, con la introducción de nuevas tecnologías y materiales para reducir costos y mejorar la calidad. Las construcciones modulares han ganado relevancia en el sector de la edificación por su flexibilidad y versatilidad. Estas estructuras permiten adaptarse a diferentes necesidades, ofreciendo soluciones innovadoras y eficientes. Empresas como Global Growth Insights se enfoca en casas modulares y prefabricadas, ofreciendo una amplia gama de viviendas y edificios.

**Industria Petrolera.** La industria petrolera ha tenido que adoptar modelos flexibles como la implementación de sistemas de gestión que permitan una mayor adaptabilidad y respuesta a cambios en el entorno. Estos modelos flexibles suelen involucrar la incorporación de tecnologías de inspección avanzadas y la gestión proactiva de riesgos.

### **El Auge de la Big Data y las Aplicaciones Inteligentes**

La Big Data como la define De Freitas (2016), "...son activos de información caracterizado por su alto volumen, velocidad y variedad, que demandan soluciones innovadoras y eficientes de procesamiento para la mejora del conocimiento y toma de decisiones en las organizaciones." (p.41). De allí se desprende que cuando se habla de Big Data se refiere al tratamiento y análisis de grandes volúmenes de información.

Es así como continúa señalando, el ciclo funcional de la Big data es el siguiente:

**Figura 1***Ciclo Funcional de la Big Data*

*Nota.* Tomado de Solución de big data que apoye a la fase de reclutamiento de la Gestión del talento humano en el área de tecnología de la Información (p.43). De Freitas, 2016.

Como se muestra en la Figura 1, el ciclo se inicia con la captura de datos, seguida de la organización e integración para su posterior análisis que converge en el actuar, normalmente apoyando a la toma de decisiones de la organización, repitiéndose nuevamente el ciclo. En cuanto a lo anterior, continúa señalando que es importante para atender el desempeño requerido, dependerá de la velocidad con la que se realice el análisis de los datos, incluso existen análisis que se realizan en tiempo real y es inevitable almacenar gran cantidad de datos, por lo cual la arquitectura debe tener la capacidad de soportarlos, también debe manejar la redundancia para que esté protegido de la latencia imprevista que pueda ocurrir como el tiempo de inactividad.

Así mismo, de acuerdo con lo señalado en el artículo presentado por Hajjaji et al. (2021), en cuanto a la Big data y aplicaciones basadas en IoT en entornos inteligentes, señala que el Internet de las cosas (IoT) ha aumentado en uso y popularidad en la última década, ayudando a compartir información en tiempo real a través de actores autónomos en red. Continúa señalando que "...un sensor con capacidades computacionales inteligentes se coloca en una ubicación que contiene una conexión a Internet. Este sensor podrá comunicarse con cualquier cosa, en cualquier momento y desde cualquier lugar dentro de la red" (párr.1).

Hoy en día, enormes volúmenes de datos son generados por IoT. Estos datos demandan nuevas arquitecturas y tecnologías para la gestión de datos (captura y procesamiento), de modo de permitir la extracción de valor para una mayor comprensión y toma de decisiones. La tecnología IoT y su integración con big data se han aplicado ampliamente en diversos campos, convirtiéndose en una medida crucial, particularmente para el desarrollo, promoción y gestión de un nuevo entorno estratégico en la industria.

Continúa señalando que, para lograr los resultados deseados, las aplicaciones de entorno inteligente requieren un procesamiento en tiempo real o incluso cercano en tiempo real sobre los flujos

de datos de alta velocidad, eficiente y a gran escala. El aumento exponencial del volumen y la variedad de nuevos sensores disponibles requiere de poderosas herramientas analíticas como, por ejemplo, Hadoop, Spark y Kafka con aplicaciones de visualización como por ejemplo Kibana, abre grandes posibilidades con implicaciones prometedoras para la evolución de las aplicaciones de entorno inteligente.

Un elemento importante es que, partiendo del análisis de datos, es posible establecer un modelo de aprendizaje automático no supervisado que procese datos sin etiquetar para identificar patrones ocultos o clústeres dentro del conjunto de datos. Los algoritmos de aprendizaje automático no supervisado pueden descubrir anomalías o detectar desviaciones del comportamiento normal de los equipos durante el mantenimiento predictivo, lo que indica posibles fallos. El análisis predictivo es una de las aplicaciones más conocidas del aprendizaje automático en el análisis de datos, que utiliza datos históricos para realizar predicciones sobre eventos o tendencias futuras, y mejorando significativamente la precisión y la eficiencia de estas predicciones, permitiendo a las empresas tomar decisiones basadas en datos con una precisión y velocidad que los métodos tradicionales simplemente no pueden igualar.

### La Relación entre Producción Flexible y Big Data

En cuanto a la relación entre producción flexible y Big Data, según lo refiere la página de la Fundación Instituto de Ingeniería para Investigación y Desarrollo Tecnológico (2024), en cuanto a la Revolución en la Manufactura Venezolana: Integrando IA y Fábricas Inteligentes en la Era de la Industria 4.0, señala que "...la Cuarta Revolución Industrial, conocida como Industria 4.0, ha impulsado cambios significativos en la manufactura, integrando tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA), el machine learning y la automatización" (párr.1). Así mismo, señala que "...Las fábricas inteligentes son capaces de recopilar datos en tiempo real a través del Internet de las Cosas (IoT), dispositivos conectados que permiten un análisis continuo y la optimización de procesos" (Párr.2). Así mismo, la página web de safetyculture.com (2025), sobre como comprender los Sistemas de Manufactura Flexible (FMS), resalta la importancia de modernizar y optimizar los procesos productivos en la era digital.

Sobre este particular, se destacan las siguientes ventajas de esta relación:

**Flexibilidad en la Producción.** Permite gestionar volúmenes de producción variables, añadir distintos tipos de productos o permitir variaciones en una línea de montaje específica con un tiempo de inactividad mínimo.

**Mejor Calidad de Producción.** Con el FMS, las máquinas automatizadas y el software sustituyen al trabajo manual, reduciendo el riesgo de error humano. Esto se traduce en productos de mayor calidad y consistencia en la producción y reducción en costos de mano de obra.

**Monitorización en Tiempo Real.** Los sensores instalados en maquinaria y líneas de producción recopilan datos continuamente sobre el rendimiento, el estado de las máquinas, la calidad del producto, entre otros. Esto permite detectar anomalías o cuellos de botella de inmediato y actuar rápidamente.

**Optimización de la Producción.** Analizando los datos en tiempo real, las fábricas pueden ajustar parámetros de producción, gestionar inventarios, y reasignar recursos para mantener la eficiencia y reducir tiempos de parada.

**Predicción y Mantenimiento Preventivo.** Utilizando sensores IoT para monitorear en tiempo real las condiciones de las máquinas, los algoritmos de Big Data analizan patrones históricos y en vivo para predecir fallas y programar mantenimiento sólo cuando es necesario, minimizando interrupciones y costos.

**Personalización y Fabricación Bajo Demanda.** Los datos sobre preferencias del cliente y tendencias permiten ajustar rápidamente la producción para ofrecer productos personalizados sin grandes cambios en la línea de producción.

**Producción Just-in-Time.** La integración de Big Data permite coordinar la llegada de componentes y la producción en función de la demanda real, reduciendo inventarios y costos asociados, además de responder rápidamente a cambios del mercado.

Por lo anteriormente expuesto, la combinación de producción flexible con Big Data permite a las empresas ser más ágiles, reducir costos y responder con mayor rapidez a las necesidades del mercado, impulsando la competitividad en la economía moderna, siendo fundamental para optimizar los procesos productivos. Así mismo, la analítica avanzada transforma datos en decisiones inteligentes con el impulso de la Inteligencia Artificial y el Machine Learning, facilitando una producción adaptable y orientada al cliente, en línea con las tendencias de la Industria 4.0.

### **Retos y Consideraciones Éticas**

La recopilación y análisis masivo de datos pueden poner en riesgo la privacidad de individuos y organizaciones. Es fundamental establecer límites claros y protocolos adecuados para proteger la información sensible. Es por ello que la utilización de datos debe respetar principios éticos, evitando sesgos, discriminación o decisiones automatizadas que puedan perjudicar a ciertos grupos. Así mismo, las empresas y organizaciones deben ser transparentes respecto a cómo recopilan, almacenan y utilizan los datos, así como asumir responsabilidad por posibles impactos negativos. Finalmente, es importante gestionar adecuadamente la Dependencia Tecnológica, dado que al incurrir en una excesiva dependencia de tecnologías avanzadas puede generar vulnerabilidades y desigualdades.

En cuanto a la necesidad de una Infraestructura Tecnológica Avanzada, es importante que se implementen sistemas robustos de almacenamiento, procesamiento y análisis de datos, los cuales requieren una infraestructura tecnológica de alta capacidad, incluyendo servidores, redes de alta velocidad, y plataformas de análisis de datos. La infraestructura debe ser escalable y flexible para adaptarse a las necesidades cambiantes de la producción y los volúmenes de datos. Así mismo, la inversión en tecnologías de ciberseguridad es crucial para proteger la integridad y confidencialidad de los datos.

Finalmente, en cuanto a la Formación y Capacitación del Capital Humano, la incorporación de producción flexible y Big Data requiere personal con habilidades técnicas especializadas en análisis de datos, inteligencia artificial, ciberseguridad y gestión tecnológica, por lo que es necesario promover programas de capacitación continua para actualizar conocimientos y habilidades del personal, donde la inclusión de consideraciones éticas en la estrategia empresarial y la transparencia son fundamentales para aprovechar estos avances de manera responsable y sostenible.

### **Reflexiones Finales**

La convergencia de la producción flexible con las capacidades de Big Data y aplicaciones inteligentes representa una evolución crucial en la gestión industrial y empresarial. Esta sinergia no solo optimiza los procesos productivos y la satisfacción del cliente, sino que también fomenta la innovación y la sostenibilidad en momentos en que la globalización obliga a las empresas a ser más eficientes y competitivas. Para aprovechar plenamente estos beneficios, las organizaciones deben invertir en tecnología, infraestructura y en la formación de su talento humano, para así poder alcanzar los resultados esperados.

Es así como las tecnologías inteligentes, como la inteligencia artificial (IA), el aprendizaje automático, los sistemas de recomendación y la automatización avanzada implementan mejoras en la capacidad de toma de decisiones en tiempo real, personalización de productos y servicio basado en el comportamiento de los consumidores, reducción de desperdicio por optimización de recursos, respuesta rápida a cambios de mercado entre otros, que conlleva a la innovación en sus modelos de negocio. La Big Data impulsa profundamente estas tecnologías inteligentes, toda vez que se requieren grandes volúmenes de datos para aprender, adaptarse y tomar decisiones precisas.

Adicionalmente, la implementación de medidas de ciberseguridad al aplicar tecnologías inteligentes es esencial para proteger la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los datos garantizando su correcto funcionamiento, promoviendo la confianza vital para la adopción y éxito de estas tecnologías y cumplir con las regulaciones sobre protección de datos y seguridad de la información, contribuyendo así al desarrollo responsable y seguro de la innovación tecnológica.

## Referencias

- De Freitas, María, G. (2016). *Solución de big data que apoye a la fase de reclutamiento de la Gestión del talento humano en el área de tecnología de la Información*. [Tesis de Grado, Universidad Central de Venezuela]. <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/14721/1/Tesis%20-%20MariaGabrielaDeFreitas%20-%20VersionFinal.pdf>
- Fundación Instituto de Ingeniería para Investigación y Desarrollo Tecnológico. (22 de octubre de 2024). *Revolución en la Manufactura Venezolana: Integrando IA y Fábricas Inteligentes en la Era de la Industria 4.0* <https://www.fii.gob.ve/revolucion-en-la-manufactura-venezolana-integrando-ia-y-fabricas-inteligentes-en-la-era-de-la-industria-4-0/>
- Hajjaji, Y., Boulila, W., Riadh Farah, I., Romdhani, I. y Hussain, A. (2021). *Big data y aplicaciones basadas en IoT en entornos inteligentes: Una revisión sistemática*. *Computer Science Review*, 39, 100318. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100318>
- Safetyculture. (23 de abril de 2025). *Comprender los Sistemas de Manufactura Flexible (FMS)*. <https://safetyculture.com/es/temas/sistemas-avanzados-de-manufactura/sistema-de-manufactura-flexible/>
- Seas. (15 de febrero de 2023). *En qué consiste la producción flexible*. <https://www.seas.es/blog/produccion-mantenimiento/en-que-consiste-la-produccion-flexible/>
- Six Sigma. (30 de diciembre de 2024). *Flexibilidad de procesos: una guía completa para operaciones comerciales y de fabricación adaptables*. <https://www-6sigma-us.translate.goog/process-improvement/process-flexibility/? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pto=tc>

## Impacto Transformador de la Inteligencia Artificial en el Razonamiento Matemático: Implicaciones, Avances y Desafíos

### *Transformative Impact Of Artificial Intelligence On Mathematical Reasoning: Implications, Advances, And Challenges.*

Alexander Antonio Pérez García<sup>1</sup>

 <https://orcid.org/0009-0002-2611-2118>

Recibido: 12-05-2025

Aceptado: 09-06-2025

#### Resumen

Este artículo explora el impacto creciente de la Inteligencia Artificial (IA) en el razonamiento matemático, con énfasis en sus progresos, limitaciones y proyecciones epistemológicas. Se examina cómo la IA, a través de modelos computacionales y técnicas como el aprendizaje automático, la demostración automática de teoremas y la optimización mediante algoritmos evolutivos, alcanzado niveles significativos de autonomía en la resolución de problemas matemáticos complejos. Históricamente, desde la Máquina de Turing hasta las redes neuronales actuales, la IA ha contribuido a avances notables, incluyendo la resolución de problemas en teoría de representaciones y ecuaciones diofánticas. No obstante, persisten desafíos fundamentales: la IA carece de una comprensión conceptual profunda, presenta dificultades en la generalización y depende intensamente de datos, lo que compromete la transparencia y rigor en los procesos deductivos. El artículo destaca la necesidad de desarrollar capacidades simbólicas e intuitivas en los sistemas inteligentes, y un mayor razonamiento. Este estudio se realizó mediante un enfoque de revisión-documental, que integra la revisión de literatura especializada junto con el análisis de casos prácticos. Finalmente, se propone una visión colaborativa entre inteligencia humana e IA, donde esta última actúe como catalizadora del pensamiento matemático, sin reemplazar su dimensión creativa. La investigación enfatiza que el desarrollo ético y crítico de la IA es esencial, reconociendo a las matemáticas no solo como beneficiarias, sino como fundamento estructural de la IA.

**Palabras clave:** Inteligencia artificial, razonamiento matemático, demostración automática, epistemología matemática, aprendizaje automático.

#### Abstract

This article explores the growing impact of Artificial Intelligence (AI) on mathematical reasoning, with emphasis on its progress, limitations and epistemological projections. It examines how AI, through computational models and techniques such as machine learning, automatic theorem proving and optimization using evolutionary algorithms, has achieved significant levels of autonomy in solving complex mathematical problems. Historically, from the Turing Machine to today's neural networks, AI has contributed to remarkable advances, including solving problems in representation theory and diophantine equations. However, fundamental challenges remain: AI lacks deep conceptual understanding, has difficulties in generalization, and relies heavily on data, which compromises transparency and rigor in deductive processes. The article highlights the need to develop symbolic and intuitive capabilities in intelligent systems, and further reasoning. Finally, it proposes a collaborative vision between human intelligence and AI, where the latter acts as a catalyst for mathematical thinking, without replacing its

<sup>1</sup> Universidad Yacambú. Venezuela. Correo: [facing.estbasicos@uny.edu.ve](mailto:facing.estbasicos@uny.edu.ve)

creative dimension. The research emphasizes that the ethical and critical development of AI is essential, recognizing mathematics not only as a beneficiary, but also as the structural foundation of AI.

**Keywords:** Artificial intelligence, mathematical reasoning, automated theorem proving, mathematical epistemology, machine learning.

### Introducción

La Inteligencia Artificial (IA) ha emergido con fuerza en el entorno digital contemporáneo, influyendo de manera significativa en campos como las matemáticas. Históricamente, se consideraba que el razonamiento matemático era un ámbito reservado únicamente para la capacidad humana, basado en la lógica, la intuición y la creatividad. No obstante, la IA está cuestionando esta creencia, mostrando una habilidad sobresaliente en la resolución de problemas, demostración de teoremas y la formulación de nuevas conjeturas.

A pesar de estos avances, la función de la IA en el campo de las matemáticas suscita preguntas filosóficas y epistemológicas esenciales. ¿Es posible que una máquina comprenda verdaderamente un concepto matemático? ¿De qué manera influye la automatización del razonamiento en la práctica y la enseñanza de las matemáticas? Este ensayo analiza el impacto de la IA en el razonamiento matemático, así como sus beneficios, retos y posibles repercusiones futuras de esta intersección entre la inteligencia artificial y la lógica matemática.

En este orden de ideas, la IA se define como la aplicación de tecnologías que buscan replicar la inteligencia humana. Esto implica que una máquina tiene la habilidad de emular procesos cognitivos propios de los humanos, tales como el aprendizaje, el razonamiento, la resolución de problemas y la toma de decisiones. Gracias a ella las máquinas pueden llevar a cabo tareas que normalmente requieren la capacidad intelectual de las personas. Del mismo modo “La IA en matemáticas no solo ha permitido la resolución de problemas complejos, sino también la formulación de nuevas conjeturas que antes no habrían sido posibles debido a las limitaciones humanas en términos de tiempo y capacidad cognitiva” (Smith, 2021, p. 87).

Siguiendo la misma línea, el razonamiento matemático se define como la habilidad para formular, examinar y resolver problemas mediante el uso de estructuras lógicas y enfoques sistemáticos. Este proceso implica la abstracción, la deducción y la generalización de patrones y normas. En el ámbito de la inteligencia artificial, el razonamiento matemático no solo se considera un área de investigación, sino que también actúa como una herramienta crucial en la elaboración de modelos computacionales. Disciplinas como la teoría de grafos, el álgebra lineal, la estadística y la teoría de la computación han sido esenciales en el desarrollo de algoritmos para el aprendizaje automático y las redes neuronales.

En tal sentido, estos algoritmos se fundamentan en principios matemáticos esenciales, como el cálculo de derivadas, el descenso por gradiente y la evaluación de funciones de pérdida, lo que facilita una mejora continua y una mayor precisión en el desempeño de los modelos matemáticos aplicados en la inteligencia artificial. Sin embargo, también se aborda la complejidad inherente a estos sistemas y los riesgos potenciales, tales como la falta de transparencia en los procesos de toma de decisiones o la posible perpetuación de sesgos. Finalmente, el artículo estará examinando las cuestiones éticas y filosóficas relacionadas con el uso de la inteligencia artificial incluyendo la autonomía de las máquinas, la responsabilidad en su implementación y el impacto social que podría derivarse de su adopción masiva.

### **La IA como Instrumento Matemático.**

De manera fundamental, la IA emplea sofisticados modelos matemáticos y computacionales para replicar procesos cognitivos y abordar problemas de manera autónoma. Esta habilidad ha transformado numerosas áreas del saber, destacándose en el campo de las matemáticas, donde su uso ha propiciado avances sin precedentes en diversos sectores.

#### **Aprendizaje Automático**

Los modelos de redes neuronales y el aprendizaje profundo han revolucionado nuestra forma de analizar datos. Así lo señala. Estas innovaciones han permitido la identificación de patrones complejos en grandes conjuntos de información, resultando beneficiosas en disciplinas como el análisis estadístico, la predicción de tendencias y la creación de modelos matemáticos precisos. (Pérez et al., 2019; Soler & Rosales, 2021).

#### **Demostración Automática de Teoremas**

Para (Martínez, 1996). La implementación de algoritmos sofisticados en la demostración de teoremas representa un avance significativo en el campo de las matemáticas. Estas herramientas no solo permiten validar teoremas con una rapidez y precisión superiores a las de los matemáticos, sino que también han descubierto soluciones innovadoras para problemas que habían permanecido sin respuesta durante décadas.

#### **Optimización y Algoritmos Evolutivos**

Los métodos computacionales fundamentados en la inteligencia artificial, tales como los algoritmos genéticos y los de optimización, han mostrado ser cruciales para abordar problemas complejos en campos como la logística, la economía y la biomedicina. Estas estrategias facilitan la identificación de soluciones efectivas en cuestiones de enrutamiento, diseño de sistemas y planificación, lo que a su vez favorece una mayor sostenibilidad y eficiencia en los procesos industriales y científicos.

Es evidente que la IA, además de sus diversas aplicaciones, se está incorporando de manera creciente en el ámbito de la educación matemática (Martínez & Ruiz, 2021). Ofreciendo herramientas interactivas y personalizadas que facilitan el aprendizaje y la comprensión de conceptos complejos (Díaz & Rojas, 2019). Este contexto indica que la IA seguirá siendo una herramienta esencial para la investigación y la solución de problemas en matemáticas y en otras áreas afines.

### Historia y Evolución de la IA en Matemáticas.

#### Primeros Avances

De igual manera, la historia de la IA en las matemáticas comienza en el siglo XIX con la Máquina Analítica de Charles Babbage, un hito que anticipó las computadoras actuales. No obstante, el siglo XX fue testigo de avances determinantes, como la Máquina de Turing de Alan Turing, que estableció los cimientos teóricos de la computación y la Inteligencia Artificial (Russell & Norvig, 2020). Además, en 1943, McCulloch y Pitts crearon las primeras redes neuronales artificiales, modelos inspirados en el cerebro humano que impulsaron el desarrollo de los sistemas de aprendizaje automático que hoy alimentan la IA (McCulloch & Pitts, 1943).

#### IA en la Demostración de Teoremas

A este respecto, un hito destacado en la historia de las matemáticas fue la demostración del teorema de los cuatro colores en 1976. Este teorema establece que es posible colorear cualquier mapa utilizando un máximo de cuatro colores, de tal manera que no haya dos regiones adyacentes que compartan el mismo color. La prueba de este resultado se llevó a cabo con la ayuda de una computadora, marcando la primera ocasión en que una máquina generó una demostración matemática que no podía ser completamente verificada por humanos sin el uso de tecnología computacional.

En la actualidad, la IA se ha convertido en un recurso esencial en el campo de las matemáticas, con aplicaciones que abarcan desde la teoría de números hasta la topología de espacios métricos, así como la geometría algebraica. Los algoritmos de aprendizaje automático y las redes neuronales profundas están revolucionando la manera en que los matemáticos abordan y resuelven problemas complejos.

- **Sistemas de Álgebra Computacional:** Programas como MATLAB, Mathematica y Maple permiten la resolución simbólica de ecuaciones y la realización de cálculos matemáticos complejos.
- **Demostración de Teoremas:** Plataformas como Lean y Coq han facilitado la verificación formal de resultados matemáticos, disminuyendo el margen de error en las demostraciones.

- **Optimización Matemática:** Métodos como el Gradiente Descendente y los Algoritmos Genéticos se utilizan en el entrenamiento de redes neuronales y en la solución de problemas complejos en campos como la ingeniería y la economía.

En este contexto, estas herramientas están cambiando la forma en que los matemáticos ven las demostraciones, proporcionando un enfoque innovador basado en el rigor formal de la matemática aplicada a la IA. Las cuales han servido como apoyo. (Doe & Tanaka, 2020, p. 42).

### **Resolución de Conjeturas Matemáticas mediante IA**

Es oportuno mencionar que la IA ha sido utilizada para formular y resolver conjeturas matemáticas en diferentes áreas:

- **Conjetura de Kazhdan-Lusztig:** Modelos de IA han permitido la formulación de nuevas hipótesis en la teoría de la representación algebraica.
- **Conjetura de Kepler:** La IA ha desempeñado un papel crucial en la validación del problema del empaquetamiento de esferas, un enigma geométrico que ha perdurado durante siglos.
- **En la investigación de la Conjetura de Faltings (Mordell):** se han empleado modelos de IA para estudiar soluciones de ecuaciones diofánticas, revelando tendencias y relaciones que no son inmediatamente evidentes.
- **En el contexto de la Conjetura de las Mochilas de Kaplan:** investigadores han empleado IA para examinar extensos conjuntos de datos, identificando contraejemplos y validaciones de hipótesis matemáticas, lo que ha aportado de manera significativa al progreso en este ámbito.

Asimismo, el hallazgo de nuevas conjeturas y resultados en el ámbito matemático a través de la IA, tal como se evidencian los casos señalados con anterioridad, pone de manifiesto el potencial aún no explotado que la IA brinda a las matemáticas” (Lee et al., 2019, p. 130).

### **Limitaciones y Retos del Uso del Razonamiento Matemático en la IA.**

A diferencia de otras disciplinas en las que la IA ha alcanzado progresos notables, como el reconocimiento de imágenes o el procesamiento del lenguaje natural, las matemáticas exigen un elevado grado de abstracción, lógica y creatividad, competencias que todavía son difíciles de emular en los sistemas inteligentes. Con el avance continuo de la IA en este ámbito, se enfrenta a limitaciones actuales que restringen su desempeño y a desafíos futuros que deben ser superados para potenciar su capacidad de razonamiento y su efectividad en la resolución de problemas matemáticos complejos.

## Limitaciones

### ***Carencia de Comprensión Conceptual***

A pesar de que la IA es capaz de resolver ecuaciones y demostrar teoremas, no posee una comprensión profunda de los conceptos matemáticos subyacentes como lo haría un ser humano. Su razonamiento se fundamenta en patrones y cálculos, en lugar de en la intuición y la abstracción.

### ***Dificultad para Generalizar***

Los modelos de IA tienden a ser altamente especializados en tareas específicas y enfrentan dificultades para aplicar el conocimiento adquirido a nuevos problemas matemáticos sin necesidad de reentrenamiento.

### ***Dependencia de Datos y Ejemplos***

A diferencia de los matemáticos humanos, que pueden deducir principios a partir de un número limitado de ejemplos, la IA necesita grandes cantidades de datos para aprender patrones y estructuras matemáticas.

### ***Problemas para Explicar y Transparencia***

Muchos algoritmos de IA, especialmente aquellos basados en redes neuronales, funcionan como "cajas negras", lo que complica la comprensión de cómo alcanzan ciertas conclusiones matemáticas y limita su fiabilidad en aplicaciones críticas.

### ***Dificultades en la Verificación de Resultados***

Aunque la IA, puede generar demostraciones matemáticas, la verificación rigurosa de estos resultados aún requiere la intervención humana o el uso de asistentes de prueba formal. como lo son los softwares Lean o Coq.

## Desafíos Actuales

El desafío más relevante radica en que el razonamiento matemático representa una de las áreas más complejas para la IA, dado que requiere no solo la manipulación de símbolos y cifras, sino también una comprensión profunda de estructuras abstractas y un enfoque creativo para la resolución de problemas. A pesar de los progresos en modelos de aprendizaje automático y en asistentes de prueba formal, la IA continúa enfrentando limitaciones y obstáculos significativos en este ámbito como lo son:

- **Avance en el desarrollo de IA con razonamiento simbólico avanzado:** La combinación del aprendizaje automático con el razonamiento simbólico permitirá a la IA manipular expresiones matemáticas con mayor agilidad y exactitud.
- **Incremento de la capacidad de intuición matemática:** En la actualidad, la IA carece de intuición, un aspecto fundamental en la resolución de problemas matemáticos. Crear modelos que

reproduzcan la creatividad y el pensamiento heurístico humano representará un desafío significativo.

- **IA explicable y transparente:** Es fundamental mejorar la habilidad de la IA para comunicar sus razonamientos de forma clara y comprensible, lo que facilitará la confianza y la colaboración con los matemáticos.

### **Futuro del Razonamiento Matemático en la IA.**

A pesar de los progresos logrados en tiempos recientes, la IA continúa enfrentando importantes obstáculos en el ámbito del razonamiento matemático, que van desde una comprensión conceptual insuficiente hasta dificultades en la generalización. No obstante, el futuro augura avances en la fusión del razonamiento simbólico, un incremento en la intuición matemática y una colaboración más efectiva entre seres humanos e inteligencia artificial.

### **Colaboración entre Humanos e IA**

El futuro de la IA en el ámbito matemático no radica en sustituir a los matemáticos, sino en potenciar su labor mediante herramientas que les permitan explorar nuevas conjeturas y resolver problemas de manera más eficiente.

### **Optimización de la Eficiencia Computacional**

Disminuir la necesidad de recursos computacionales hará que la IA sea más accesible y aplicable a una gama más amplia de problemas matemáticos. Y tenga un mayor acceso a un gran número de personas.

### **Desafíos Éticos y Filosóficos**

La implementación de la IA plantea preguntas sobre el papel del ser humano en el razonamiento matemático y la validez de confiar en sistemas que operan de manera autónoma sin una comprensión profunda.

“Aunque los sistemas de IA pueden ayudar en la solución de problemas complejos, su falta de una verdadera intuición matemática plantea interrogantes sobre su capacidad para entender las soluciones que ofrecen”. (Harrison & White, 2022, p. 99). En este aspecto, el razonamiento matemático ha constituido un desafío considerable para la inteligencia artificial, ya que requiere la comprensión de estructuras abstractas y la utilización de la creatividad para resolver problemas. Sin embargo, los progresos recientes están permitiendo que la inteligencia artificial supere estas restricciones, lo que genera nuevas posibilidades en el ámbito de las matemáticas.

Las compañías líderes en tecnología están creando modelos de inteligencia artificial que poseen habilidades avanzadas de razonamiento. Un caso representativo es ChatGPT, desarrollado por OpenAI,

que se especializa en descomponer problemas complejos y proporcionar soluciones organizadas en campos como las matemáticas y la programación. Este modelo utiliza el método de cadena de pensamiento, lo que le permite enfrentar tareas que demandan un razonamiento lógico y secuencial (Wei et al., 2022). Google, por su parte, ha creado tecnologías como AlphaProof y AlphaGeometry 2, que podrían ser fundamentales para abordar problemas matemáticos complejos en el futuro (Trinh et al., 2024).

A pesar de los avances conseguidos, la inteligencia artificial sigue enfrentando ciertos desafíos en el ámbito de las matemáticas. La falta de creatividad en los algoritmos actuales limita su capacidad para realizar matemáticas complejas, ya que esta disciplina es, por su propia naturaleza, una actividad creativa. Además, la investigación en técnicas matemáticas que promuevan una mejor comprensión del proceso de toma de decisiones en las IA es un área en constante evolución. Por ejemplo, se han desarrollado nuevas redes neuronales que permiten la segmentación de imágenes, lo que ayuda a desentrañar la "caja negra" de las IA y a comprender su funcionamiento interno; esto ha representado un avance significativo en el desarrollo de la IA.

### **Influencia sobre la Profesión de Matemático**

La integración de la inteligencia artificial en el campo de las matemáticas ha generado un profundo debate sobre su impacto en la profesión. Mientras que algunos profesionales manifiestan su inquietud por la posibilidad de que la IA reemplace ciertas funciones matemáticas, otros expertos argumentan que funcionará como una herramienta complementaria que enriquecerá el trabajo de los matemáticos, permitiéndoles abordar problemas más complejos y creativos. "La inquietud por la posible sustitución de roles humanos es un tema recurrente en la discusión sobre la inteligencia artificial, y la profesión matemática no es ajena a esta preocupación. Los avances en algoritmos y la capacidad de las IA para automatizar tareas repetitivas o que requieren un alto nivel de computación han llevado a algunos especialistas a anticipar cambios significativos en el panorama laboral.

En este contexto, Frey y Osborne (2017), en su estudio influyente sobre la vulnerabilidad de los empleos a la informatización, advierten que "las tareas rutinarias y codificables, incluso en profesiones altamente calificadas, son las más susceptibles a la automatización" (p. 265). Para los matemáticos, esto podría implicar que funciones como la resolución mecánica de ecuaciones, la verificación de cálculos complejos o la manipulación de grandes conjuntos de datos, podrían ser cada vez más asumidas por sistemas autónomos. Esta perspectiva indica una necesidad de reevaluar las habilidades requeridas, impulsando a los profesionales a moverse hacia roles que exijan creatividad, pensamiento crítico y la capacidad de resolver problemas no estructurados.

A diferencia de la perspectiva de la sustitución, un grupo considerable de expertos sostiene que la inteligencia artificial funcionará como un poderoso catalizador para el desarrollo de la profesión matemática, en lugar de ser su sustituto. Esta visión resalta la colaboración entre humanos y máquinas, donde la IA se encarga de las tareas monótonas o de gran volumen, permitiendo al matemático centrarse en los aspectos más complejos y creativos. Como indica Tegmark (2017), "la IA puede liberarnos de actividades rutinarias, dándonos la oportunidad de concentrarnos en la creatividad, la curiosidad y la intuición, lo que podría conducir a una nueva era de descubrimiento tanto científico como matemático" (p. 105).

Esto implica que la IA no solo potencia la capacidad de cálculo y análisis, sino que también tiene la capacidad de formular nuevas conjeturas, investigar amplios espacios de posibilidades o validar pruebas con una precisión que el ser humano no puede alcanzar. En este contexto, la función del matemático se redefiniría hacia la creación de problemas, la interpretación de resultados complejos producidos por la IA y la formulación de nuevas teorías que la máquina no podría concebir de manera autónoma, estableciendo una sinergia en la que la inteligencia humana y la artificial se complementan entre sí.

### Conclusión

A continuación, el horizonte del razonamiento matemático, potenciado por la IA, se presenta con grandes expectativas. Los desarrollos actuales indican una integración más profunda de la IA en la resolución de problemas matemáticos complejos. Sin embargo, para maximizar su potencial, es fundamental abordar los desafíos existentes, como la creatividad limitada y la falta de comprensión profunda. La IA ha demostrado ser una herramienta capaz de automatizar procesos complejos y abrir nuevas oportunidades para el descubrimiento. No obstante, todavía enfrenta importantes obstáculos.

Es por ello por lo que, se prevé que la inclusión del razonamiento simbólico, el fomento de la intuición matemática y una colaboración más estrecha entre humanos e IA ayudarán a superar estas limitaciones. La clave está en aprovechar el potencial de la IA como un recurso que complemente y amplíe las capacidades humanas, facilitando avances en la investigación y la comprensión de las matemáticas de maneras antes inimaginables. Esta sinergia transformará nuestra comprensión y aplicación de las matemáticas en el futuro, siempre que mantengamos un enfoque ético y responsable.

En este mismo orden de ideas "El futuro de las matemáticas probablemente estará marcado por una colaboración entre la inteligencia humana y la artificial, donde cada una complementa y amplifica las capacidades de la otra" (González & Pérez, 2023, p. 112).

En conclusión, las matemáticas constituyen un componente esencial de la IA y el aprendizaje automático. Desde la lógica, el álgebra lineal y el cálculo hasta la teoría de probabilidades y la estadística, cada disciplina matemática aporta al desarrollo, optimización y evaluación de modelos de IA. Con el continuo avance tecnológico, las matemáticas seguirán siendo fundamentales en la innovación y el perfeccionamiento de estas tecnologías transformadoras, garantizando que estemos preparados para afrontar los retos del futuro con soluciones fundamentadas en datos y conocimiento preciso.

## REFERENCIAS

- Díaz, M. & Rojas, F. (2019). Diseño de entornos de aprendizaje personalizados con inteligencia artificial en educación superior. *Revista de Educación a Distancia*.
- Doe, R. & Tanaka, M. (2020). Automatización en la demostración matemática. *Journal of Computational Mathematics*, 15(2), 38-45.
- Frey, C. & Osborne, M. (2017). The future of employment: ¿How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 254-280. [The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?](#)
- González, M. & Pérez, J. (2023). Colaboración humano-IA en las matemáticas del futuro. *Journal of Mathematical Innovation*, 18(4), 110-115.
- Harrison, T. & White, S. (2022). Desafíos éticos de la inteligencia artificial en la investigación matemática. *International Journal of Ethical AI*, 9(1), 90-105.
- Lee, H., Zhang, P. & Chang, L. (2019). Redes neuronales y su aplicación en la resolución de problemas matemáticos complejos. *Advances in AI Research*, 27(3), 120-135.
- Martínez, J. C. (1996). *Fundamentos de demostración automática de teoremas*. Universitat de Barcelona. <https://hdl.handle.net/2445/152102>
- Martínez, J. & Ruiz, P. (2021). Impacto de la inteligencia artificial en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. *Educación y Nuevas Tecnologías*.
- McCulloch, W. & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4), 115–133.
- Mucci, Tim. (21 de octubre de 2024). *La historia de la inteligencia artificial*. IBM. <https://www.ibm.com/es-es/think/topics/history-of-artificial-intelligence>
- Pérez, M., González, L. & Hernández, S. (2019). Aplicaciones del aprendizaje automático en el Análisis Estadístico de Grandes Volúmenes de Datos. *Revista Ciencia y Tecnología de la Información*.
- Russell, S. & Norvig, P. (2020). *Artificial intelligence: A modern approach*. (4th ed.). Pearson.

- Smith, J. (2021). La inteligencia artificial en la matemática moderna. *Revista de Matemáticas Avanzadas*, 12(4), 85-100.
- Soler, A. & Rosales, F. (2021). Optimización de Modelos Matemáticos Mediante Técnicas de Aprendizaje Profundo. *Revista de Computación Avanzada*.
- Tegmark, M. (2017). *Vida 3.0: Ser humano en la era de la inteligencia artificial*. España, Barcelona: Taurus Taurus.
- Chervonyi, Y., Trinh, T.H., Olšák, M., Yang, X., Nguyen, H., Menegali, M., Jung, J., Verma, V. Le, Q. V. & Luong, T. (2024). *Gold-medalist Performance in Solving Olympiad Geometry with AlphaGeometry2*. ArXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.03544>
- Wei, J., Wang, X., Schuurmans, D., Bosma, M., Ichter, B., Xia, F., Chi, E., Le, Q. & Zhou, D. (2022). Chain-of-Thought Prompting Elicits Reasoning in Large Language Models. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 35, 24824-24837. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.11903>