

ESTIMACIÓN DEL IMPACTO ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE ECONOMÍA CIRCULAR EN LA MINERÍA PERUANA

(ESG - Gestión de residuos y economía circular)

José Luis Ruiz Pérez¹ y Gisella Silvana Aragón Peñaloza²

¹ Autor: Universidad del Pacífico, Lima, Perú (ruiz_JL@up.edu.pe - 984124298)

² Coautora: Universidad del Pacífico, Lima, Perú (aragon_GS@up.edu.pe - 995691878)

RESUMEN

El presente trabajo de investigación evalúa el impacto económico de implementar estrategias de economía circular (EEC) en la minería peruana, sector que representa el 9% del Producto Bruto Interno nacional y genera el 65% de las exportaciones. Las EEC se constituyen en una alternativa para mejorar el desempeño de las empresas en materia de sostenibilidad a la par de aprovechar oportunidades de generación de valor agregado.

A partir de estudios previos se identificó EEC aplicables a la minería peruana y se modelaron considerando tres escenarios de intensidad en su implementación (baja, media y alta). Se utilizó la metodología de matriz insumo-producto de Leontief y el Cuadro de Oferta y Utilización 2023 del INEI.

De acuerdo con los escenarios construidos, se encontró que la implementación de las EEC podría generar un aumento de las exportaciones entre 3.2% y 6.4% (dependiendo de la intensidad), un aumento del PBI entre 0.4% y 0.8% y entre 18,500 y 36,500 empleos.

1. Introducción

La minería constituye un pilar fundamental para la economía peruana con una participación del 9%, en el Producto Bruto Interno (PBI) del Perú y el 65% de las exportaciones (BCRP, s.f.). A nivel mundial, el sector es crucial para el suministro de materias primas esenciales que impulsan el desarrollo tecnológico y la transición energética global. Sin embargo, el modelo lineal tradicional de "extraer-procesar-desechar" ha generado cuestionamientos en torno a su sostenibilidad por la creciente demanda de recurso hídrico y generación de relaves. A pesar de los avances en la gestión minera, todavía se encuentra en estos temas una fuente de conflicto con la población en las zonas de influencia, además de motivar crecientes demandas regulatorias.

Frente a estos desafíos, la Economía Circular (EC) emerge como una alternativa prometedora y sostenible. La EC es un sistema económico que busca crear valor mediante la captura y reutilización de recursos materiales y energéticos limitados, ralentizando, estrechando y cerrando sus ciclos. (Uusitalo, y otros, 2020) Sus principios fundamentales se centran en minimizar los residuos y la contaminación desde el diseño, mantener productos y materiales en uso el mayor tiempo posible, y regenerar los sistemas naturales. Este cambio de paradigma no solo aspira a reducir el daño ambiental, sino también a impulsar la eficiencia y la rentabilidad de la industria, alineándola con los objetivos globales de sostenibilidad. La implementación de la EC, aunque pueda requerir una inversión inicial y una reestructuración significativa, se proyecta como una estrategia que se amortiza a largo plazo mediante el valor recuperado de la reducción de residuos y la optimización de recursos (Antony Jose, y otros, 2024).

Desde el punto de vista macroeconómico, la importancia de la minería también expone al país a los riesgos inherentes al modelo lineal, incluyendo la volatilidad de los precios internacionales de los minerales y los impactos ambientales y sociales asociados. La transición hacia la EC se presenta, por tanto, no solo como una obligación ambiental, sino como una estrategia crucial para fortalecer la resiliencia económica del sector minero y, por ende, del país. Al reducir la dependencia de insumos vírgenes y valorizar los subproductos, la EC mitiga la vulnerabilidad a las fluctuaciones de precios y a la escasez de recursos, transformando lo que antes era un costo (el residuo) en un activo económico potencial.

La presente investigación aborda la necesidad crítica de cuantificar los impactos económicos de la adopción de modelos circulares en la minería peruana. Esta cuantificación es esencial para justificar las inversiones necesarias y para formular

políticas públicas efectivas que promuevan esta transición. El trabajo se distingue por su contribución innovadora al aplicar un modelo económico robusto, como el de insumo-producto, para evaluar los efectos multisectoriales de la EC en el contexto específico de Perú. Al proporcionar datos concretos sobre la reducción de costos, el aumento del valor agregado y la generación de empleo, la investigación ofrece un argumento convincente para la adopción de la EC, trascendiendo la mera retórica ambiental para presentar un caso económico sólido y basado en evidencia.

Las ideas fundamentales que guían este trabajo son tres. Primero, se demuestra que la implementación de estrategias de economía circular en la minería genera beneficios económicos directos e indirectos sustanciales, incluyendo la reducción de costos operativos, el aumento del valor agregado y la creación de nuevas fuentes de empleo. Segundo, se subraya que la maximización de estos beneficios y el fortalecimiento de la resiliencia económica dependen críticamente de un enfoque multisectorial coordinado. Finalmente, se argumenta que la formulación de políticas adecuadas y el fomento de marcos de colaboración son habilitadores indispensables para una transición exitosa hacia la economía circular en el sector minero.

2. Objetivos

El objetivo principal de esta investigación es cuantificar los efectos económicos que la implementación de estrategias de economía circular tendría en el sector minero peruano y en la economía peruana (considerando las interconexiones entre diferentes sectores).

Para alcanzar este objetivo principal, se han definido los siguientes objetivos específicos:

- Identificar estrategias clave de economía circular aplicables a operaciones mineras.
- Modelar los cambios en los coeficientes técnicos de la matriz insumo-producto peruana que resultan de la implementación de la economía circular.
- Simular escenarios de implementación diferenciados por su alcance (limitado al sector minero o con encadenamientos multisectoriales) y por su intensidad (baja, media, alta).

3. Compilación de Datos y Desarrollo del Trabajo

En esta sección se reseñan los principales aspectos metodológicos del trabajo. Inicialmente se plantean las identidades y definiciones macroeconómicas de cuentas nacionales que serán utilizadas a lo largo del estudio para luego abordar la metodología de análisis a través de la matriz insumo-producto. Con esa base se analiza las oportunidades de implementar estrategias de EC en la minería peruana y se concluye con los parámetros y metodologías planteados en la construcción de los escenarios que permitirán obtener los resultados.

3.1 Identidades de cuentas nacionales

En esta sección se presentarán algunas identidades de cuentas nacionales que son claves para entender la construcción de escenarios. En primer lugar, el valor de los bienes y servicios ofertados debe ser igual al valor de los bienes y servicios demandados, como lo plantea la Ecuación [1]:

$$\text{Oferta total} = \text{Demanda total}$$

La composición de la oferta total se muestra en la Ecuación [2]:

$$\text{Oferta total} = \text{Producción bruta} + \text{Importaciones} + \text{Ajustes a la oferta}^1$$

A su vez, la producción bruta puede descomponerse en dos elementos como se muestra en la Ecuación [3]:

$$\text{Producción bruta} = \text{Demanda intermedia} + \text{Valor Agregado Bruto}$$

La demanda intermedia está constituida por el valor de todos los bienes y servicios que las empresas les compran a otras empresas para incorporarlos en su proceso productivo de nuevos bienes y servicios. En cambio, la composición del valor agregado bruto puede apreciarse en la Ecuación [4]:

$$\text{Valor Agregado Bruto} = \text{Remuneración de los asalariados} + \text{Otros impuestos o subsidios a la producción} + \text{Ingreso de explotación}$$

¹ Es la suma de derechos de importación, margen de transporte, margen de comercio, impuesto a los productos, subsidios e IGV no deducible.

En otras palabras, el valor agregado bruto estará compuesto por el pago al factor trabajo, la suma algebraica de los impuestos y subsidios a la producción y el pago al resto de factores de producción (conocido como ingreso de explotación).

Combinando [3] y [4] se tendrá la Ecuación [5]:

$$\text{Producción bruta} = \text{Demanda intermedia} + \text{Remuneraciones} + \text{Otros imptos. o subsidios a la producción} + \text{Ingreso de explotación}$$

Volviendo a la Ecuación [1], cabe analizar la composición de la demanda total, la que se presenta en la Ecuación [6]:

$$\text{Demanda total} = \text{Demanda intermedia} + \text{Demanda final}$$

En este caso, la demanda intermedia se entiende aquí como el valor de todos los bienes y servicios que las empresas les venden a otras empresas para que sean incorporados en sus procesos productivos de nuevos bienes y servicios. La demanda final es el valor de los bienes y servicios incluidos en el consumo de los hogares (sean comprados o autoconsumo), el consumo del gobierno, el consumo de las instituciones sin fines de lucro, la formación bruta de capital fijo de las empresas, la variación de existencias y las exportaciones.

Combinando las ecuaciones [1], [2] y [6]:

$$\text{Producción bruta} = \text{Demanda intermedia} + \text{Demanda final} - \text{Importaciones} - \text{Ajustes a la oferta}$$

Se unirán los tres últimos elementos en lo que se denominará "Demanda final neta", generando la Ecuación [7]:

$$\text{Producción bruta} = \text{Demanda intermedia} + \text{Demanda final neta}$$

3.2 Metodología Matriz Insumo-Producto

Si se parte de la Ecuación [7] se encuentra que la producción de la actividad j será igual al valor vendido a otras empresas más el valor vendido a usuarios finales. Si se agrupa a las empresas en n actividades, la aplicación de esta relación a la actividad k dará lugar a la Ecuación [8]:

$$x_k = i_{k1} + i_{k2} + \dots + i_{kn} + f_k$$

Donde x_k es la producción bruta de la actividad k , i_{kj} es el valor de los productos de la actividad k que son comprados por la actividad j para ser usados como insumos en su proceso productivo y f_k es la demanda final neta de los productos de la actividad k .

A nivel nacional, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) publica el Cuadro de Oferta y Utilización (CUO) que recoge todas las transacciones entre 101 actividades económicas. Para efectos del presente estudio se utilizó como base el Cuadro de Oferta y Utilización 2023 (Valores a precios corrientes)²

Puede generarse una nueva relación a partir de la Ecuación [8] que se muestra en la Ecuación [9]:

$$x_k = \frac{i_{k1}}{x_1} x_1 + \frac{i_{k2}}{x_2} x_2 + \dots + \frac{i_{kn}}{x_n} x_n + f_k$$

Se generará un conjunto de coeficientes técnicos, siguiendo la fórmula $a_{kj} = i_{kj}/x_j$. El coeficiente técnico a_{kj} se entiende como el valor de bienes y servicios de la actividad k necesaria para producir una unidad de valor en la actividad j . La producción de la actividad k se podrá representar con la Ecuación [10]:

$$x_k = a_{k1}x_1 + a_{k2}x_2 + \dots + a_{kn}x_n + f_k$$

Para el manejo simultáneo de las 101 actividades que considera el INEI se recurrirá a la notación matricial. Para ello, X será el vector (101×1) que reúne la producción bruta de cada una de las actividades (denotada por x_k en las ecuaciones previas), A será la matriz (101×101) de todos los coeficientes técnicos (representados por a_{kj} en las ecuaciones previas) y F será el vector (101×1) de la demanda final neta.

Con esa notación se puede reinterpretar la Ecuación [10] y plantear la Ecuación [11]:

$$X = AX + F$$

Operando:

$$X - AX = F$$

$$(I - A)X = F$$

$$X = (I - A)^{-1}F$$

$$X = L \cdot F$$

Donde $L = (I - A)^{-1}$ es la matriz de Leontieff que permite medir los cambios en la producción de las

² Disponible en: <https://m.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/economia/>

diversas actividades ante cambios en la demanda final neta.

3.3 Estrategias de Economía Circular

La implementación de estrategias de economía circular (EEC) en la minería peruana representa una oportunidad transformadora que puede abordar los desafíos ambientales del sector mientras genera valor económico y social. Estas estrategias buscan transitar del modelo lineal tradicional de "extraer-usar-desechar" hacia un sistema circular que priorice la reutilización, el reciclaje y la valorización de recursos.

Existen diversas EEC aplicables al sector minero en el Perú, se destacan las siguientes por su potencial generador de valor:

a) **VALORIZACIÓN DE RESIDUOS:** Se considera principalmente las oportunidades con dos tipos de residuos:

- **Relaves:** Los relaves mineros representan una de las mayores oportunidades para aplicar principios de economía circular. En el Perú se registran 393 relaveras activas y 1,989 pasivos ambientales relacionados con desmontes (Gala Soldevilla, 2024). La valorización de estos residuos puede realizarse mediante la transformación en materiales de construcción o la recuperación de metales valiosos.
- **Desmontes:** Los desmontes mineros pueden ser reutilizados como material de relleno en tajos antiguos y para la estabilización de estructuras mineras, aplicando el método de corte y relleno ascendente que reduce la necesidad de almacenamiento en superficie (Priester & Vasquez, 2016).

b) **OPTIMIZACIÓN DEL USO DE RECURSOS HÍDRICOS:** Los avances en la reducción del requerimiento de agua dulce por parte de las operaciones mineras se presentan en dos frentes:

- **Sistemas de Recirculación:** La implementación de sistemas cerrados de agua permite reutilizar el recurso hídrico múltiples veces. En el Perú, la minería utiliza solo el 1.5% del agua disponible, pero representa el 65% de los vertimientos industriales autorizados (PERUMIN, s.f.). Las estrategias incluyen el tratamiento y reutilización de aguas residuales para uso en procesos mineros y actividades agrícolas cercanas, el aprovechamiento de aguas

residuales urbanas, la desalinización de aguas oceánicas, entre otras.

- **Monitoreo y Eficiencia Hídrica:** La adopción de tecnologías de monitoreo en tiempo real permite optimizar el uso del agua, medir pérdidas por evaporación y mejorar la eficiencia del ciclo hidrológico.

c) **EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES:** La incorporación de fuentes renovables como solar y eólica en las operaciones mineras reduce la huella de carbono y alinea al sector con la transición energética global. Asimismo, existen oportunidades de optimizar el consumo de energía mediante renovación de equipos, implementación de sistemas de automatización que optimizan el consumo energético y monitoreo inteligente para detectar ineficiencias operativas

d) **INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y DIGITALIZACIÓN:** La minería de precisión utiliza datos geoespaciales, sensores y robótica para lograr una extracción más eficiente con menor generación de residuos.

e) **ESTRATEGIAS GENÉRICAS:** Existen oportunidades a diferentes sectores económicos como la extensión de la vida útil de la maquinaria y equipo, la reducción en el uso de insumos por unidad de producto y la valorización de los residuos domésticos generados por las áreas administrativas y los comedores.

La implementación de estas estrategias genera beneficios ambientales, económicos y sociales significativos (Gala Soldevilla, 2024):

- **Ambientales:** Reducción de emisiones, minimización de residuos y preservación de recursos naturales
- **Económicos:** Generación de valor agregado, reducción de costos operativos y creación de nuevos mercados
- **Sociales:** Mejora de relaciones comunitarias, generación de empleo y desarrollo local sostenible.

Para la presente investigación se optó por analizar con especial énfasis los impactos económicos utilizando la metodología de la matriz insumo-producto. Esto implicó un desafío: identificar cuáles de las EEC aplicables a la minería peruana podrían ser modeladas como cambios en la matriz insumo-producto y cuál sería la magnitud de dichos cambios.

Para seleccionar las EEC que serían modeladas se tomaron las siguientes decisiones:

- Se incluyó la valorización de los relaves y desmontes como una reducción en la demanda intermedia de la actividad Minería a la actividad Construcción y un cambio en la demanda intermedia de la actividad Construcción (reemplaza minerales no metálicos por minerales metálicos)
- No se incluyó la valorización de relaves por recuperación de metales valiosos. Se consideró que se requiere trabajar a un mayor nivel de detalle para alcanzar estimaciones más confiables del potencial de esta actividad.
- La optimización del uso de recursos hídricos se modeló como una reducción de la demanda intermedia de la actividad minera a la actividad Suministro de agua; alcantarillado, gestión de desechos y saneamiento.
- La eficiencia energética y energías renovables se incorporaron al modelo como una reducción de la demanda intermedia de la actividad minera por los productos de las actividades de refinación de petróleo y electricidad y gas.
- La innovación tecnológica y digitalización se han considerado como iniciativas de soporte a las otras estrategias. En ese sentido, se han reflejado en un aumento de la demanda intermedia de la actividad minera por servicios profesionales, científicos y técnicos.
- Se tomó dos estrategias genéricas:
 - extensión de la vida útil de la maquinaria y equipo, a través de una reducción en la demanda intermedia de la actividad minera por los productos de las actividades Fabricación de maquinaria y equipo eléctrico y Fabricación de otra maquinaria y equipo, y
 - reducción en el uso de insumos por unidad de producto, donde -además de las reducciones ya mencionadas- se consideró una reducción en la demanda intermedia de la actividad minera por los productos de la actividad Fabricación de pesticidas y otros productos químicos

Después de esas consideraciones, las EEC en minería que fueron modeladas son:

Estrategia	Mecanismos
Eficiencia hídrica (EEC-1)	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de recirculación (recuperación del 60-80% del agua)

	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de agua de mar tratada en operaciones costeras • Tecnologías de procesamiento en seco
Eficiencia energética (EEC-2)	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de sistemas de eficiencia energética • Transición a energías renovables (solar en zonas altoandinas) • Sistemas de recuperación de calor residual
Menor uso de productos químicos y reactivos (EEC-3)	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación y reutilización de reactivos • Optimización de dosificación mediante sistemas de control avanzado • Sustitución por alternativas de menor impacto
Eficiencia en construcción y maquinaria (EEC-4)	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño modular reutilizable • Extensión de vida útil de activos • Recuperación de componentes
Valorización de residuos (EEC-5)	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de relaves y desmontes como insumos para la construcción

En la modelación se consideró que estas estrategias podrían ser implementadas con distintos grados de intensidad. Se planteó tres niveles: intensidad baja, media y alta, para los cuales se definieron los siguientes cambios, basados en estudios previos:

Estrategias	Parámetros	Intensidad			Fuente
		Baja	Media	Alta	
EEC-1	Baja en el consumo de agua	15%	20%	25%	(a)
EEC-2	Baja en el consumo de electricidad y combustibles	10%	15%	20%	(b)
EEC-3	Baja en el consumo de productos químicos	12%	17%	22%	(c)
EEC-4	Baja en el consumo de construcción y maquinaria	8%	13%	18%	(d)
EEC-5	Baja en la demanda del sector minerales no metálicos para construcción y aumento en la demanda del sector minerales metálicos	10%	15%	20%	(e)
Todas	Sube la demanda de servicios profesionales, científicos y técnicos	10%	15%	20%	(f)

Fuentes:

- (a) Gunson, Klein, Veiga y Dunbar (2012), Aitik y Akcil, (2021), Northey, Mudd, Werner, Jowitt y Haque (2017).
- (b) Pell, Wall, Yan y Bailey (2019), Löow, Abrahamsson y Johansson (2019).
- (c) Vega-Coloma y Pimentel (2020).
- (d) Park, Kim y Lee (2022), Lèbre, Corder y Golev (2017), Northey, Haque y Mudd (2013).
- (e) Guo, Qu y Li (2025), El Machi y Hakkou (2024)
- (f) Govindan, K., Shankar, M., y Kannan, D. (2016), Lieder, M., y Rashid, A. (2016), Vega-Carranza, Pinto-Bazurco y Huamanchumo (2018), Johansson, Löow, Abrahamsson y Johansson (2019)

Los supuestos fundamentales incluyen demanda externa perfectamente elástica, consistente con la alta competitividad de concentrados peruanos, e implementación gradual de tecnologías circulares según capacidades técnicas y financieras del sector.

3.4 Definición de Escenarios

La aplicación de estrategias de economía circular será modelada a través de la Ecuación [5]. Se plantearán dos niveles de análisis:

- **Análisis sectorial:** Se mantiene la misma producción de minerales metálicos y las estrategias de EC generan, por tanto, una menor demanda intermedia. Si se supone que no hay cambios en remuneraciones ni en impuestos o subsidios a la producción (dado que no hay cambios en la producción), la consecuencia más importante será el aumento del ingreso de explotación. Esto generará un aumento en los beneficios de las empresas del sector y en la recaudación del impuesto a la renta.
- **Análisis integral:** La implementación de las estrategias de economía circular en el sector minero motivan cambios en la matriz de coeficientes técnicos y, en consecuencia, en la matriz de Leontieff. Asimismo, suponiendo una demanda internacional perfectamente elástica, la mayor productividad de la actividad minera permitirá un aumento de las exportaciones y, en consecuencia, de la demanda final. El aumento de la demanda final por los productos mineros se estimará en un porcentaje equivalente a la reducción de la demanda intermedia en cada escenario. Posteriormente, la matriz de Leontieff permitirá calcular el impacto que ese aumento en la demanda final de los productos de la actividad minera repercute en otras actividades de la economía.

Los dos tipos de análisis se plantearán para los tres niveles de intensidad de implementación de las estrategias de EC:

- En el análisis sectorial los porcentajes de variación se aplicaron sobre el valor de la demanda intermedia de los siguientes sectores:

Estrategias	Parámetros	Actividades o sectores
EEC-1	Baja en el consumo de agua	036002-Suministro de agua; alcantarillado, gestión de desechos y saneamiento
EEC-2	Baja en el consumo de electricidad y combustibles	022001-Refinación de petróleo 036001-Electricidad y gas
EEC-3	Baja en el consumo de productos químicos	024002-Fabricación de pesticidas y otros productos químicos
EEC-4	Baja en el consumo de construcción y maquinaria	032001-Fabricación de maquinaria y equipo eléctrico 032002-Fabricación de otra maquinaria y equipo 037001-Construcción
Todas	Aumento en la demanda de servicios profesionales, científicos y técnicos	046001-Servicios profesionales, científicos y técnicos

La EEC-5 no es considerada en el análisis sectorial porque se refiere al impacto en la demanda intermedia del sector construcción.

- En el análisis integral los porcentajes de variación se aplicaron sobre los coeficientes técnicos a_{kj} correspondientes a la demanda intermedia de la actividad 004001-Extracción de minerales metálicos con respecto a los sectores señalados en la tabla anterior y a la demanda intermedia de la actividad 037001-Construcción con respecto a la actividad 004001-Extracción de minerales metálicos (EEC-5).

Dados los coeficientes técnicos ajustados se calculó la nueva matriz de Leontieff L_{EC} para los tres niveles de intensidad.

4. Presentación y discusión de resultados

En esta sección se presentan los resultados de la construcción de los escenarios descritos previamente y se discuten sus implicancias a la luz de otros aportes presentes en la literatura.

4.1 Impactos Directos en el Sector Minero

Luego de la aplicación del análisis sectorial reseñado previamente, se encuentra que la implementación de economía circular genera reducciones significativas en costos operativos: 7% en escenario de baja intensidad, 12% en intensidad

media y 22% en alta intensidad. Estos ahorros provienen principalmente de menores consumos energéticos y de reactivos químicos.

El valor agregado sectorial aumenta entre 1.4% y 2.8%, derivado de mayor eficiencia en procesos y menor dependencia de insumos importados. Este análisis no contempla la recuperación de materiales valiosos o la valorización de los residuos como insumo para la construcción que podrían generar flujos de ingresos adicionales.

En el escenario de intensidad baja (Tabla 1), el aumento del valor agregado del sector alcanza el 1.4%. Esto implica un aumento de la recaudación por impuesto a la renta de 616 millones de soles y de los beneficios empresariales de 694 millones de soles³.

Tabla 1: Resultados del análisis sectorial con intensidad baja

En millones de soles	Base	EC baja	Var.
Demanda Intermedia	38,971	37,661	-1,310
Valor agregado bruto	92,992	94,302	1,310
Remuneraciones	15,381	15,381	0
Impuestos sobre la producción	522	522	0
Ingreso de explotación	77,089	78,399	-1,310
Producción bruta	131,963	131,963	0

En el escenario de intensidad media (Tabla 2), el aumento del valor agregado del sector alcanza el 2.1%. Esto implica un aumento de la recaudación por impuesto a la renta de 923 millones de soles y de los beneficios empresariales de 1,040 millones de soles.

Tabla 2: Resultados del análisis sectorial con intensidad media

En millones de soles	Base	EC media	Var.
Demanda Intermedia	38,971	37,008	-1,963
Valor agregado bruto	92,992	94,955	1,963
Remuneraciones	15,381	15,381	0
Impuestos sobre la producción	522	522	0
Ingreso de explotación	77,089	79,052	1,963
Producción bruta	131,963	131,963	0

En el escenario de intensidad alta (Tabla 3), el aumento del valor agregado del sector alcanza el 2.8%. Esto implica un aumento de la recaudación

por impuesto a la renta de 1,230 millones de soles y de los beneficios empresariales de 1,387 millones de soles.

Tabla 3: Resultados del análisis sectorial con intensidad alta

En millones de soles	Base	EC alta	Var.
Demanda Intermedia	38,971	36,355	-2,616
Valor agregado bruto	92,992	95,608	2,616
Remuneraciones	15,381	15,381	0
Impuestos sobre la producción	522	522	0
Ingreso de explotación	77,089	79,705	2,616
Producción bruta	131,963	131,963	0

En la Tabla 4 se sintetiza la contribución a la reducción de la demanda intermedia de cada una de las EEC considerando los diferentes niveles de intensidad.

Tabla 4: Impacto de las EEC sobre la demanda intermedia

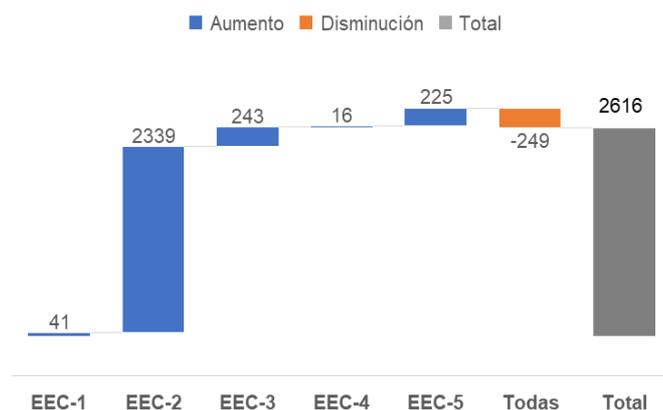
Estra- tegias	Actividad	Baja	Media	Alta
EEC-1	Suministro de agua; alcantarillado, gestión de desechos y saneamiento	24	32	41
EEC-2	Refinación de petróleo	771	1,157	1,542
	Electricidad y gas	399	598	797
EEC-3	Fabricación de pesticidas y otros productos químicos	133	188	243
EEC-4	Fabricación de maquinaria y equipo eléctrico	7	12	16
EEC-5	Fabricación de otra maquinaria y equipo	50	80	111
	Construcción	51	82	114
Todas	Servicios profesionales, científicos y técnicos	-124	-186	-249
Baja de la Demanda Intermedia		1310	1963	2616

Como se puede observar, el impacto de las diferentes estrategias de EC sobre la demanda intermedia es diferente. La Ilustración 1 presenta una comparación gráfica de los impactos en el escenario en que la intensidad en la implementación sea alta. Se puede apreciar que el mayor impacto se obtiene con las estrategias de eficiencia energética.

³ Para el cálculo del aumento en la recaudación por impuesto a la renta y otros derivados de las utilidades de las empresas mineras se ha utilizado una tasa de 47%, de acuerdo con el

estudio realizado en 2019 por el Instituto Peruano de Economía por encargo de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía.

Ilustración 1: Impactos de las diferentes EEC con intensidad alta en la reducción de la demanda intermedia de la actividad (en millones de soles)



Cabe indicar que, el potencial ahorro hídrico no tiene un impacto significativo en la estructura de costos de las empresas mineras y, por lo tanto, no se ve reflejado en un mayor valor agregado. No obstante, no debe dejar de considerarse que una menor presión de la actividad minera sobre el recurso hídrico puede mitigar conflictos por uso del recurso y pueden mejorar el relacionamiento de la empresa con la población en sus zonas de influencia.

4.2 Resultados del Análisis Integral

Para efectos de calcular los efectos sobre toda la economía se utilizaron los multiplicadores económicos calculados mediante la matriz inversa de Leontieff con las estrategias de economía circular (L_{EC}).

Como se mencionó en la sección anterior, la estimación parte por estimar el impacto en las exportaciones por el aumento en productividad que, a su vez, es un componente de la demanda final. El aumento en las exportaciones mineras es 3.2% en el escenario de intensidad baja, 4.8% en el escenario de intensidad media y 6.4% en el escenario de intensidad alta.

A partir del estímulo en la demanda final por el aumento de exportaciones actúan los multiplicadores a otras actividades. El incremento del PBI total fluctúa entre 0.4% (intensidad baja) y 0.78% (intensidad alta). Se verifica que, por cada sol adicional de producción minera, se generan entre 1.55 y 1.57 soles de producción total en la economía.

Entre las actividades conexas más beneficiadas se encuentra el transporte terrestre, los servicios

financieros y los servicios profesionales, científicos y técnicos. Esta distribución refleja la capacidad de la economía circular para dinamizar encadenamientos productivos hacia atrás y hacia adelante.

El análisis de encadenamientos revela que la minería peruana presenta encadenamientos hacia atrás del 34.1% y hacia adelante del 32.8% de su producción total (Castilla, 2023). La implementación de economía circular fortalece estos vínculos mediante mayor demanda de servicios técnicos especializados, equipos de eficiencia energética y tecnologías de tratamiento de residuos.

Los impactos no se limitan al PBI. Por cada empleo directo creado en minería, se generan 3.7 empleos adicionales en otros sectores (Castilla, 2023). La economía circular amplifica este efecto mediante demanda de empleos verdes en gestión de residuos e investigación y desarrollo minero [7].

Un elemento para considerar es que los encadenamientos son más fuertes en regiones con mayor competitividad, acceso al crédito y conectividad. Esto sugiere que el éxito de la economía circular requiere políticas complementarias de desarrollo regional e innovación.

Tomando en cuenta todas esas consideraciones, la Tabla 5 resume los impactos de la implementación de las Estrategias de Economía Circular modeladas en función de la intensidad en su implementación.

Tabla 5: Impacto de las EEC sobre la economía

Parámetros	Intensidad		
	Baja	Media	Alta
Aumento en exportaciones	3.2%	4.8%	6.4%
Aumento del PBI	0.4%	0.6%	0.8%
Nuevos empleos directos	3944	5800	7772
Nuevos empleos indirectos	14593	21460	28756

5. Conclusiones

A continuación, se presentan las conclusiones y recomendaciones de política que surgen a partir de la presente investigación.

Conclusión 1: Identificación de estrategias de economía circular viables

Se identificaron estrategias de economía circular aplicables a operaciones mineras peruanas. El reprocesamiento de relaves, la eficiencia energética mediante el reemplazo de equipos, la optimización del uso del agua y la valorización de

relaves y desmontes como materia prima para la construcción constituyen oportunidades de generación de valor agregado donde ya se están viendo los primeros resultados.

Conclusión 2: Modelado exitoso de cambios en coeficientes técnicos

La modificación de los coeficientes técnicos de la matriz insumo-producto peruana capturó efectivamente los impactos directos e indirectos de la economía circular. Se logró modelar reducciones de la demanda de la minería por agua entre 15% y 25%, electricidad y combustibles entre 10% y 20%, productos químicos entre 12% y 22% y materiales de construcción y maquinaria entre 8% y 18%, apoyados por estudios previos sobre aplicación de estrategias de economía circular. A partir de los coeficientes resultantes de la reducción se construyó una nueva matriz de Leontieff que sería usada para la medición de los impactos.

Conclusión 3: Simulación efectiva de escenarios diferenciados por intensidad

Los tres escenarios simulados (baja, media y alta intensidad) demostraron impactos económicos progresivos y significativos. El escenario de baja intensidad genera reducciones de costos operativos del 7% y 18,537 empleos adicionales (directos e indirectos), con un incremento del PBI de 0.4%. El escenario de media intensidad alcanza reducciones del 12% en costos, 27,260 empleos y 0.6% de PBI adicional. El escenario de alta intensidad logra los mayores impactos con 22% de reducción de costos, 36,528 empleos generados y 0.8% de incremento del PBI. Los efectos multiplicadores se concentran en sectores estratégicos como gestión de residuos e I+D minero, confirmando que la implementación multisectorial coordinada maximiza los beneficios económicos de la transición hacia la economía circular en la minería peruana.

Recomendaciones de Política

Los beneficios económicos estimados, a los que se suman los innegables beneficios sociales y ambientales de la implementación de EEC en el Perú deben motivar a las diferentes partes involucradas a profundizar las acciones que aceleren la transición hacia modelos de negocio cada vez más circulares:

- Articulación academia-industria-gobierno. Un componente que, a lo largo del documento, se ha reiterado que es clave para la implementación de EEC es el I+D minero. El Perú debe

aprovechar sus excelentes condiciones para el desarrollo de una minería con altos estándares mundiales para desarrollar conocimientos en gestión minera sostenible que favorezcan la competitividad de las empresas peruanas y sean exportados al mundo.

- Incentivos fiscales para la inversión en tecnologías y prácticas circulares, mitigando los costos iniciales y fomentando la adopción por parte de las empresas. El análisis sectorial demostró que la implementación de EEC genera beneficios a las empresas que revierten al Estado a través de una mayor recaudación de impuesto a la renta. Implementar aceleración de depreciación y créditos tributarios para proyectos de economía circular certificados por MINAM y MINEM contribuirían a acelerar la transición.
- Desarrollo de clústeres minero-industriales que faciliten el aprovechamiento de residuos y subproductos mineros como insumos para otras industrias, promoviendo la simbiosis industrial y la creación de nuevas cadenas de valor. Fomentar la creación de zonas especializadas para valorización de relaves en cementos y prefabricados, acelerando la demanda downstream y fortaleciendo encadenamientos productivos.
- El fortalecimiento de relaciones con comunidades locales a través de proyectos de desarrollo sostenible que incorporen principios circulares, generando beneficios compartidos y licencia social para operar

El modelo presentado en esta investigación proporciona una base sólida para futuras exploraciones. Se reconoce la necesidad de ampliar el análisis con un estudio dinámico que evalúe el cierre de brechas tecnológicas y la incorporación de externalidades ambientales no contabilizadas en este estudio, lo que permitiría una comprensión aún más integral de los beneficios de la economía circular.

6. Referencias bibliográficas

- Aitik, M., & Akcil, A. (2021). Water management in mining operations: Status and future direction towards sustainability. *Journal of Environmental Management*, 287.
- Antony Jose, S., Calhoun, J., Renteria, O. B., Mercado, P., Nakajima, S., Hope, C. N., . . . Menezes, P. L. (2024). Promoting a Circular

- Economy in Mining Practices. *Sustainability*, 16(24). doi:<https://doi.org/10.3390/su162411016>
- BCRP. (s.f.). *BCRP Data*. Obtenido de <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/index>
- Castilla, L. M. (2023). *Encadenamientos productivos y brechas sociales en minería*. Lima: Videnza Instituto. Propuestas del Bicentenario.
- El Machi, A., & Hakkou, R. (2024). Implementation of Circular Economy Between Mining and Construction Sectors: A Promising Route to Achieve Sustainable Development Goals. . En *In Sustainable Structures and Buildings (pp.)* : (págs. 51-63). Cham: Springer Internationa.
- Gala Soldevilla, F. (2024). *La economía circular en la minería del Perú*. Obtenido de <https://minsus.net/mineria-sustentable/wp-content/uploads/2024/08/2.-Fernando-Gala-ECONOMIA-CIRCULAR.pdf>
- Govindan, K., Shankar, M., & Kannan, D. (2016). .Sustainable material selection for construction industry – A hybrid multi criteria decision making approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 1274-1288.
- Gunson, A. J., Klein, B., Veiga, M., & Dunbar, S. (2012). Reducing mine water requirements. *Journal of Cleaner Production*, 21(1), 71-82.
- Guo, Y., Qu, F., & Li, W. (2025). Advancing circular economy and construction sustainability: transforming mine tailings into high-value cementitious and alkali-activated concrete. *Materials Sustainability*, 3(1).
- Johansson, B., Löow, J., Abrahamsson, L., & Johansson, J. (2019). A human factor approach to the challenges of digitalisation in mining. . *Applied Ergonomics*, 74, 73-80.
- Lèbre, É., Corder, G. D., & Golev, A. (2017). Sustainable practices in the management of mining waste: A focus on the mineral resource. *Minerals Engineering*, 107, 34-42.
- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115, 36-51.
- Löow, J., Abrahamsson, L., & Johansson, J. (2019). Mining 4.0—the impact of new technology from a work place perspective. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 36, 701-707.
- Northey, S. A., Mudd, G. M., Werner, T. T., Jowitt, S. M., & Haque, N. (2017). The exposure of global base metal resources to water criticality, scarcity and climate change. *Global Environmental Change*, 44, 109-124.
- Northey, S., Haque, N., & Mudd, G. (2013). Using sustainability reporting to assess the environmental footprint of copper mining. *Journal of Cleaner Production*, 40, 118-128.
- Park, J., Kim, J., & Lee, S. (2022). Environmental Impact of Remanufacturing Mining Machinery. *Sustainability*, 14(13), ., 14(13), 8118.
- Pell, R., Wall, F., Yan, X., & Bailey, G. (2019). Applying and advancing the economic resource scarcity potential (ESP) method for rare earth elements. *Resources Policy*, 62, 472-481.
- PERUMIN. (s.f.). *Recursos hídricos*. Recuperado el 2025 de julio de 17, de <https://perumin.com/perumin35/public/es/reto/recursos-hidricos>
- Priester, M., & Vasquez, P. (2016). *Estudio de caso MINERA YANAQUIHUA del uso eficiente de los recursos energía y agua en la minería y la concentración de minerales en los países Andinos*. Obtenido de <https://minsus.net/mineria-sustentable/wp-content/uploads/2021/02/PDF-Estudio-de-caso-MINERA-YANAQUIHUA.pdf>
- Uusitalo, T., Huttunen-Saarivirta, E., Hanski, J., Lima-Toivanen, M., Myllyoja, J., & Valkokari, P. (2020). *Policy Instruments and Incentives for Circular Economy - Final report*. (0.9 ed.) EIT RawMaterials. . Obtenido de <https://eitrawmaterials.eu/wp-content/uploads/2020/07/EIT-RawMaterials-project-POLICE-Final-report.pdf>
- Vega-Carranza, W., Pinto-Bazurco, J., & Huamanchumo, E. (2018). Environmental services in Peruvian mining: A new approach for sustainable development. *Journal of Environmental Management*, 220, 295-305.
- Vega-Coloma, G., & Pimentel, B. (2020). Strategies for reagent optimization in mineral processing: A circular economy approach. *Minerals Engineering*, 159, 106617.

7. Reseña profesional de los autores

Autor: José Luis Ruiz Pérez

- Perfil profesional: Profesor del Departamento Académico de Finanzas de la Universidad del Pacífico. Profesional dedicado a la investigación y consultoría en Políticas Ambientales y Finanzas Sostenibles.
- Grados académicos: Licenciado en Economía por la Universidad del Pacífico y MBA del Massachusetts Institute of Technology (EE.UU.).
- Dirección: Jirón Sánchez Cerro 2141, Jesús María, Lima, Perú
- Correo corporativo: ruiz_JL@up.edu.pe
- Correo personal: jose.ruiz.pe@gmail.com
- Teléfono: +51 984124298

Coautora: Gisella Silvana Aragón Peñaloza

- Perfil profesional: Jefa de la Unidad de Monitoreo e Innovación de la Escuela de Gestión Pública y Profesora del Departamento Académico de Economía de la Universidad del Pacífico. Profesional dedicada a la investigación y consultoría en Políticas Ambientales e Innovación Pública.
- Grados académicos: Licenciada y Master en Economía por la Universidad del Pacífico y MPA-ID del Kennedy School of Government de Harvard University (EE.UU.).
- Dirección: Jirón Sánchez Cerro 2141, Jesús María, Lima, Perú
- Correo corporativo: aragon_GS@up.edu.pe
- Correo personal: gapsilvana@gmail.com
- Teléfono: +51 995691878