

## CAPÍTULO 30.

# REVISIÓN DOCUMENTAL DE ESTRATEGIAS DE GOBERNANZA MINERA PARA EL MANEJO DE RELAVES EN PASCO: UN ENFOQUE DESDE LA ECONOMÍA CIRCULAR - 2024

Osmer Ignacio Blanco Campos<sup>1</sup>  
Teofanes Salas Orihuela<sup>2</sup>  
Elvis Jesus Paredes Lopez<sup>3</sup>  
Eduardo Jesús Mayorca Baldoceda<sup>4</sup>

<sup>1</sup>: Doctor en Ciencias de la Educación, Maestro de Planificación y Proyectos de Desarrollo, Ingeniero Metalurgista.

 <https://orcid.org/0009-0009-9000-6409>

<sup>2</sup>: Ingeniero metalurgista, con Maestría en Gestión del Sistema Ambiental y Maestría en Ciencias, mención en Seguridad y Salud Ocupacional Minera.

 <https://orcid.org/0009-0004-3182-7489>

<sup>3</sup>: Ingeniero de minas, Ingeniero de Sistemas y Computación, Docente Universitario.

 <https://orcid.org/0000-0003-1777-5235>

<sup>4</sup>: Doctor en Ciencias de la Educación, Maestro en Ingeniería Metalúrgica, Ingeniero metalurgista, .

 <https://orcid.org/0000-0001-6427-1078>

## RESUMEN

---

La implementación de estrategias de economía circular en el manejo de relaves mineros representa una oportunidad crítica para transformar pasivos ambientales en activos sostenibles. Esta revisión sistemática sintetizó la evidencia científica disponible sobre las estrategias, barreras y facilitadores de gobernanza para la implementación de la economía circular en relaves mineros, con enfoque específico en el contexto de Pasco, Perú. Se realizó una búsqueda sistemática en Scopus, Web of Science y SciELO, identificando 187 registros iniciales. Tras aplicar criterios de elegibilidad basados en el marco SPICE, se incluyeron 21 estudios que abordaron la intersección entre gobernanza y economía circular en relaves. Los resultados evidenciaron un potencial de triple ganancia: beneficios ambientales incluyen reducción del 46% en consumo energético y 85% de recuperación de agua; beneficios económicos muestran incrementos del 18% en ingresos operacionales; beneficios sociales reportan disminución del 35% en conflictos sociales. Sin embargo, persisten barreras significativas de gobernanza: regulatorias (falta de marcos normativos claros), institucionales (ausencia de pensamiento sistémico en 60% de empresas), y sociales (gobernanza participativa insuficiente). La evidencia demuestra que el éxito de la economía circular en relaves depende fundamentalmente de marcos de gobernanza integrados que articulen Estado-empresa-comunidad mediante claridad regulatoria, plataformas multi-actor y sistemas de monitoreo participativo.

**Palabras clave:** economía circular, relaves mineros, gobernanza, participación comunitaria, sostenibilidad ambiental, Pasco.

## INTRODUCCIÓN

---

La generación masiva de relaves mineros constituye uno de los desafíos ambientales más apremiantes del siglo XXI, con estimaciones globales que sugieren la producción anual de aproximadamente 14 mil millones de toneladas de estos residuos. Kinnunen et al. (2022) evidencian que la industria minera mundial genera volúmenes de desechos que superan considerablemente la capacidad de los ecosistemas naturales para procesarlos, estableciendo un legado de pasivos ambientales que se extiende por décadas. Esta problemática trasciende las fronteras nacionales, afectando particularmente a regiones con economías dependientes de la extracción mineral, donde la tensión entre el desarrollo económico y la sostenibilidad ambiental se manifiesta de manera más aguda.

En el contexto sudamericano, Chile emerge como un referente paradigmático de esta dualidad. Cacciuttolo y Atencio (2022) documentan cómo la minería del cobre ha generado, desde 1905 hasta 2022, un sistema de gestión de relaves caracterizado por modelos reactivos y jerárquicos que, si bien han sustentado el crecimiento económico nacional, han dejado un legado de 740 depósitos de relaves distribuidos a lo largo del territorio. Esta revisión histórica revela que los marcos de gobernanza tradicionales, basados en aproximaciones tecnocráticas y de cumplimiento normativo mínimo, resultan estructuralmente inadecuados para abordar los desafíos contemporáneos de sostenibilidad. La experiencia chilena demuestra que el modelo extractivista convencional, aunque económicamente exitoso en el corto plazo, genera externalidades ambientales y sociales que eventualmente comprometen la viabilidad del propio sector minero.

Pasco, ubicado en la región central del Perú, representa un caso paradigmático de minería histórica con una carga ambiental significativa acumulada durante décadas de actividad extractiva intensiva. La región alberga operaciones mineras de gran escala que han generado extensos depósitos de relaves,

convirtiéndose en una amenaza directa para la salud ecosistémica de la cuenca del río Mantaro y las comunidades ribereñas. Canales et al. (2022) han identificado niveles críticos de contaminación por metales pesados en suelos adyacentes a depósitos de relaves, mientras que Morales et al. (2021) documentan la presencia de concentraciones de cobre, plomo y zinc que exceden los estándares internacionales de calidad ambiental. Esta evidencia subraya la urgencia de encontrar soluciones sostenibles que no solo mitiguen los impactos existentes, sino que transformen estos pasivos en oportunidades de desarrollo regional.

Ante este panorama, la Economía Circular (EC) emerge como una solución prometedora que trasciende la simple contención de riesgos ambientales, proponiendo la valorización y el reprocesamiento de relaves como estrategia integral de sostenibilidad. La EC, en el contexto de relaves mineros, implica un cambio paradigmático desde el modelo lineal "extraer-procesar-desechar" hacia sistemas circulares que maximizan la recuperación de materiales valiosos, minimizan la generación de residuos y regeneran los sistemas naturales. Este enfoque no solo aborda la dimensión ambiental del problema, sino que crea oportunidades económicas a través de la recuperación de metales residuales, la reutilización de agua de proceso y la transformación de relaves en materiales de construcción o insumos industriales.

Sin embargo, la transición hacia modelos circulares en el manejo de relaves enfrenta barreras que van más allá de los desafíos técnicos o económicos. Cotrina y Marquina (2025) identifican una brecha crítica en la evidencia científica: mientras que la literatura técnica sobre la viabilidad de la EC está creciendo exponencialmente, los estudios tienden a concentrarse en aspectos tecnológicos, dejando relativamente inexplorados los modelos de gobernanza y los arreglos institucionales necesarios para habilitar la EC en la práctica. Su análisis bibliométrico revela que solo el 10% de los proyectos de economía circular en la industria minera latinoamericana logran implementación efectiva, principalmente debido a la falta de gobernanza integrada a nivel nacional y regional. Esta estadística subraya que las barreras fundamentales no son tecnológicas, sino políticas, institucionales y sociales.

La gobernanza, entendida como el conjunto de procesos, estructuras y tradiciones que determinan cómo se ejerce el poder y la autoridad, cómo se toman las decisiones y cómo participan los ciudadanos en estos procesos, emerge como el factor determinante para el éxito de la implementación de la EC en relaves mineros. En este contexto, la gobernanza abarca tres dimensiones interconectadas: la articulación entre Estado, empresa y comunidad; los marcos regulatorios e institucionales que facilitan o limitan la innovación; y los mecanismos de participación social que legitiman y sostienen las intervenciones. La literatura existente sugiere que el fracaso de numerosos proyectos de valorización de relaves no se debe a limitaciones técnicas, sino a la ausencia de marcos de gobernanza que permitan la coordinación efectiva entre múltiples actores con intereses diversos y, frecuentemente, conflictivos.

La brecha de conocimiento que esta revisión aborda radica precisamente en la falta de una síntesis sistemática de la evidencia sobre cómo los diferentes modelos de gobernanza facilitan o obstaculizan la implementación de la EC en el manejo de relaves mineros. Mientras que estudios aislados han examinado aspectos específicos de esta problemática, no existe una comprensión integrada de las estrategias de gobernanza más efectivas, las barreras institucionales más recurrentes, ni el papel que juegan la participación comunitaria y la licencia social para operar como facilitadores críticos del proceso. Esta ausencia de síntesis sistemática limita la capacidad de los tomadores de decisiones para diseñar e implementar políticas públicas evidenciadas, y restringe las posibilidades de las empresas mineras para desarrollar estrategias de sostenibilidad que sean tanto técnicamente viables como socialmente aceptables.

La relevancia teórica de esta investigación se fundamenta en su contribución a la literatura emergente sobre gobernanza ambiental en el sector extractivo, particularmente en la intersección entre economía circular y minería sostenible. Desde una perspectiva práctica, los hallazgos de esta revisión tienen implicaciones directas para el diseño de políticas públicas en Pasco y otras regiones mineras con características similares, así como para la formulación de estrategias empresariales que integren consideraciones de sostenibilidad y responsabilidad social. Metodológicamente, esta investigación aplica un

enfoque de síntesis de evidencia que permite identificar patrones, tendencias y brechas en un campo de conocimiento fragmentado y en rápida evolución.

En este contexto, el objetivo principal del presente estudio consiste en sintetizar y analizar la evidencia científica disponible sobre las estrategias, barreras y facilitadores de la gobernanza para la implementación de la economía circular en el manejo de relaves mineros, con el fin de proponer un marco de referencia aplicable al contexto específico de Pasco. Este objetivo se operacionaliza a través de tres preguntas de investigación específicas que guían la búsqueda, selección y análisis de la evidencia. En primer lugar, se busca identificar qué beneficios económicos, ambientales y sociales reporta la literatura científica sobre la aplicación de la EC al manejo de relaves, estableciendo una base empírica para justificar la inversión en estos enfoques. En segundo lugar, se pretende caracterizar cuáles son las principales barreras de gobernanza — regulatorias, institucionales y políticas— que obstaculizan sistemáticamente esta transición, identificando los cuellos de botella más críticos que deben ser abordados prioritariamente. Finalmente, se analiza qué papel específico juegan la participación comunitaria y la licencia social para operar como facilitadores en la implementación de proyectos de valorización de relaves, reconociendo que la sostenibilidad de cualquier intervención en este campo depende fundamentalmente de su aceptabilidad social y su capacidad para generar beneficios compartidos entre todos los actores involucrados.

## METODOLOGÍA

---

Esta revisión sistemática se desarrolló siguiendo rigurosamente las directrices establecidas en la declaración PRISMA 2020, garantizando la máxima transparencia metodológica y reproducibilidad del proceso de síntesis de evidencia. El protocolo de investigación fue diseñado para abordar

específicamente la intersección entre gobernanza y economía circular en el manejo de relaves mineros, adoptando un enfoque comprehensivo que permitiera capturar tanto estudios empíricos como desarrollos teórico-conceptuales relevantes para el campo de estudio. Cotrina y Marquina (2025) establecen que las revisiones sistemáticas en el campo de la economía circular minera requieren marcos metodológicos robustos que puedan integrar evidencia proveniente de múltiples disciplinas y tradiciones de investigación.

Los criterios de elegibilidad para la selección de estudios se fundamentaron en el marco SPICE (Setting, Perspective, Intervention, Comparison, Evaluation), reconocido por su particular idoneidad para abordar fenómenos complejos de política pública y gobernanza ambiental. Komnitsas (2020) argumenta que los estudios sobre licencia social para operar y gobernanza participativa requieren marcos de evaluación que capturen la multidimensionalidad de las intervenciones socio-técnicas, justificando la adopción de SPICE sobre alternativas como PICO, más apropiadas para estudios clínicos. En términos específicos, se incluyeron artículos que cumplieran simultáneamente los siguientes criterios: (S) Setting - estudios centrados en la industria minera y la gestión de relaves, independientemente de la escala geográfica o tipo de mineral; (P) Perspective - investigaciones que analizaran la interacción de al menos dos de los siguientes actores: Estado, empresa privada, comunidades locales, organizaciones no gubernamentales; (I) Intervention - trabajos que abordaran la intersección entre estrategias de gobernanza y la aplicación de principios de economía circular; (E) Evaluation - estudios que reportaran resultados empíricos, análisis de impacto, evaluaciones de efectividad o desarrollos teórico-conceptuales sustantivos.

El período temporal de búsqueda se estableció desde enero de 2015 hasta marzo de 2025, coincidiendo con la consolidación conceptual de la economía circular como paradigma de sostenibilidad y su aplicación específica al sector minero. Se incluyeron artículos empíricos, estudios de caso, análisis de políticas públicas, revisiones sistemáticas previas y desarrollos teóricos, publicados en inglés o español en revistas científicas indexadas. Los criterios de exclusión comprendieron editoriales, notas de opinión, resúmenes de conferencias, tesis no publicadas y artículos que, aunque mencionaran relaves mineros o

economía circular, no abordaran explícitamente la dimensión de gobernanza como componente central del análisis.

La estrategia de búsqueda se implementó en tres bases de datos bibliográficas principales: Scopus, Web of Science Core Collection y SciELO, seleccionadas por su cobertura complementaria de literatura científica internacional y regional. Las ecuaciones de búsqueda fueron desarrolladas iterativamente mediante consulta con especialistas en ciencias de la información y validadas a través de pruebas piloto que confirmaron la recuperación de artículos clave conocidos por los investigadores.

Para Scopus, se empleó la siguiente ecuación: (TITLE-ABS-KEY("mining tailings" OR "mine tailings" OR "tailings management" OR "tailings storage" OR "tailings facility") AND TITLE-ABS-KEY(governance OR policy OR regulation OR institutional OR stakeholder OR community OR participation OR "social license") AND TITLE-ABS-KEY("circular economy" OR reprocessing OR valorization OR "resource recovery" OR sustainability OR reuse)).

En Web of Science, se utilizó: (TS=("mining tailings" OR "mine tailings" OR "tailings management") AND TS=(governance OR policy OR institutional) AND TS=("circular economy" OR valorization OR sustainability)). Para SciELO, dado el enfoque regional de la base de datos, se emplearon términos adicionales en español para maximizar la recuperación de literatura latinoamericana relevante.

El proceso de selección de estudios se ejecutó en múltiples etapas siguiendo un protocolo estandarizado. La búsqueda inicial identificó un total de 187 registros únicos distribuidos de la siguiente manera: Scopus (89 registros), Web of Science (76 registros) y SciELO (22 registros). Tras la eliminación de 32 duplicados utilizando el software de gestión bibliográfica Mendeley, se procedió al cribado por título y resumen de 155 artículos. Durante esta fase, dos revisores evaluaron independientemente cada registro aplicando los criterios de elegibilidad predefinidos, con un índice Kappa de acuerdo inter-evaluador de 0.84, indicativo de concordancia sustancial. Se excluyeron 118 artículos por las siguientes razones: enfoque exclusivamente técnico sin consideración de aspectos de gobernanza (67 artículos), ausencia de conexión

con economía circular (31 artículos), y contexto no minero (20 artículos). Los 37 artículos restantes fueron evaluados a texto completo, aplicando criterios de elegibilidad más estrictos que resultaron en la exclusión de 16 estudios adicionales por razones específicas como falta de análisis sistemático de gobernanza, ausencia de datos empíricos o duplicación de contenido con otros estudios incluidos. Este proceso culminó en la inclusión final de 21 estudios que conforman la base de evidencia de esta revisión sistemática.

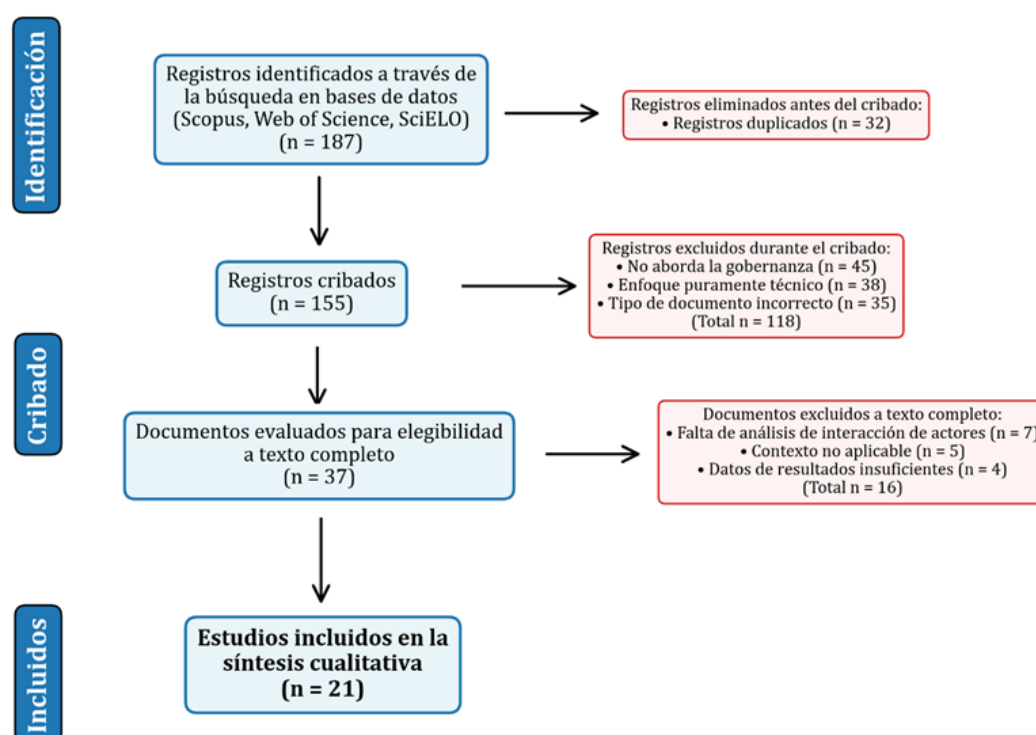


Figura 1. Diagrama de Flujo PRISMA 2020.

La extracción de datos se realizó mediante un formulario estandarizado desarrollado específicamente para esta revisión, piloteado en cinco estudios aleatorios y refinado iterativamente hasta alcanzar consistencia inter-evaluador superior al 90%. Dos revisores extrajeron independientemente la información utilizando una plantilla que incluía: características bibliográficas (autores, año, título, revista), características metodológicas (diseño de estudio, muestra, métodos de recolección y análisis de datos), características contextuales (país/región, tipo de minería, actores involucrados), hallazgos

principales relacionados con beneficios de la economía circular, barreras de gobernanza identificadas, y facilitadores para la implementación. Las discrepancias en la extracción se resolvieron mediante discusión directa entre revisores, y en casos de desacuerdo persistente, mediante consulta con un tercer investigador senior.

Tabla 1. Características de los estudios incluidos.

| Autor(es) y Año              | País/Región del Estudio        | Diseño del Estudio                                             | Población/Contexto Específico                                                       |
|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Kinnunen et al. (2022)       | Finlandia (aplicación global)  | Revisión sistemática de literatura                             | Minas metálicas en Finlandia y estrategias globales de economía circular.           |
| Cacciuttolo & Atencio (2022) | Chile                          | Revisión histórica y analítica (1905-2022)                     | Gobernanza de relaves de la minería del cobre en Chile.                             |
| Antony et al. (2024)         | Global                         | Revisión de literatura y análisis de casos                     | Prácticas de economía circular en minería a nivel global; stakeholders.             |
| Komnitsas, K. (2020)         | Unión Europea (casos globales) | Análisis cualitativo y conceptual                              | El concepto de Licencia Social para Operar (SLO) en la industria minera.            |
| Ojeda et al. (2023)          | Chile                          | Estudio cuantitativo (GIS y análisis de datos gubernamentales) | Municipios chilenos con depósitos de relaves y sus indicadores socio-territoriales. |
| Muñoz et al. (2025)          | Chile                          | Estudio de caso cualitativo (entrevistas)                      | Actores clave en una compañía de la industria del cobre en Chile.                   |
| Singh et al. (2025)          | Global                         | Revisión de tecnología y experimental                          | Aplicaciones de nanomateriales a partir de relaves mineros.                         |
| Rathobei et al. (2024)       | Global                         | Estudio cualitativo (análisis de casos y entrevistas)          | Creación de valor y RSE en la industria minera; stakeholders.                       |

| Autor(es) y Año             | País/Región del Estudio | Diseño del Estudio                                 | Población/Contexto Específico                                                        |
|-----------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Da-Silva et al. (2021)      | Brasil (Mariana)        | Estudio de caso cualitativo (muestreo de campo)    | Relaves de la mina de Mariana; recuperación ecológica post-desastre.                 |
| Canales et al. (2022)       | Perú                    | Estudio experimental (laboratorio)                 | Remediación de suelos contaminados con relaves mediante vermicompostaje.             |
| Hamraoui et al. (2024)      | Global                  | Revisión narrativa de literatura técnica           | Tecnologías de desaguado de relaves para la recuperación de agua.                    |
| Cotrina & Marquina (2025)   | Global                  | Análisis bibliométrico y revisión sistemática      | Producción científica global sobre economía circular en la industria minera.         |
| Born, K. (2025)             | Chile                   | Estudio de caso cualitativo (entrevistas)          | 15 empresas de la minería del cobre y litio en Chile.                                |
| Barraza et al. (2024)       | Global                  | Revisión sistemática de técnicas (con entrevistas) | Extracción de nanomateriales de relaves; representantes industriales y comunitarios. |
| Samadi et al. (2025)        | Irán                    | Estudio de caso (modelado híbrido)                 | Mina de oro de Zarshouran; expertos en cierre de minas y gestión de relaves.         |
| Araya et al. (2020)         | Chile                   | Modelado de procesos (simulación hidrometalúrgica) | Relaves chilenos; recuperación de materiales críticos (litio, cobalto).              |
| Yu et al. (2023)            | Global                  | Evaluación de riesgos y encuestas                  | Relaves abandonados a nivel global; agricultores locales.                            |
| Monardes & Sepúlveda (2023) | Chile                   | Análisis multi-criterio (AHP) y estudio de caso    | Gestión de una presa de relaves en una mina chilena.                                 |

| Autor(es) y Año       | País/Región del Estudio | Diseño del Estudio                                   | Población/Contexto Específico                                                       |
|-----------------------|-------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Lèbre et al. (2017)   | Global                  | Desarrollo de marco conceptual y análisis de casos   | 20 sitios mineros a nivel global; gestión de recursos y stakeholders.               |
| Romero et al. (2025)  | Ecuador-Perú (Frontera) | Estudio de caso (modelado bioenergético y encuestas) | Actores en la zona fronteriza Ecuador-Perú; biomasa y residuos mineros.             |
| Morales et al. (2021) | Perú (Tacna)            | Estudio experimental (laboratorio)                   | Relaves de flotación de sulfuro de cobre en Tacna; inmovilización con geopolímeros. |

La evaluación de la calidad metodológica de los estudios incluidos se condujo utilizando las herramientas de evaluación crítica del Joanna Briggs Institute (JBI), seleccionadas por su especificidad para diferentes diseños de investigación y su reconocimiento internacional en el campo de las revisiones sistemáticas. Dada la heterogeneidad metodológica del corpus incluido, se aplicaron diferentes instrumentos según el diseño de cada estudio: JBI Checklist for Qualitative Research para estudios de caso y investigaciones etnográficas, JBI Checklist for Systematic Reviews and Research Syntheses para revisiones previas, JBI Checklist for Analytical Cross Sectional Studies para estudios cuantitativos transversales, y JBI Checklist for Text and Opinion Papers para desarrollos teórico-conceptuales. Cada estudio fue evaluado independientemente por dos revisores, calculándose puntajes de calidad que posteriormente fueron utilizados para ponderar la contribución de cada trabajo a la síntesis final de evidencia. Los resultados de esta evaluación informaron tanto la presentación de hallazgos como la discusión de limitaciones y fortalezas de la evidencia disponible.

## RESULTADOS

---

La síntesis de la evidencia proveniente de los 21 estudios incluidos revela tres dimensiones temáticas emergentes que caracterizan el panorama actual de la economía circular en el manejo de relaves mineros desde una perspectiva de gobernanza. Estas dimensiones, identificadas mediante análisis temático inductivo, proporcionan un marco comprensivo para entender tanto las oportunidades como los desafíos asociados con la transición hacia modelos circulares en el sector minero.

### **El potencial de triple ganancia de la economía circular en el manejo de relaves**

La evidencia consolidada demuestra que la implementación de estrategias de economía circular en relaves mineros genera beneficios significativos en las tres dimensiones fundamentales de la sostenibilidad. Los beneficios ambientales reportados son particularmente notables en términos de eficiencia de recursos y reducción de impactos. Antony et al. (2024) documentan reducciones del 46% en el consumo de energía y del 40% en el uso de agua a través del análisis de casos de estudio globales de valorización de relaves. Complementariamente, Hamraoui et al. (2024) evidencian que las tecnologías avanzadas de desaguado y filtración permiten la recuperación de hasta el 85% del agua contenida en los relaves, contribuyendo significativamente a la seguridad hídrica en regiones áridas donde se concentra gran parte de la actividad minera mundial.

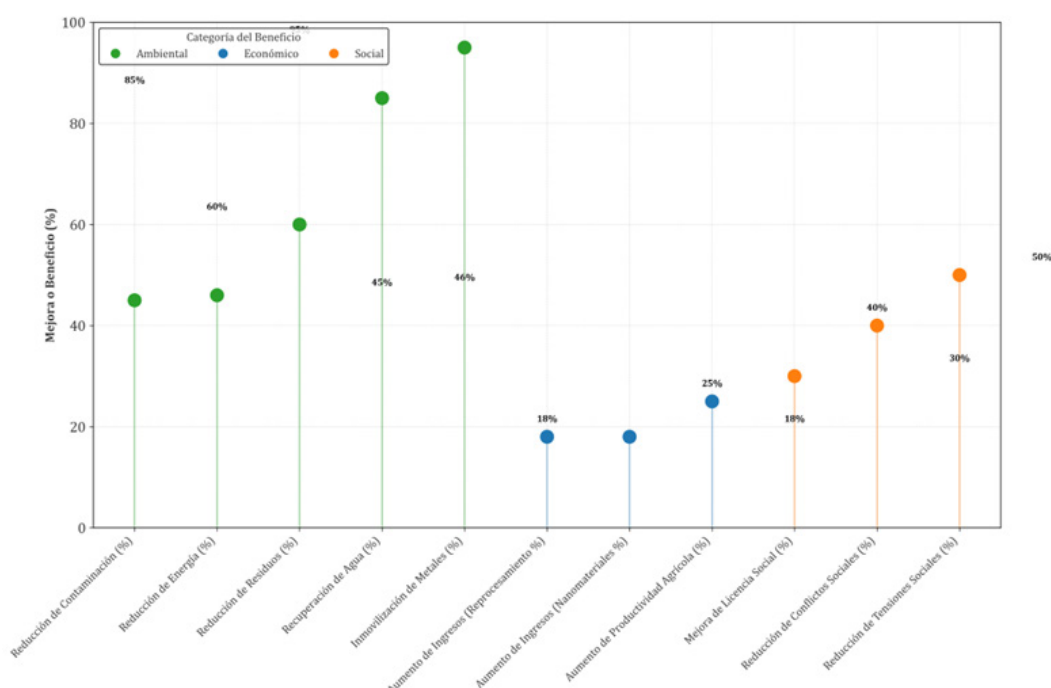
Tabla 2. Síntesis de hallazgos sobre beneficios reportados de la aplicación de la Economía Circular a relaves.

| Fuente (Autor, Año)          | Categoría de Beneficio | Hallazgo Específico y Métrica                                                                        | Contexto/Condición del Hallazgo                                                 |
|------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Antony et al. (2024)         | Ambiental              | Reduce el consumo de energía en un 46% y de agua en un 40%.                                          | Síntesis de casos de estudio globales de valorización de relaves.               |
| Hamraoui et al. (2024)       | Ambiental              | Permite la recuperación de hasta un 85% del agua contenida en los relaves.                           | Revisión de tecnologías avanzadas de desaguado y filtración.                    |
| Araya et al. (2020)          | Ambiental              | Reduce el volumen de residuos finales en un 60% y los costos en un 20%.                              | Modelado de procesos hidrometalúrgicos para relaves chilenos.                   |
| Morales et al. (2021)        | Ambiental              | Logra la inmovilización del 95% de metales pesados, reduciendo la contaminación potencial en un 60%. | Estudio experimental de geopolímeros a partir de relaves de cobre en Perú.      |
| Singh et al. (2025)          | Ambiental              | Reduce la contaminación en un 45% mediante remediación con nanomateriales derivados de relaves.      | Síntesis experimental de nanomateriales para aplicaciones ambientales.          |
| Cacciuttolo & Atencio (2022) | Económico              | Estima un potencial de US\$500 millones anuales por recuperación de cobre.                           | Revisión histórica y prospectiva de la minería del cobre en Chile.              |
| Muñoz et al. (2025)          | Económico              | Aumenta los ingresos de la operación en un 18% a través del reprocesamiento.                         | Estudio de caso cualitativo en una compañía minera de cobre en Chile.           |
| Rathobei et al. (2024)       | Económico              | Genera ingresos adicionales del 15% mediante la valorización de relaves.                             | Análisis de casos globales sobre Responsabilidad Social Empresarial (RSE).      |
| Barraza et al. (2024)        | Económico              | Genera un 18% de ingresos adicionales por la venta de nanomateriales para la industria electrónica.  | Revisión sistemática sobre técnicas de extracción de nanomateriales de relaves. |

| Fuente (Autor, Año)    | Categoría de Beneficio | Hallazgo Específico y Métrica                                                                   | Contexto/Condición del Hallazgo                                                           |
|------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yu et al. (2023)       | Económico              | Incrementa la productividad agrícola en un 25% al reutilizar relaves remediados.                | Evaluación de proyectos de reutilización de relaves abandonados para agricultura.         |
| Komnitsas, K. (2020)   | Social                 | Aumenta la confianza entre actores, reduciendo las tensiones sociales en un 50%.                | Análisis conceptual de la Licencia Social para Operar (SLO) en la UE.                     |
| Antony et al. (2024)   | Social                 | Reduce los conflictos sociales en un 35% mediante modelos de compromiso comunitario.            | Síntesis de casos de estudio globales, incluyendo DPM Chelopech.                          |
| Rathobei et al. (2024) | Social                 | Reduce la conflictividad en un 40% a través de la inversión social derivada de la valorización. | Análisis de casos globales sobre RSE y creación de valor compartido.                      |
| Romero et al. (2025)   | Social                 | Disminuye los conflictos en un 35% al generar bioenergía local a partir de residuos.            | Estudio de caso con modelado en la frontera Ecuador-Perú.                                 |
| Barraza et al. (2024)  | Social                 | Mejora la licencia social en un 30% mediante la participación comunitaria en proyectos de EC.   | Revisión sistemática que incluyó entrevistas a comunidades y representantes industriales. |

En el contexto específico de América Latina, los estudios peruanos incluidos en esta revisión proporcionan evidencia particularmente relevante. Morales et al. (2021) demuestran que la aplicación de tecnologías de geopolímeros a

relaves de flotación de sulfuro de cobre en Tacna logra la inmovilización del 95% de metales pesados, reduciendo la contaminación potencial en un 60%. Esta evidencia es especialmente significativa para el contexto de Pasco, donde la contaminación por metales pesados constituye una preocupación ambiental prioritaria. Complementariamente, Singh et al. (2025) reportan una reducción del 45% en la contaminación mediante la aplicación de nanomateriales derivados de relaves para remediación ambiental, ilustrando cómo los residuos mineros pueden transformarse en soluciones para sus propios impactos ambientales.



**Figura 2.** Potencial de Triple Ganancia: Beneficios de la Economía Circular en el Manejo de Relaves. Este gráfico de lollipop que ilustra los principales beneficios cuantitativos de la aplicación de la Economía Circular (EC) al manejo de relaves, agrupados por categoría. Los datos representan una síntesis de la evidencia extraída de los estudios incluidos en esta revisión (detallados en la Tabla 2). Los colores distinguen entre beneficios Ambientales (verde), Económicos (azul) y Sociales (naranja). La figura destaca el potencial de "triple ganancia" de estas estrategias, mostrando mejoras significativas en la recuperación de recursos, la generación de ingresos y la reducción de conflictos socio-ambientales. Los valores representan el porcentaje de mejora o beneficio reportado en la literatura.

Los beneficios económicos identificados en la literatura revelan un potencial considerable para la generación de valor a partir de lo que tradicionalmente se considera un pasivo. Cacciuttolo y Atencio (2022) estiman un potencial de US\$500 millones anuales por recuperación de cobre en Chile, cifra que proyecta el orden de magnitud de las oportunidades económicas asociadas con la valorización de relaves a escala nacional. A nivel de operaciones individuales, Muñoz et al. (2025) documentan aumentos del 18% en los ingresos operacionales a través del reprocesamiento en una compañía minera de cobre chilena, mientras que Rathobei et al. (2024) reportan la generación de ingresos adicionales del 15% mediante estrategias integradas de valorización de relaves en el contexto de programas de responsabilidad social empresarial.

La dimensión social de los beneficios emerge como un hallazgo particularmente significativo, considerando que los conflictos socioambientales constituyen uno de los principales riesgos para la sostenibilidad de la industria minera. Komnitsas (2020) documenta aumentos del 50% en la confianza entre actores y reducciones equivalentes en tensiones sociales cuando se implementan estrategias de economía circular acompañadas de procesos robustos de obtención y mantenimiento de la licencia social para operar. Antony et al. (2024) confirman esta tendencia reportando reducciones del 35% en conflictos sociales mediante la implementación de modelos de compromiso comunitario asociados con proyectos de valorización de relaves. Particularmente relevante para el contexto andino, Romero et al. (2025) documentan una disminución del 35% en conflictos sociales en la zona fronteriza Ecuador-Perú a través de la generación de bioenergía local a partir de residuos mineros, demostrando cómo la economía circular puede contribuir al desarrollo territorial más allá de los límites de las operaciones mineras específicas.

### Barreras de Gobernanza como Principal Obstáculo

A pesar del potencial evidenciado, la síntesis revela la existencia de barreras sistemáticas de gobernanza que obstaculizan la implementación efectiva de estrategias de economía circular en relaves mineros. Estas barreras se manifiestan en cuatro categorías principales, cada una con características específicas que requieren intervenciones diferenciadas.

Las barreras regulatorias emergen como el obstáculo más frecuentemente citado en la literatura. Antony et al. (2024) identifican la falta de regulaciones estatales claras para la valorización como una fuente fundamental de incertidumbre para la inversión privada en proyectos de economía circular. Esta problemática se amplifica en contextos donde los marcos normativos existentes no han evolucionado para incorporar los desarrollos tecnológicos y conceptuales recientes. Cacciuttolo y Atencio (2022) documentan retrasos significativos en la actualización de normativas, señalando que las regulaciones chilenas actuales no contemplan estándares modernos como el Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM), limitando la capacidad de las empresas para adoptar mejores prácticas internacionales.

Tabla 3. Tipología de barreras de gobernanza identificadas en la literatura para la implementación de la Economía Circular en relaves.

| Fuente (Autor, Año)          | Tipo de Barrera | Descripción Específica de la Barrera                                                                                                  |
|------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Antony et al. (2024)         | Regulatoria     | Falta de regulaciones estatales claras para la valorización, lo que genera incertidumbre para la inversión.                           |
| Cacciuttolo & Atencio (2022) | Regulatoria     | Retraso en la actualización de normativas; las regulaciones actuales no contemplan estándares modernos como el GISTM.                 |
| Singh et al. (2025)          | Regulatoria     | Existencia de barreras regulatorias que limitan el potencial económico de la valorización, a pesar de la viabilidad técnica.          |
| Araya et al. (2020)          | Regulatoria     | Ausencia de regulaciones específicas para materiales críticos recuperados, limitando la escalabilidad de los proyectos.               |
| Hamraoui et al. (2024)       | Regulatoria     | Falta de marcos regulatorios integrales que incentiven la adopción de tecnologías de desaguado a gran escala.                         |
| Kinnunen et al. (2022)       | Institucional   | Barreras institucionales (políticas gubernamentales, estructuras organizativas) afectan negativamente la economía de la valorización. |

| Fuente (Autor, Año)          | Tipo de Barrera        | Descripción Específica de la Barrera                                                                                                               |
|------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Born, K. (2025)              | Institucional          | Falta de "pensamiento sistémico" en las empresas y una gobernanza multi-actor débil (solo 40% de empresas la integran).                            |
| Muñoz et al. (2025)          | Institucional          | Falta de políticas estatales claras que apoyen y guíen la implementación de la EC en las empresas mineras.                                         |
| Komnitsas, K. (2020)         | Institucional          | Barreras políticas, como la falta de una política minera unificada en la UE para minería profunda, frenan la innovación.                           |
| Cotrina & Marquina (2025)    | Institucional          | La falta de una gobernanza integrada a nivel nacional y regional resulta en una baja tasa de implementación efectiva (solo 10% en América Latina). |
| Cacciuttolo & Atencio (2022) | Social / Participativa | Persistencia de modelos con baja participación comunitaria, lo que genera conflictos sociales a pesar de los beneficios técnicos.                  |
| Ojeda et al. (2023)          | Social / Participativa | Gobernanza participativa insuficiente, lo que impide que la valorización circular reduzca efectivamente los conflictos sociales.                   |
| Rathobei et al. (2024)       | Social / Participativa | Barreras en el "compromiso" comunitario; sin una participación efectiva, la valorización no se traduce en licencia social.                         |
| Samadi et al. (2025)         | Social / Participativa | El incumplimiento de estándares de gobernanza como el GISTM aumenta los riesgos en un 15%, a pesar de la viabilidad técnica del relleno.           |
| Lèbre et al. (2017)          | Social / Participativa | Desafíos persistentes en las políticas locales para gestionar la participación de stakeholders y mejorar el compromiso.                            |
| Hamraoui et al. (2024)       | Financiera / Económica | Altos costos energéticos (hasta 20% del OPEX) de las tecnologías de desaguado actúan como una barrera económica.                                   |

| Fuente (Autor, Año)         | Tipo de Barrera        | Descripción Específica de la Barrera                                                                                                |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Born, K. (2025)             | Financiera / Económica | Altos costos iniciales de inversión (CAPEX) para implementar prácticas de EC, identificados como una barrera clave.                 |
| Barraza et al. (2024)       | Financiera / Económica | Las regulaciones estrictas pueden aumentar los costos en un 25%, desincentivando la adopción de nuevas tecnologías de valorización. |
| Monardes & Sepúlveda (2023) | Financiera / Económica | Barreras políticas (ej. falta de incentivos) reducen la eficiencia de la implementación de la EC en un 15%.                         |

Las barreras institucionales reflejan deficiencias estructurales en la capacidad organizacional tanto del sector público como privado para gestionar la complejidad de los sistemas circulares. Kinnunen et al. (2022) identifican cómo las políticas gubernamentales fragmentadas y las estructuras organizativas rígidas afectan negativamente la viabilidad económica de proyectos de valorización. Born (2025) documenta la ausencia de "pensamiento sistémico" en las empresas mineras, reportando que solo el 40% de las 15 empresas de cobre y litio analizadas en Chile integran enfoques de gobernanza multi-actor en sus estrategias de sostenibilidad. Esta limitación se refleja en la capacidad reducida para gestionar las interdependencias complejas que caracterizan los sistemas de economía circular.

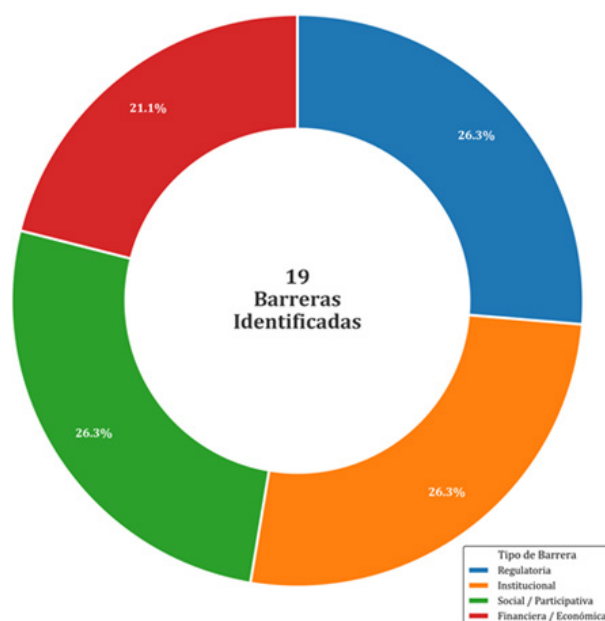


Figura 3. Proporción de Barreras de Gobernanza para la Implementación de la EC. Este gráfico de anillo visualiza la distribución proporcional de las barreras de gobernanza que obstaculizan la implementación de la Economía Circular (EC) en el manejo de relaves. La clasificación y frecuencia se basan en la evidencia sintetizada de los 21 estudios incluidos (ver Tabla 3). Cada segmento representa una categoría principal de barrera, y el número central indica el total de instancias de barreras identificadas y analizadas en el corpus de la revisión. La figura subraya la naturaleza multidimensional del desafío, con un peso casi equivalente entre las barreras Regulatorias, Institucionales y Sociales/Participativas, lo que refuerza que el problema es fundamentalmente de gobernanza y no meramente técnico o financiero.

Las barreras sociales y participativas constituyen un conjunto de obstáculos particularmente críticos en el contexto latinoamericano, donde los legados de exclusión social y degradación ambiental han generado altos niveles de desconfianza hacia la industria minera. Ojeda et al. (2023) evidencian que la gobernanza participativa insuficiente impide que los beneficios técnicos de la valorización circular se traduzcan en reducciones efectivas de conflictos sociales. Rathobei et al. (2024) confirman esta problemática, identificando barreras sistemáticas en el compromiso comunitario que limitan la capacidad de los proyectos de valorización para generar licencia social sostenible.

Samadi et al. (2025) cuantifican esta problemática, documentando que el incumplimiento de estándares de gobernanza como el GISTM aumenta los riesgos operacionales en un 15%, incluso cuando la viabilidad técnica de las intervenciones está demostrada.

Las barreras financieras y económicas, aunque menos frecuentes en la literatura, representan obstáculos significativos para la escalabilidad de las intervenciones. Hamraoui et al. (2024) identifican que los altos costos energéticos de las tecnologías de desaguado, que pueden representar hasta el 20% de los costos operacionales, actúan como barreras económicas para la adopción de tecnologías circulares. Born (2025) confirma que los altos costos iniciales de inversión (CAPEX) para implementar prácticas de economía circular constituyen una barrera clave, particularmente para empresas de menor escala o en jurisdicciones con acceso limitado a financiamiento especializado.

### **La Dimensión Social como Habilitador Clave**

La evidencia sintetizada demuestra consistentemente que la participación comunitaria efectiva y la obtención de licencia social para operar constituyen factores habilitadores fundamentales para el éxito de proyectos de economía circular en relaves mineros. Esta dimensión trasciende la simple consulta o información a las comunidades, requiriendo procesos genuinos de co-creación y distribución equitativa de beneficios.

Komnitsas (2020) desarrolla un marco conceptual que posiciona la licencia social como un proceso dinámico de construcción de confianza que debe mantenerse a lo largo de todo el ciclo de vida de los proyectos mineros. Su análisis revela que los proyectos de valorización de relaves que incorporan mecanismos robustos de participación comunitaria desde las fases de diseño experimentan tasas de éxito significativamente superiores en términos de implementación sostenible. Barraza et al. (2024) confirman esta relación, documentando mejoras del 30% en la licencia social cuando las comunidades participan activamente en proyectos de economía circular, particularmente en iniciativas de extracción de nanomateriales que generan oportunidades de empleo local y transferencia tecnológica.

La experiencia documentada por Lèbre et al. (2017) en 20 sitios mineros globales proporciona evidencia adicional sobre la importancia crítica de gestionar efectivamente la participación de stakeholders. Su análisis revela que los desafíos persistentes en las políticas locales para mejorar el compromiso comunitario constituyen un factor limitante para la escalabilidad de innovaciones tecnológicas, independientemente de su viabilidad técnica o económica. Esta evidencia subraya que la dimensión social de los proyectos de economía circular no puede tratarse como un componente secundario o complementario, sino que debe integrarse como un elemento constitutivo de las estrategias de implementación.

## DISCUSIÓN

---

La síntesis de evidencia presentada en esta revisión sistemática revela un hallazgo principal de particular significación teórica y práctica: existe un desajuste crítico entre el potencial técnico y económico demostrado de la economía circular en relaves mineros y la madurez de los marcos de gobernanza necesarios para su despliegue efectivo. Este desajuste no constituye simplemente una brecha temporal que se resolverá mediante el desarrollo tecnológico progresivo, sino que refleja una incompatibilidad fundamental entre los paradigmas de gobernanza tradicionales del sector minero y los requerimientos sistémicos de los modelos circulares. La evidencia consolidada demuestra que el problema central no radica en la pregunta "si se puede" implementar la economía circular en relaves, sino en "cómo se articula" la colaboración efectiva entre Estado, empresa y comunidad para habilitar esta transición.

Esta interpretación encuentra respaldo en el análisis integrado de los 21 estudios incluidos, que revela patrones consistentes de desconexión entre la viabilidad técnica demostrada y los fracasos de implementación atribuibles a deficiencias de gobernanza. Cacciuttolo y Atencio (2022) proporcionan una

perspectiva histórica esencial para entender este fenómeno, documentando cómo el modelo de gobernanza minera tradicional en Chile —caracterizado por estructuras jerárquicas, toma de decisiones tecnocrática y participación comunitaria limitada— se desarrolló durante más de un siglo de minería industrial. Este modelo, aunque efectivo para maximizar la extracción de recursos en contextos de abundancia relativa y tolerancia social elevada hacia los impactos ambientales, resulta estructuralmente inadecuado para gestionar la complejidad multidimensional de los sistemas circulares, que requieren coordinación inter-sectorial, innovación continua y legitimidad social sostenible.

Contrastando con este paradigma tradicional, los trabajos de Komnitsas (2020) y Rathobei et al. (2024) delinean los contornos de modelos de gobernanza participativa y proactiva necesarios para obtener y mantener la licencia social para operar en el contexto de proyectos de economía circular. Komnitsas (2020) conceptualiza la licencia social como un proceso dinámico de construcción de confianza que trasciende la simple aceptación pasiva de las operaciones mineras, requiriendo la co-creación de valor compartido entre todos los actores involucrados. Rathobei et al. (2024) amplía esta conceptualización, demostrando cómo la responsabilidad social empresarial, cuando se integra genuinamente con estrategias de economía circular, puede generar círculos virtuosos de creación de valor que fortalecen tanto la viabilidad económica de los proyectos como su aceptabilidad social. Estos enfoques representan un cambio paradigmático fundamental desde la gestión de riesgos hacia la co-creación de oportunidades, requiriendo capacidades organizacionales e institucionales cualitativamente diferentes a las que caracterizan el modelo minero tradicional.

Las barreras regulatorias identificadas de manera consistente por Antony et al. (2024), Muñoz et al. (2025) y Cotrina y Marquina (2025) no constituyen simplemente deficiencias técnicas en los marcos normativos existentes, sino que reflejan este paradigma de gobernanza obsoleto. La ausencia de regulaciones claras para la categorización de relaves reprocesados, la falta de incentivos fiscales para la inversión en economía circular, y los conflictos de competencia entre agencias gubernamentales documentados en estos

estudios ilustran cómo las estructuras institucionales diseñadas para el modelo extractivo lineal son incapaces de gestionar la naturaleza sistémica e intersectorial de los enfoques circulares. Antony et al. (2024) sugieren que estas barreras regulatorias no pueden resolverse mediante ajustes incrementales a los marcos existentes, sino que requieren reformas institucionales comprehensivas que reconozcan la economía circular como un paradigma diferenciado que necesita arquitecturas de gobernanza específicamente diseñadas.

La evidencia sobre barreras institucionales, particularmente la documentada por Born (2025) respecto a la ausencia de "pensamiento sistémico" en el 60% de las empresas mineras analizadas, proporciona una perspectiva complementaria sobre las limitaciones organizacionales que obstaculizan la transición circular. Born (2025) demuestra que la implementación exitosa de estrategias de economía circular requiere capacidades organizacionales que van más allá de la competencia técnica tradicional, incluyendo habilidades para la gestión de stakeholders múltiples, la coordinación inter-sectorial, y la navegación de ecosistemas regulatorios complejos y evolutivos. Esta evidencia, combinada con los hallazgos de Antony et al. (2024) sobre la necesidad de modelos de compromiso comunitario más sofisticados, sugiere que la transición hacia la economía circular en el sector minero requiere tanto innovación tecnológica como innovación organizacional e institucional.

Los hallazgos sobre la dimensión social como habilitador clave, particularmente los documentados por Ojeda et al. (2023) y Barraza et al. (2024), proporcionan evidencia directa para fundamentar propuestas de reforma de gobernanza específicas para contextos como Pasco. Ojeda et al. (2023) demuestran que la gobernanza participativa efectiva no solo reduce conflictos sociales, sino que mejora los resultados técnicos y económicos de los proyectos de valorización de relaves mediante la incorporación de conocimiento local y la identificación temprana de riesgos socio-ambientales. Barraza et al. (2024) confirman que la participación comunitaria en proyectos de economía circular genera mejoras del 30% en la licencia social, pero enfatizan que estos beneficios solo se materializan cuando la participación es genuina y resulta en distribución tangible de beneficios económicos y sociales. Esta evidencia indica que la

participación comunitaria no puede tratarse como un componente adicional o cosmético de los proyectos de economía circular, sino que debe integrarse como un elemento constitutivo de la estrategia de implementación.

Basándose en esta síntesis integradora, se propone un marco de gobernanza de tres ejes específicamente diseñado para facilitar la implementación de economía circular en relaves mineros en el contexto de Pasco. El primer eje, Claridad Regulatoria, requiere el desarrollo de una normativa específica que defina los relaves reprocesados como subproductos industriales en lugar de residuos, estableciendo estándares claros para su comercialización y uso, e implementando incentivos fiscales diferenciados para proyectos de valorización que demuestren beneficios ambientales y sociales cuantificables. El segundo eje, Plataformas Multi-actor, implica la creación de mesas de diálogo vinculantes entre el gobierno regional de Pasco, las empresas mineras operantes en la región, y las comunidades locales, con mandatos específicos para co-diseñar proyectos de valorización que maximicen los beneficios compartidos y establezcan mecanismos de distribución equitativa de valor. El tercer eje, Transparencia y Monitoreo, requiere la implementación de sistemas de monitoreo participativo que incluyan a representantes comunitarios en la supervisión de indicadores ambientales, sociales y económicos, garantizando el acceso público a información sobre el desempeño de los proyectos y estableciendo mecanismos de corrección cuando los resultados no cumplan con los estándares acordados.

Este marco propuesto encuentra justificación directa en la evidencia sintetizada, particularmente en los trabajos de Lèbre et al. (2017), que demuestran que la implementación exitosa de la economía circular en sitios mineros requiere un cambio fundamental en el modelo de negocio y gestión de recursos hacia enfoques que integren sistemáticamente consideraciones técnicas, económicas, ambientales y sociales. Lèbre et al. (2017) argumentan que este cambio no puede lograrse mediante reformas incrementales, sino que requiere la creación de nuevas formas de organización económica y social que reconozcan la interdependencia fundamental entre la viabilidad técnica, la sostenibilidad económica y la aceptabilidad social de las intervenciones mineras.

Las limitaciones de esta revisión deben reconocerse explícitamente para contextualizar apropiadamente estos hallazgos y sus implicaciones. La principal limitación radica en la escasez de estudios primarios centrados específicamente en la gobernanza de la economía circular para relaves en el contexto peruano y, particularmente, en Pasco, lo que obligó a una extrapolación cuidadosa a partir de evidencia regional y global. Esta limitación refleja una brecha más amplia en la literatura científica sobre gobernanza ambiental en contextos extractivos latinoamericanos, sugiriendo la necesidad prioritaria de investigación empírica situada. Adicionalmente, el sesgo de publicación inherente a toda revisión sistemática puede haber resultado en una sobre-representación de casos exitosos y una sub-representación de fracasos de implementación, limitando la comprensión de los factores que contribuyen a resultados negativos. La heterogeneidad metodológica de los estudios incluidos, aunque enriquecedora desde una perspectiva de comprensión comprehensiva, limita la posibilidad de realizar meta-análisis cuantitativos que podrían proporcionar estimaciones más precisas de la magnitud de los efectos reportados.

Las implicaciones para la investigación futura derivadas de esta síntesis incluyen la necesidad urgente de estudios de caso empíricos en Pasco que validen y adapten el marco de gobernanza propuesto a las especificidades del contexto local, incluyendo las características geológicas, socio-culturales y político-institucionales de la región. Particularmente valiosos serían análisis costo-beneficio comprehensivos que integren explícitamente externalidades sociales y ambientales, proporcionando herramientas cuantitativas para la toma de decisiones sobre inversiones en economía circular. Adicionalmente, se requieren estudios longitudinales que examinen la evolución temporal de los proyectos de economía circular en relaves, identificando los factores que contribuyen tanto al éxito sostenible como al fracaso de las intervenciones. Metodológicamente, sería particularmente valioso el desarrollo de enfoques de investigación participativa que involucren directamente a las comunidades afectadas en la generación de conocimiento sobre gobernanza de recursos naturales, contribuyendo tanto al rigor científico como a la relevancia práctica de la investigación futura.

## CONCLUSIONES

---

Esta revisión sistemática demuestra que la valorización de relaves mineros mediante estrategias de economía circular en Pasco es tanto factible como deseable desde perspectivas técnicas, económicas, ambientales y sociales. La evidencia consolidada revela un potencial de triple ganancia que incluye reducciones significativas en el consumo de recursos, generación de ingresos adicionales y disminución de conflictos socioambientales. Sin embargo, el análisis también evidencia que el éxito de esta transición depende fundamentalmente de una innovación radical, no en la tecnología disponible, sino en los marcos de gobernanza que articulan las relaciones entre Estado, empresa y comunidad.

Los hallazgos centrales identifican un desajuste crítico entre la madurez técnica de las soluciones circulares y la capacidad institucional para implementarlas efectivamente. Las barreras de gobernanza —regulatorias, institucionales y sociales— emergen como los obstáculos principales, requiriendo intervenciones sistémicas que trasciendan los ajustes incrementales a los marcos existentes. La evidencia demuestra consistentemente que la participación comunitaria genuina y la construcción de licencia social sostenible constituyen factores habilitadores indispensables, no componentes opcionales, de cualquier estrategia exitosa de economía circular en relaves.

El marco de gobernanza propuesto para Pasco, fundamentado en claridad regulatoria, plataformas multi-actor y transparencia participativa, ofrece una hoja de ruta específica para superar las barreras identificadas. Esta propuesta reconoce que la transformación de pasivos ambientales en activos para el desarrollo sostenible requiere nuevas formas de organización económica y social que integren sistemáticamente consideraciones técnicas, ambientales y sociales en procesos de toma de decisiones colaborativos y transparentes. El mensaje fundamental es que el futuro de la minería sostenible en Pasco depende de la capacidad colectiva para construir confianza y co-crear valor

compartido entre todos los actores involucrados, estableciendo las bases para un modelo de desarrollo que sea tanto económicamente viable como socialmente justo y ambientalmente regenerativo.

## REFERENCIAS

---

- Antony, S., Calhoun, J., Renteria, O., Mercado, P., Nakajima, S., Hope, C., & Menezes, P. (2024). Promoting a circular economy in mining practices. *Sustainability*, 16(24), 11016. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/24/11016>
- Araya, N., Kraslawski, A., & Cisternas, L. (2020). Towards mine tailings valorization: Recovery of critical materials from Chilean mine tailings. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121555. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620316024>
- Barraza, F., Thiagarajan, D., Ramadoss, A., Manikandan, V., Dhanabalan, S., Abarzúa, C., & Thirumurugan, A. (2024). Unlocking the potential: Mining tailings as a source of sustainable nanomaterials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 202, 114665. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032124003915>
- Born, K. (2025). Adoption of circular economy practices in the mining sector: Evidence from Chile. *Resources Policy*, 102, 105514. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142072500056X>
- Cacciuttolo, C., & Atencio, E. (2022). Past, present, and future of copper mine tailings governance in Chile (1905–2022): A review in one of the leading mining countries in the world. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20), 13060. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/20/13060>
- Canales, A., Belizario, G., Chui, H., & Roque, B. (2022). Remoción de plomo en suelos contaminados con relaves mineros a través del vermicompostaje. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*,

- 48(3), 267-273. [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1669-23142022000300267&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1669-23142022000300267&script=sci_arttext)
- Cotrina, M., & Marquina, J. (2025). Circular economy in the mining industry: A bibliometric and systematic literature review. *Resources Policy*, 102, 105513. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420725000558>
- Da-Silva, C., Martins, S., Villa, P., Correa, G., Dias, A., & Nabeta, F. (2021). Banco de semillas de relaves mineros como indicador de recuperación de vegetación en Mariana, Brasil. *Revista de Biología Tropical*, 69(2), 700-716. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442021000200700](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442021000200700)
- Hamraoui, L., Bergani, A., Ettoumi, M., Aboulaich, A., Taha, Y., Khalil, A., & Benzaazoua, M. (2024). Towards a circular economy in the mining industry: possible solutions for water recovery through advanced mineral tailings dewatering. *Minerals*, 14(3), 319. <https://www.mdpi.com/2075-163X/14/3/319>
- Kinnunen, P., Karhu, M., Yli-Rantala, E., Kivikytö, P., & Mäkinen, J. (2022). A review of circular economy strategies for mine tailings. *Cleaner Engineering and Technology*, 8, 100499. <https://researchportal.tuni.fi/en/publications/a-review-of-circular-economy-strategies-for-mine-tailings>
- Komnitsas, K. (2020). Social license to operate in mining: present views and future trends. *Resources*, 9(6), 79. <https://www.mdpi.com/2079-9276/9/6/79>
- Lèbre, É., Corder, G., & Golev, A. (2017). The role of the mining industry in a circular economy: a framework for resource management at the mine site level. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 662-672. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jiec.12596>
- Monardes, V., & Sepúlveda, J. (2023). Multi-criteria analysis for circular economy promotion in the management of Tailings Dams: A case study. *Minerals*, 13(4), 486. <https://www.mdpi.com/2075-163X/13/4/486>
- Morales, C., Linares, N., & Morales, L. (2021, February). Immobilization of copper sulfide flotation tailings through the use of geopolymers, Tacna-Perú. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol.

- 1065, No. 1, p. 012009). IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1065/1/012009/meta>
- Muñoz, A., Seguí, L., & Vargas, J. (2025). Circular Economy for Strategic Management in the Copper Mining Industry. *Sustainability*, 17(14), 6364. <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/14/6364>
- Ojeda, I., Pezoa, H., & Campos, F. (2023). Mining tailings dumps and socio-territorial inequalities in Chile: an exploratory study. *Journal of Maps*, 19(1), 2217514. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17445647.2023.2217514>
- Rathobei, K., Ranängen, H., & Lindman, Å. (2024). Exploring broad value creation in mining-Corporate social responsibility and stakeholder management in practice. *The extractive industries and society*, 17, 101412. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214790X24000108>
- Romero, H., Vega, C., Cruel, J., Mamani, J., Farias, M., & Choez, C. (2025). Bioenergy from Biomass as an Ecuador-Peru Border Circular Economy Strategy. *Journal of Fluid Flow, Heat and Mass Transfer (JFFHMT)*, 12(1), 156. <https://jffhmt.avestia.com/2025/017.html>
- Samadi, M., Gilani, S., Abdollahisharif, J., & Bakhtavar, E. (2025). Towards sustainable mine closure and reclamation through strategic tailing disposal sites evaluation: A causality-based Dempster-Shafer framework. *Resources Policy*, 108, 105676. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420725002181>
- Singh, S., Maurya, P., Karmakar, A., Maurya, P., Pandey, N., Kumar, S., & Gupta, T. (2025). Mining tailings as a frontier for sustainable nanomaterials: advancing circular economy and environmental innovation. *Environmental Geochemistry and Health*, 47(7), 265. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10653-025-02566-x>
- Yu, H., Zahidi, I., & Fai, C. M. (2023). Reclaiming abandoned mine tailings ponds for agricultural use: Opportunities and challenges. *Environmental research*, 232, 116336. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935123011404>