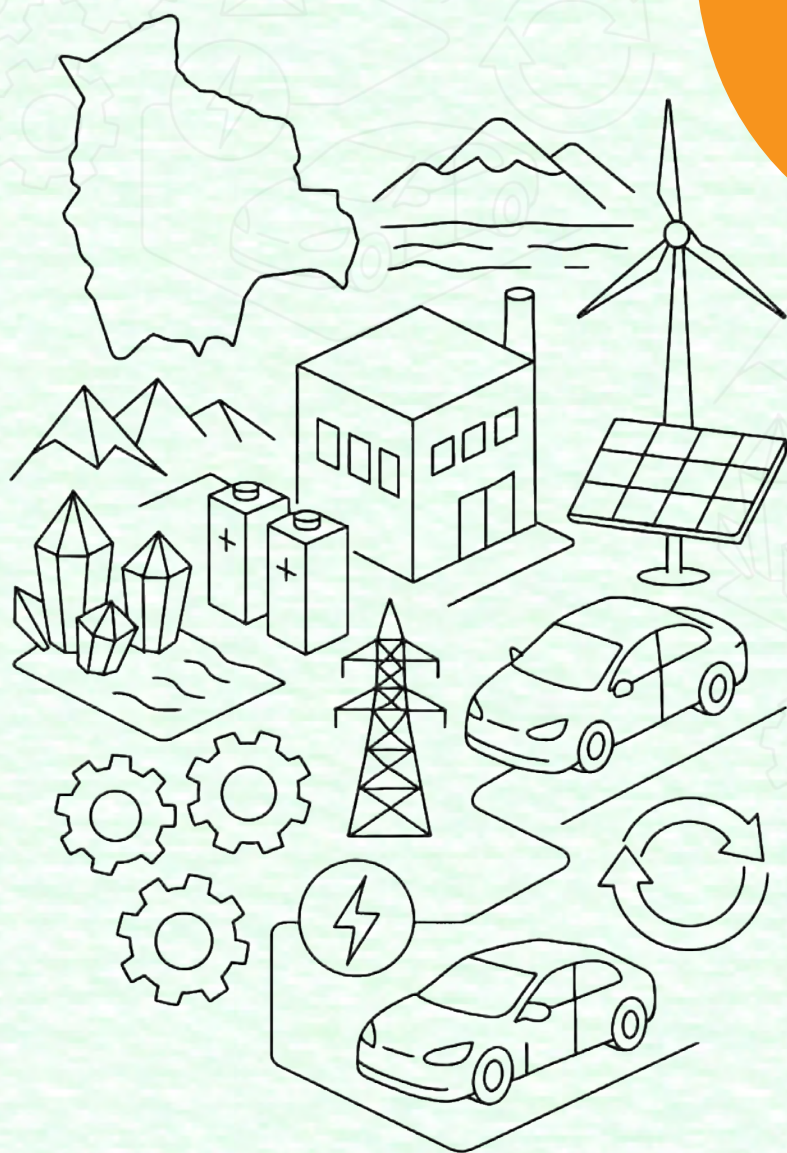


Reindustrialización sin extractivismo

*Cadenas de valor y
procesamiento de
minerales estratégicos en
Bolivia.*



Reindustrialización sin extractivismo:

*cadena de valor y procesamiento de
minerales estratégicos en Bolivia*



Reindustrialización sin extractivismo:

cadena de valor y procesamiento de minerales estratégicos en Bolivia

Corporación para el Desarrollo de Políticas Energéticas para las Transiciones Justas, POLEN Transiciones Justas

Bogotá - Colombia, abril de 2026

www.polentj.org

Autores:

Leonardo Rojas
Daniela Pacheco

Diseño:

Cristian Porte

Cítese como:

POLEN Transiciones Justas (2026) *Reindustrialización sin extractivismo: cadenas de valor y procesamiento de minerales estratégicos en Bolivia*. Leonardo Rojas y Daniela Pacheco.



Esta es una obra de acceso abierto distribuida bajo la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>). Los usuarios pueden reproducir, distribuir, adaptar y desarrollar el contenido de la obra original, conforme a los términos de la licencia mencionada.

POLEN Transiciones Justas debe ser claramente reconocido como titular de la obra original. Los usuarios no están autorizados a reproducir el logo de POLEN Transiciones Justas en sus obras.

Tabla de contenido

1. Introducción	5
2. Metodología y Datos.....	7
3. <i>Hacia una definición de las cadenas de valor verdes. Tecnologías asociadas a fuentes no convencionales de energía renovable</i>	11
3.1. Energía Eléctrica	11
3.2. Hidrógeno	12
3.3. Litio.....	13
4. <i>Sectores estratégicos para una reindustrialización verde</i>	14
5. <i>Reindustrialización verde podría generar incrementos de hasta %2,4 del producto</i>	15
5.1. Choque 1: Aumento de la demanda de los productos de sectores estratégicos podría generar incrementos del producto de hasta %2,2 y hasta %1,4 en el empleo.....	15
5.2. Choque 2: Aumento de la demanda y sustitución de importaciones incrementaría el producto en hasta %2,4 y el empleo en %1,5.....	16
6. <i>Definición de criterios de potencialidad</i>	16
7. <i>Recomendaciones</i>	17
8. <i>Referencias</i>	19
9. <i>Anexos</i>	21
9.1. Anexo 1. Metodología	21
9.2. Anexo 2.....	23

1. Introducción

La discusión sobre reindustrialización asociada a tecnologías verdes se da en el contexto global de amplia demanda de minerales denominados de transición energética, al existir actualmente la inclinación mundial hacia un mayor cuidado del medio ambiente y del compromiso de muchos países (sobre todo desarrollados) de disminuir sus emisiones de CO₂. Para el caso de Bolivia, la exploración y explotación del litio como mineral estratégico están atravesadas no solo por la dimensión socioeconómica y ambiental, sino por la geopolítica regional, de justicia social y política. En síntesis, el impacto que tendrán en la región las definiciones y acciones que tomen los hacedores de política económica y ambiental en el mundo será significativo para el desempeño del mercado mundial de dichos productos, que a su vez condicionará dinámicas socioambientales fundamentales a largo plazo.

Debido a que la explotación y comercialización del litio en Bolivia podrían mejorar las condiciones económicas y sociales futuras del país, su producción ha sido previamente objeto de amplio debate económico y político. Con respecto al desempeño económico, existe la percepción de que la explotación de litio podría tener el mismo impacto que tuvo la del gas natural. Desde la perspectiva política partidaria, los discursos sobre la propiedad del recurso natural, la apropiación y el uso del excedente económico se convierten, al igual que pasó con el gas natural, en ingredientes para la construcción de movimientos políticos. Por ello es fundamental reconocer que los debates sobre Transición Energética se sostienen sobre el supuesto que este tipo de programas tienen un potencial transformador en redistribución de riqueza, acceso a servicios públicos, mejoramiento en las condiciones materiales de la población y reducción de brechas de género en empleabilidad y participación política.

No obstante, se identifica que el comportamiento de la demanda global por los minerales estratégicos es creciente pero incierta. La IEA (2022) señala que los precios de los minerales de transición tienden a ser volátiles, más que los de los hidrocarburos tradi-

cionales, debido al desajuste entre la evolución de la demanda y el desarrollo de nuevos proyectos, así como también a la opacidad de las cadenas de suministro. En este sentido, el presente estudio tiene el objetivo de identificar los eslabones y sectores de las cadenas productivas con mayor potencial e impacto para el crecimiento económico (producción), empleo y complejidad económica con el menor impacto ambiental.

Es importante mencionar que, así como se identifica un comportamiento cambiante en precios internacionales, según la IEA (2023), América Latina y el Caribe podría aprovechar el margen significativo de la creciente demanda de tecnologías de energía limpia para expandir la producción y exportación de minerales, teniendo en cuenta que poseen un sector minero bien establecido e importantes reservas. Así, América Latina podría ayudar a la economía global a evitar los cuellos de botella en el suministro, que podrían amenazar las transiciones a las energías limpias.

Con respecto a dicha experiencia en producción, la región podría expandirse hacia una variedad de otros materiales como el níquel, clave en baterías y electrolicadores, y las tierras raras, que se requieren para los motores de vehículos eléctricos y las turbinas eólicas. Lo anterior, a partir del aumento en la producción e incorporación de recursos no explotados, mejoramiento en las prácticas de suministro sostenible y transición de la producción de minerales a la de productos procesados.

Por ahora, Bolivia enmarca su apuesta de reindustrialización en el Plan de Desarrollo Económico y Social 2021–2025 (PDES) bajo el eje de “Industrialización con Sustitución de Importaciones (ISI)”. Este plan supone una política productiva hacia encadenamientos locales, compras públicas y fortalecimiento de empresas estratégicas, con énfasis en manufacturas ligadas a recursos naturales y bienes de capital básicos. En la práctica, los sectores aterrizan el recién mencionado PDES en planes estratégicos que van entre 2021 y 2025 hacia la alineación de instrumentos presu-

puestales y regulatorios para acelerar inversiones y capacidades industriales en territorio.

En este sentido, Bolivia cuenta con la Estrategia Nacional para la Producción y Uso de Hidrógeno Verde y de Bajas Emisiones (2024) y con la Contribución Determinada a Nivel Nacional 2021–2030. La primera estrategia es clave ya que plantea líneas de acción para descarbonizar usos industriales difíciles de electrificar y crear nueva demanda tecnológica doméstica. La segunda ordena compromisos en energía, eficiencia y transporte eléctrico, útiles para la consolidación de programas de modernización industrial y creación de clústeres tecnológicos. El gobierno proyecta combinar normalización técnica, desempeño energético, parques industriales sostenibles y convocatorias de innovación orientadas a demanda.

No obstante, uno de los pilares de la discusión en reindustrialización verde tiene que ver con el extractivismo y la producción tecnificada de minerales estratégicos. Frente a esta dimensión, Bolivia ha planteado que la Empresa Pública Nacional Estratégica Yacimientos de Litio Bolivianos se consolide como eje de la estrategia productiva. Se encuentra como antecedente el Decreto Supremo 5086 (18 de diciembre de 2023), que autorizó un aporte de capital del Tesoro General para robustecer la capacidad de inversión, en paralelo con la puesta en marcha de la Planta Industrial de Carbonato de Litio en Llipi, Potosí. El país plantea que esta plataforma derive en reindustrialización, y no sólo en exportaciones de insumos básicos.

Por su parte, se encuentran tensiones con respecto a la participación estatal central. Dado que esta industria es intensiva en capital y la mayor parte de la producción se destina al mercado externo, el principal vínculo de esta actividad con el resto de la economía se da a través de los mecanismos tributarios. En este sentido, para alcanzar un máximo beneficio social es deseable que estos recursos sean administrados de forma planificada, en lo posible, priorizando proyectos de salud y educación. Se concluye que, si la mayor cantidad de los tributos se destinan a cubrir el déficit del sector público no financiero, en especial, el déficit del Tesoro General del Estado, entonces el impacto sobre el empleo y la disminución de la pobreza sería marginal.

Con el fin de establecer la conexión entre finanzas nacionales, producción mineral, transición energética y desarrollo tecnológico, en este documento se presenta

una caracterización general de la estructura productiva de la economía boliviana, es decir, un análisis sectorizado de la matriz productiva. A su vez, se realiza una identificación de los sectores vinculados a potenciales escenarios de TEJ y de reindustrialización verde.

Teniendo en cuenta las características propias de la economía boliviana, se hace un desglose de los diferentes eslabones que componen la cadena de valor de estas tecnologías y se analizan los sectores económicos que hacen parte de cada uno de los eslabones. Esto permite identificar un posible flujo o una potencial cadena de valor local que puede fortalecer el desarrollo y la producción de estas tecnologías, tanto en lo que corresponde a la oferta como a la demanda energética.

En ese sentido, el documento presenta escenarios de evaluación de políticas públicas con base en la definición de las tecnologías potenciales para la transición energética. Los escenarios son: en primer lugar, una transición energética vinculada a un proceso de reindustrialización verde completo, es decir, abordando la mayor cantidad de eslabones identificados como eslabones verdes de la cadena de valor. En segundo lugar, otros escenarios asociados al impulso de diferentes subgrupos de sectores que permitirían identificar los eslabones potenciales que serían el foco de una estrategia de transformación productiva verde.

Con base en los resultados obtenidos de los diferentes escenarios, así como las características propias de los sectores que componen cada uno de los eslabones de la cadena de valor, se realiza una evaluación que contempla variables económicas, de género y socioambientales en los diferentes sectores productivos, para tener un panorama general de cada una de sus potencialidades. A partir de ello se emite un conjunto de recomendaciones de política que servirían como insumos para los hacedores de política, así como para los diferentes actores del sector productivo.

Se afirma que Bolivia puede aprovechar su potencial minero e industrial, en especial a través de la tecnología asociada al litio, solo si avanza más allá de la extracción de materias primas hacia procesamiento y manufacturas, con empleo formal e inclusivo y encadenamientos locales. Ello exige formación de competencias técnicas, alianzas tecnológicas y gobernanza transparente con estándares ambientales estrictos.

El reto actual es superar las limitaciones del esquema minero tradicional y diversificarlo, asegurando sostenibilidad, subir en la cadena de valor y ampliar los encadenamientos, aprovechando la coyuntura global que abre espacio a nuevos minerales. Para habilitar esa nueva minería se requiere fortalecer la formación y capacidades técnicas de sus trabajadores, ofrecer certidumbre institucional y reglas claras a la inversión privada, atraer capital de riesgo y modernizar/reestructurar la institucionalidad del sector.

2. Contexto productivo

A continuación, se presenta un breve análisis de la estructura productiva del país asociada a energía, sus tecnologías y cadenas de valor. En primer lugar, es importante mencionar que Bolivia transita un cambio estructural de su matriz productiva debido a la caída de la producción de gas natural y la creciente dependencia de combustibles importados. El país convive con un sistema eléctrico aún dominado por generación térmica a gas, pero con expansión paulatina de renovables. Con respecto al consumo de combustibles fósiles, en el periodo que va de 2024 a 2025 distintos reportes dan cuenta de escasez recurrente de diésel y gasolina y de un costo fiscal de los subsidios cercano a 4% del producto interno bruto, a la par que el país importa alrededor del 90% del diésel y más de la mitad de la gasolina, lo que resulta en una significativa tensión fiscal y logística, que a su vez condiciona costos industriales y la competitividad de nuevos encadenamientos manufactureros.

En electricidad, el Balance Energético Nacional muestra alta cobertura urbana (aproximadamente 99%) y una brecha rural todavía significativa (83%), así como un parque de generación donde el gas natural sigue siendo preponderante con aportes crecientes de hidroenergía, solar y eólica, lo que puede indicar oportunidades para la TEJ y gestión de demanda en la industria mientras se diversifica la oferta.

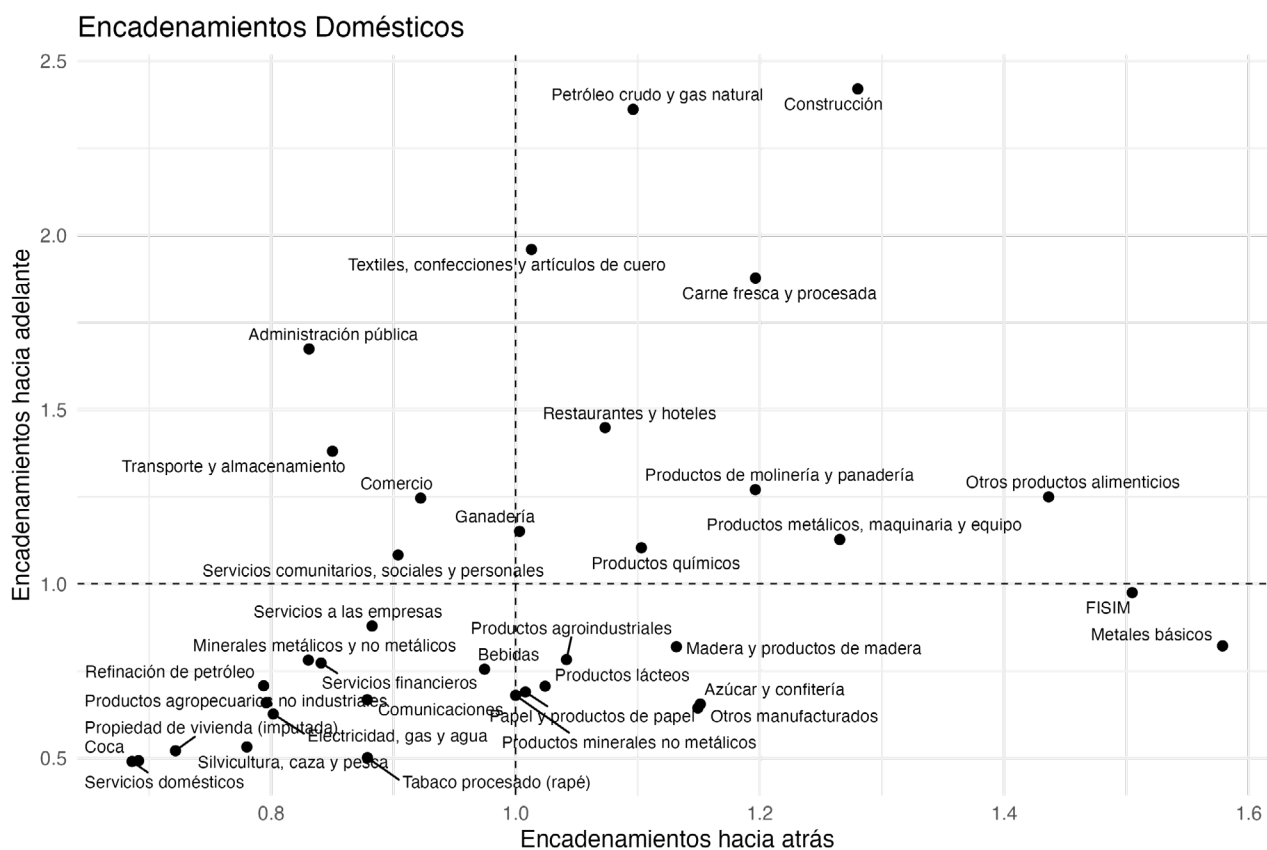
Como se mencionó previamente, la Empresa Pública Nacional Estratégica Yacimientos de Litio Bolivianos

operó desde diciembre de 2023 la Planta Industrial de Carbonato de Litio en Llipi, concebida con capacidad objetivo de 14.000 toneladas anuales, pero en fase de estabilización productiva durante 2024 que reporta entre 1.474 y 2.064 toneladas en ese año, lo que revela potencial de escalamiento. En paralelo, el Ministerio de Hidrocarburos y Energías publicó en 2024 la Estrategia Nacional para la Producción y Uso de Hidrógeno Verde y de Bajas Emisiones y su Hoja de Ruta, en la que se priorizan proyectos piloto vinculados a demanda industrial doméstica y estandarización.

Con el fin de mapear las cadenas de valor asociadas a las tecnologías verdes para la reindustrialización, se presentan los diagramas de dispersión con los índices de Rasmussen, que exponen la manera en que cada actividad se inserta en la red productiva: el eje horizontal (encadenamiento hacia atrás) mide la intensidad relativa de compras a insumos intermedios y el eje vertical (encadenamiento hacia adelante) capta cuánto de su producción se usa como insumo por otros sectores. Las líneas punteadas en 1 delimitan el promedio de la economía: los valores que se encuentren por encima indican encadenamientos superiores al promedio, es decir, tienen un potencial para posicionarse como claves de la reindustrialización. A su vez, los cuadrantes indican sectores para anclar inversión, de alta especialización, amplia demanda, suministro de insumos, etc.

Usar este índice es especialmente útil para estudios socioeconómicos de reindustrialización verde y de transición energética porque ofrece un análisis comparable de la capacidad de cada sector para propagar choques de inversión a lo largo de la economía. Así mismo, se distingue entre encadenamientos totales y domésticos, por tanto, prioriza eslabones con mayor estructura interna para políticas locales, desarrollo de proveedores y compras públicas.

Gráfico 1. Índice Rasmussen de encadenamientos domésticos

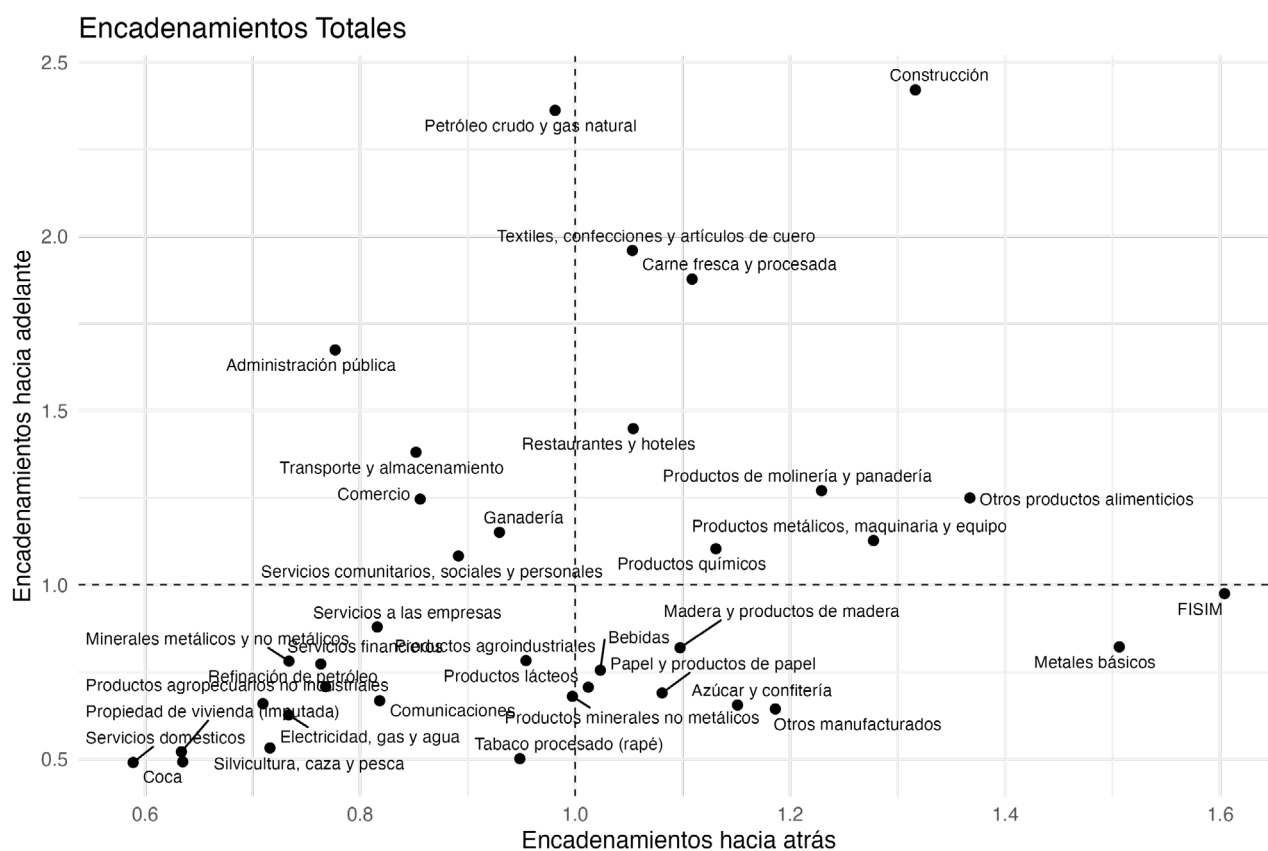


Fuente: construcción propia.

En la gráfica 1 se identifica una estructura económica concentrada en pocos nodos con capacidad de arrastre interno. El sector de construcción resulta ser un multiplicador doméstico clave, con potencial asociado a la agenda de transición vía infraestructura eléctrica, redes y eficiencia en edificaciones. Con respecto a manufactura, productos metálicos, maquinaria y equipo se ubican en el cuadrante de sectores clave, señalando una base industrial escalable hacia componentes y servicios industriales. Sin embargo, la

ubicación de los productos de metales básicos sugiere una inserción doméstica incompleta y una oportunidad de política para profundizar en metalmecánica. Así, una primera conclusión con base a esta descripción es que se recomienda dar prioridad a una política industrial vertical hacia la conversión de nodos extractivos y de materiales en cadenas de transformación, apalancadas por construcción y metalmecánica, para maximizar contenido local, complejidad económica y derrames domésticos.

Gráfico 2. Índice Rasmussen de encadenamientos totales



Fuente: construcción propia.

Con respecto a los encadenamientos totales, se encuentra una mayor tracción de insumos intermedios con respecto a los encadenamientos domésticos, que se explica por los productos importados. El sector de construcción permanece como clave, constituyendo el principal nodo para escalar inversión y demanda intermedia asociada a infraestructura de transición. Los sectores de materiales, metales y manufactura

intermedia presentan indicadores altos en arrastre, consistente con una estructura enfocada en transformación local. En términos de política, la política de sustitución de importaciones debe ser estratégica, al buscar el desarrollo de proveedores y consolidación de eslabones downstream (metalmecánica, componentes eléctricos, bienes de capital).

A continuación, se presenta el diagrama de flujo de la cadena productiva de tecnologías verdes para la reindustrialización en Bolivia, que detalla los eslabones y segmentos tanto de los principales energéticos de la TEJ según los sectores priorizados:

Gráfico 3. Diagrama de flujos



Fuente: construcción propia.

El diagrama estructura la cadena de valor boliviana para tecnologías renovables con énfasis en baterías en ocho eslabones: inicia en minería con extracción de salmueras y pretratamiento y continúa en procesamiento con refinación vía evaporación solar. En el eslabón de manufactura, estos compuestos se transforman en materiales activos e intermedios (cátodos, ánodos, electrolitos, colectores, etc), que pasan a ensamblaje, demandando insumos como cobre y aluminio. La fase de infraestructura implica el despliegue en redes y cimentaciones, seguida por la

integración de sistemas en parques solares y eólicos con almacenamiento. Finalmente, el reciclaje cierra el ciclo con recuperación de metales/insumos críticos mediante rutas químicas. Del anterior esquema se concluye que la competitividad y el contenido local en toda la cadena dependen de eslabones de producción compleja de minerales metálicos como no metálicos, por lo que la estrategia industrial no puede limitarse al litio; debe articular una canasta mineral completa para capturar mayor valor agregado.

3. Hacia una definición de las cadenas de valor verdes. Tecnologías asociadas a fuentes no convencionales de energía renovable

Teniendo en cuenta el diagrama de flujo presentado anteriormente, en este apartado se analiza detalladamente el contexto y potencialidad de las tecnologías para la reindustrialización desde la oferta y la demanda doméstica:

3.1. Energía Eléctrica

Bolivia proyecta un incremento sostenido de su demanda eléctrica, de aproximadamente 10,7 TWh en 2023 a 12 TWh en 2030, y a un rango de 22TWh en 2050 según escenarios de continuidad y de transición energética. Los escenarios proyectados (CAF, 2023), suponen que la eficiencia energética puede recortar hasta 9% de la demanda potencial. Así, el peso sectorial sugiere que los impulsos vendrán de los sectores residencial (45% de la demanda), industria (28%) y comercio-servicios (27%), mientras que la electromovilidad añade consumo incremental y explica una brecha de 6,7% entre escenarios en 2050.

El estudio no incorpora hidrógeno verde como carga relevante en el corto-mediano plazo, por lo que el sesgo de crecimiento dependerá de electrificación de usos finales, expansión renovable y reducción de pérdidas. El análisis de dicha fuente se hará en la siguiente sección.

Frente a estas trayectorias, los eslabones con mayor potencial de reindustrialización se concentran en: equipos de red (transformadores de distribución, celdas de media tensión, conductores/cables, reconectores, medidores inteligentes) asociados a

las inversiones previstas en transmisión, distribución y medición; estructuras, gabinetes, tableros, arneses, protecciones, inversores, centros de control para tecnologías renovables apalancados por el portafolio 2024–2027 de nuevos proyectos eólicos, solares e hidroeléctricos; almacenamiento y sistemas de control e infraestructura de recarga

para flotas urbanas e industriales. Estos eslabones son intensivos en metalmecánica, electro-manufactura y servicios de O&M, con barreras de entrada abordables vía normas técnicas, compras públicas y contenido local, y están explícitamente vinculados en los planes de expansión de red y en las hojas de ruta sectoriales para 2030–2050.

3.2. Hidrógeno

Bolivia ya cuenta con una Estrategia Nacional y una Hoja de Ruta para el hidrógeno verde y de bajas emisiones, que plantea un despliegue escalonado en su producción: pilotos 2025–2030 vinculados a demanda doméstica (mezcla con gas natural, usos térmicos industriales, movilidad pesada), seguidos por escalamiento 2030–2040 en procesos industriales y, en un escenario alto, derivados como amoníaco para sustituir importaciones.

En 2025, el Gobierno anunció pilotos en Oruro, Tarija y Santa Cruz; el caso de Oruro (2 MW) incluye mezcla de hidrógeno con gas natural para la metalúrgica de Vinto y pruebas en redes. Esta secuencia reconoce restricciones actuales (costo y huella de la electricidad, agua, logística) y busca incentivar las tecnologías nacionales antes de grandes apuestas exportadoras

Desde la óptica de reindustrialización, los eslabones con mayor potencial se concentran en el balance de planta para electrólisis, gabinetes, tableros, transformadores de rectificación, barras, cableados, instrumentación, válvulas, compresión y enfriamiento; almacenamiento y manejo de tanques, compresores, dispensadores, sensores y sistemas de seguridad; integración; adaptación de quemadores y calderas para mezcla en industrias intensivas en calor e infraestructura de repostaje para buses y logística minera.

Los eslabones recién mencionados son intensivos en metalmecánica y electromanufactura, donde Bolivia ya tiene capacidades transferibles desde el sistema eléctrico y la metalurgia, y donde compras públicas, contenido local y normas técnicas pueden crear

mercado temprano. La evidencia de política pública (Estrategia y Hoja de Ruta) y los anuncios de pilotos respaldan esta priorización, mientras que las estadísticas de IRENA sobre la base renovable informan la ventana de costos factible para electrólisis a medida que crece la generación limpia.

3.3. Litio

Según recomendaciones de la CAF, Bolivia avanza en la industrialización del litio que combina activos instalados, nuevos contratos y transición tecnológica hacia la extracción directa de litio (EDL). A su vez, se identifican autorizaciones estatales para la aceleración del escalamiento, a partir de aportes de capital y suscripción de acuerdos para la construcción de plantas con tecnología de EDL.

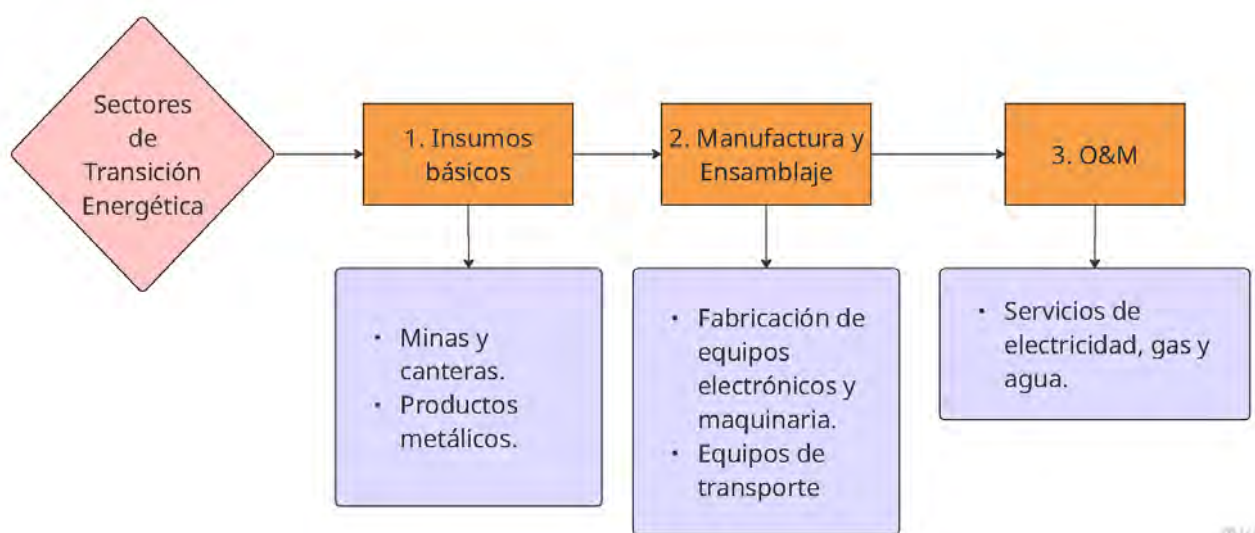
Desde la óptica de reindustrialización verde, los eslabones con mayor potencial se ubican en: procesamiento químico, preparación de salmueras, purificación, carbonatación, cristalización, secado y empaque grado batería, que demanda cal, sosa, adsorbentes/resinas, membranas y servicios de metrología; equipamiento y balance de planta para EDL y conversión, que requiere módulos skid, bombas, filtros, compresores, intercambiadores, instrumentación, tableros, celdas de media tensión y transformadores de rectificación.

Con respecto a la manufactura, se crean espacios para la producción en sectores intensivos en metal-mecánica y electro-manufactura local, materiales activos fosfato de hierro litio y precursores de níquel en formatos piloto-industrial, apalancando la Planta Piloto de Materiales Catódicos y la Planta Piloto de Baterías; y servicios EPC, operación y mantenimiento, logística especializada y certificación (calidad química, trazabilidad y Huella de Agua/Carbono) como plataformas habilitantes. Con compras públicas, cláusulas de contenido local, financiamiento contracíclico y estándares ambientales, estos eslabones pueden traducir reservas en valor agregado doméstico y empleos formales, alineados con el Plan Estratégico Corporativo 2021-2025 y la cartera de inversiones anunciada para nuevas plantas con tecnología de EDL.

4. Sectores estratégicos para una reindustrialización verde

A partir de la matriz insumo-producto, se han identificado siete sectores (actividades económicas) de los sectores disponibles, como potenciales tanto para los eslabones como para la cadena de valor de los productos asociados a la TEJ y a un proceso de reindustrialización verde.

Gráfico 1. Índice Rasmussen de encadenamientos domésticos



Fuente: construcción propia.

El diagrama plantea una priorización de sectores estratégicos para la transición energética organizada por eslabones de cadena. En Insumos básicos se ubican los sectores de provisión primaria y de materiales que sostienen la disponibilidad de recursos e insumos industriales. En el siguiente eslabón de manufactura y ensamblaje se concentran los sectores de transformación con mayor potencial de escalamiento tecnológico, que son fabricación de equipos eléctricos y maquinaria y equipos de transporte,

donde se captura valor agregado vía producción de bienes de capital y componentes. En Operación y mantenimiento (O&M) se priorizan los servicios de electricidad, gas y agua como soporte sistémico para la continuidad y desempeño del parque tecnológico, y en Reciclaje se prioriza la recuperación de materiales, que cierra el ciclo y reduce presiones sobre la extracción al reinsertar insumos críticos en la cadena productiva

5. Reindustrialización verde podría generar incrementos de hasta 2.4% del producto.

Con base en la información oficial disponible y como un ejercicio de evaluación de potenciales acciones que podrían impulsar los sectores económicos vinculados a la TEJ, se ha desarrollado el cálculo de los impactos económicos y ambientales del impulso de la demanda y el incremento de la participación de la producción nacional frente a la producción extranjera.

A continuación, se presenta un análisis cuantitativo de los escenarios estimados

5.1. Aumento de la demanda de los productos de sectores estratégicos podría generar incrementos del producto de hasta 2.2% y hasta 1.4% en el empleo.

Escenario	Producción total	Emisiones CO ₂	Empleo total	Empleo hombres	Empleo mujeres	Gas natural	Petróleo	Hidroeléctrica	Biomasa
Base (sin choques)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Escenario 1: Reindustrialización verde (todos)	3,7	3,7	2,0	2,6	1,2	22,2	0,7	42,6	23,5
Escenario 2: Reindustrialización materias primas TE	2,2	2,1	1,4	1,9	0,7	2,3	0,6	0,1	7,1
Escenario 3: Reindustrialización manufacturas TE	0,5	0,5	0,3	0,4	0,3	3,0	0,5	0,0	9,7
Escenario 4: Reindustrialización otros TE	0,9	1,1	0,3	0,4	0,2	17,0	-0,4	42,6	6,6

El choque anterior muestra impactos positivos frente a la base (0) pero con movimiento casi proporcional entre producción y generación en emisiones CO₂ en todos los escenarios. El Escenario 1 (reindustrialización verde total) maximiza el efecto macroeconómico: en empleo total (mayor impulso en empleo masculino que femenino) y fuerte expansión de los sectores energéticos, en particular hidroeléctrica, biomasa y gas natural, consistente con un shock intensivo en

infraestructura. El Escenario 2 (materias primas TE) mantiene un desempeño alto con aumentos energéticos moderados. El Escenario 3 (manufacturas TE) tiene el menor impacto agregado. El Escenario 4 (otros TE) eleva producción, pero con baja absorción laboral y destaca por contracción de petróleo, junto con expansión eléctrica, señalando sustitución parcial de combustibles líquidos por generación y uso eléctrico.

5.2. Aumento de la demanda y sustitución de importaciones incrementarían el producto en hasta 2.4% y el empleo en 1.5%.

Escenario	Producción total	Emisiones CO ₂	Empleo total	Empleo hombres	Empleo mujeres	Gas natural	Petróleo	Hidroeléctrica	Biomasa
Base (sin choques)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Choque combinado G1 (Extracción y procesamiento)	2,4	2,3	1,5	2,1	0,8	2,4	0,7	0,1	7,4
Choque combinado G2 (Manufacturas)	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	3,0	0,6	0,0	9,9
Choque combinado G3 (Operación y mantenimiento)	1,0	1,1	0,3	0,4	0,2	17,0	-0,3	42,6	6,6
Choque combinado TEJ (todos)	4,0	4,0	2,3	3,0	1,5	22,4	0,9	42,7	23,9

En este segundo ejercicio, que supone una política de sustitución de importaciones, el choque combinado G1 (extracción y procesamiento) arroja el mayor resultado en producción, ya que aumenta 2,41% y el empleo total 1,51%, con sesgo de absorción hacia empleo masculino (2,07%) frente al femenino (0,80%), consistente con una expansión en ramas extractivas y de transformación primaria. Las emisiones de CO₂ crecen 2,43% prácticamente en proporción al producto. La desagregación energética muestra incrementos moderados en gas natural

(2,39%) y biomasa (7,4%), con efectos marginales en hidroelectricidad, sugiriendo que el canal principal es el escalamiento de procesos industriales más que la electrificación. Así, en términos de política industrial, el resultado apunta a un patrón de crecimiento basado en capacidades de extracción/refinación; su contribución a la transición dependerá de aumentar contenido local y encadenamientos downstream y de descarbonizar procesos térmicos para reducir la intensidad carbónica del impulso productivo.

6. Definición de criterios de potencialidad

Partiendo de los resultados presentados previamente, en los que se muestran los escenarios frente a los dos choques, en este apartado se presenta un conjunto de criterios que permiten definir la potencialidad de cada uno de los sectores que forman parte de los eslabones y de la cadena de valor agregada. Por tanto, se consideran diferentes variables para incluir una caracterización amplia respecto a cuál o cuáles sectores pueden generar los mejores impactos, tanto en términos de ingreso, de empleo y ambientales, en lo que corresponde al consumo energético, así como al consumo de agua y las emisiones generadas.

- Impacto ambiental

Con el fin de estimar los impactos ambientales, se presentan esquemas por “radares” (Anexos) que

permiten visualizar el consumo de recursos naturales (gas natural, petróleo y agua azul) y la generación en gramos de CO₂ por producto y eslabón de la cadena productiva.

Los indicadores de radares ambientales muestran que el sector con mayor carga ambiental absoluta e intensiva es sector de ‘generación de electricidad, gas y agua’, que registra 0,001650178 Gg CO₂e, con un uso de 5,35872E-08 mm³ de agua azul por unidad de producto, y siendo el que más consume gas de los sectores analizados. En el extremo opuesto, el sector de ‘minerales metálicos y no metálicos’ exhibe bajas intensidades de gases de efecto invernadero 0,00129735 Gg CO₂e por producto y un consumo de agua por producto de 3,60961E-08 mm³.

Considerando las emisiones de gases de efecto invernadero en términos absolutos, el sector con mayores emisiones es el de ‘metales básicos’ (0,001662622 $Gg\ CO_2e$), seguido por ‘productos metálicos, maquinaria y equipo’ (0,001572431 $Gg\ CO_2e$). Con respecto al uso de agua, el sector con mayor consumo es el de los ‘metales básicos’, con 0,084830022 mm^3 por producto. Es decir, aunque el sector de mayor carga ambiental sea el de generación de energía, los metales básicos presentan el mayor consumo en dos de los recursos ambientales analizados. En cuanto al consumo de petróleo, destacan los sectores de ‘productos metálicos, maquinaria y equipo’ y de ‘productos minerales no metálicos’.

En síntesis, con base en los indicadores de intensidades, los sectores estratégicos para la activación de encadenamientos sostenibles son: minerales metálicos y no metálicos, y productos metálicos, maquinaria y equipo.

Al cruzar intensidades con encadenamientos (totales y domésticos) del índice Rasmussen, los sectores ancla para maximizar abatimiento y arrastre son: productos metálicos y manufactura, maquinaria y equipo, que se ubican en el cuadrante de sectores clave, señalando una base industrial escalable hacia componentes y servicios industriales.

En contraste, la ubicación de los productos de metales básicos sugiere una inserción doméstica incompleta y una oportunidad de política para profundizar en metalmecánica, por lo que se puede concluir que la descarbonización de la generación eléctrica y la electrificación en los sectores con mayor encadenamiento concentra el mayor retorno socioambiental y productivo, habilitando contenido local, aprendizaje tecnológico y empleo de calidad para la reindustrialización sin extractivismo.

7. Recomendaciones

Según los resultados previamente analizados, se encuentra que, desde la perspectiva de la oferta, es fundamental establecer alianzas público-privadas a través de las figuras de “contratos de alianza estratégica de inversión conjunta” que permiten la asociatividad entre las empresas públicas del nivel central del Estado con empresas públicas o privadas constituidas en el país o con empresas públicas o privadas extranjeras. Estas alianzas deben incluir mecanismos de gobernanza claros, criterios de transparencia, rendición de cuentas y alineación con objetivos de desarrollo sostenible. Se hace necesario impulsar esquemas inversión privada, con tasas de retorno más atractivas y seguridad jurídica, por lo que se recomienda desarrollar instrumentos financieros como garantías públicas, financiación mixta e impulsar una banca de desarrollo orientada a proyectos de transición energética.

Respecto a las inversiones extranjeras en la extracción y procesamiento de minerales estratégicos, es clave incorporar cláusulas de transferencia tecnológica y desarrollo de capacidades locales, que permitan la

apropiación de conocimiento y reduzcan la dependencia tecnológica en el mediano y largo plazo. En términos de la articulación regional es necesario fortalecer tanto la dimensión geopolítica como logística, para abastecer mercados regionales. América Latina y el Caribe cuentan con alrededor de 680 millones de habitantes y se prevén importantes inversiones y aumentos del consumo de los hogares. En este marco, es fundamental avanzar hacia procesos de armonización regulatoria regional, así como en la construcción de cadenas de valor regionales que permitan escalar la producción y mejorar la competitividad internacional.

Con respecto a la demanda, es importante fortalecer las compras públicas y la inversión amplia en infraestructura energética debido a los altos índices de pobreza energética y a la estructura de su matriz energética. En este sentido, se recomienda implementar esquemas de compras públicas innovadoras que prioricen proveedores locales y promuevan la demanda de bienes y servicios vinculados a tecnologías limpias.

A nivel socioambiental, es fundamental establecer una hoja de ruta para la reindustrialización con criterios de justicia social y de género. Para que la transición energética sea transformadora, el enfoque diferencial sobre participación y afectaciones en poblaciones vulnerables es imprescindible. Adicionalmente, es necesario fortalecer mecanismos de consulta previa y participación vinculante, garantizando que las comunidades locales incidan en la toma de decisiones y en la distribución de beneficios. Por último, se recomienda establecer marcos legales para que la actividad de reciclaje sea reconocida. Esto debe complementarse con incentivos económicos y regulatorios para el desarrollo de economías circulares, especialmente, en el tratamiento de residuos tecnológicos como paneles solares y baterías.

8. Referencias

- Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles. (2005). *Guía Técnica General de Producción más Limpia*. https://libroweb.alfaomega.com.mx/book/733/free/ovas_statics/unid5/PDF_Espanol/Guia_Tecnica_PML.pdf
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2025). *Integración energética y transición justa en América Latina y el Caribe: Oportunidades y desafíos hacia 2050*. <https://www.cepal.org/es/enfoques/integracion-energetica-transicion-justa-america-latina-caribe-oportunidades-desafios-2050>
- Decreto Supremo N.º 4477 (2021). <https://www.lexivox.org/norms/BO-DS-N4477.html>
- Decreto Supremo N.º 4539 (2021). <https://www.lexivox.org/norms/BO-DS-N4539.html>
- Decreto Supremo N.º 5086 (2023). <https://www.lexivox.org/norms/BO-DS-N5086.xhtml>
- Decreto Supremo N.º 5142 (2024). <https://www.lexivox.org/norms/BO-DS-N5142.html>
- Decreto Supremo N.º 5167 (2024). [https://sawi.aetn.gob.bo/docfly/app/webroot/uploads/AETN24-0611151515\(admin\).pdf](https://sawi.aetn.gob.bo/docfly/app/webroot/uploads/AETN24-0611151515(admin).pdf)
- Decreto Supremo No 4794 (2022). <https://www.lexivox.org/norms/BO-DS-N4794.html>
- Hirschman, A. (1958). *The Strategy of Economic Development*. Yale University Press. IEA. (2021). *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*. IEA. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- IEA. (2023). *Critical Minerals Market Review 2023*. IEA. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/afc35261-41b2-47d4-86d6-d5d77fc259be/CriticalMineralsMarketReview2023.pdf>
- Kagawa, S., Suh, S., Hubacek, K., Wiedmann, T., Nansai, K., & Minx, J. (s. f.). *CO₂ emission clusters within global supply chain networks: Implications for climate change mitigation*. 35, 486-496. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.09.003>
- Lenzen, M., Moran, D., Kanemoto, K., Foran, B., Lobefaro, L., & Geschke, A. (2012). *International trade drives biodiversity threats in developing nations*. *Nature*, 486, 109-112. <https://doi.org/10.1038/nature11145>
- Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien, Ley N.º 300 (2012). <https://www.planificacion.gob.bo/uploads/marco-legal/Ley%20N%C2%B0%20300%20MARCO%20DE%20LA%20MADRE%20TIERRA.pdf>
- Miller, R., & Blair, P. (2009). *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions* (2nd edition). Cambridge University Press.
- Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural. (2022). *Guía de economía circular para el sector industrial y manufacturero*. Gobierno de Bolivia. <https://produccion.gob.bo/wp-content/uploads/2025/09/GUIA-DE-ECONOMIA-CIRCULAR.pdf>

Ministerio de Hidrocarburos y Energías. (2024). *Estrategia Nacional para el Desarrollo y Uso del Hidrógeno Verde y de Bajas Emisiones en Bolivia*. Gobierno de Bolivia. <https://www.mhe.gob.bo/wp-content/uploads/2024/11/EstrategiaHidrogenoLW.pdf>

Ministerio de Hidrocarburos y Energías. (2025a). *Balance Energético Nacional 2020-2024*. Gobierno de Bolivia. <https://www.mhe.gob.bo/wp-content/uploads/2025/10/Version-Final-BEN-2020-2024-low0.pdf>

Ministerio de Hidrocarburos y Energías. (2025b). *Plan Eléctrico Referencial del Estado Plurinacional de Bolivia 2035*. Gobierno de Bolivia. <https://www.mhe.gob.bo/wp-content/uploads/2025/10/PLAN-ELECTRICO-REFERENCIAL-2035-FINAL.pdf>

Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2021). *Contribución Nacionalmente Determinada (CND) del Estado Plurinacional de Bolivia*. Estado Plurinacional de Bolivia. <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/CND%20Bolivia%202021-2030.pdf>

Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2023). *Política Plurinacional de Cambio Climático*. Gobierno de Bolivia. https://andesresilientes.org/wp-content/uploads/2023/11/Politica-Cambio-Climatico-revision7_compressed.pdf

Ministerio de Planificación del Desarrollo. (2021). *Plan de Desarrollo Económico y Social 2021-2025 [Plan]*. https://siteal.iiep.unesco.org/sites/default/files/sit_accion_files/presentacion_pdes_2021-2025_0.pdf

Organización Internacional del Trabajo. (2024). *Informalidad, empleos verdes y transición justa en sectores relevantes para América Latina y el Caribe*. <https://www.ilo.org/sites/default/files/2025-12/Informalidad%2C%20empleos%2Overdes%20y%20transici%C3%B3n%20justa%20en%20sectores%20relevantes%20para%20Am%C3%A9rica%20Latina%20y%20el%20Caribe.pdf>

Procedimiento Técnico Comercial para el Registro e Incorporación de los Generadores Distribuidos a la Red de Distribución en Bolivia, N° 485/2022 (2022). <https://sawi.aetn.gob.bo/docfly/app/webroot/uploads/AETN-R-0485-27-22-A-rloza-2022-09-02-i.pdf>

Rasmussen, P. (1956). *Studies in Inter-Sectoral Relations*. North-Holland.

Wiedmann, T. (2009). A review of recent multi-region input-output models used for consumption-based emission and resource accounting. 69(2), 211-222. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.08.026>

9. Anexos

9.1. Anexo 1. Metodología

A partir de la base de datos insumo-producto multi-regional EORA, correspondiente al año 2017, así como de las diferentes fuentes de datos asociadas a las matrices complementarias y cuentas satélite disponibles en dicha base, se compiló una base de datos amplia y consistente para el análisis de la economía boliviana. Esta base fue complementada con información de empleo proveniente de las estadísticas de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), lo cual permite un análisis detallado tanto económico como laboral y ambiental. La desagregación obtenida es la correspondiente a 37 sectores, para los cuales se cuenta con información homogénea para las variables analizadas.

A partir de la matriz de transacciones intermedias y del vector de producción (x), se calcularon las matrices de coeficientes técnicos (A), que expresan los requerimientos directos de insumos por unidad de producto de cada sector.

A partir de las matrices de transacciones intermedias domésticas e importadas y del vector de producción (x) se calcularon las matrices de coeficientes técnicos domésticos (A^d) e importados (A^m). La matriz de coeficientes totales se define como $A = A^d + A^m$.

El nivel de producción se obtiene de:

$$x = (I - A)^{-1} y$$

donde I corresponde a la matriz identidad y " y " al vector de demanda final. Sobre esta información, y a partir de la matriz inversa de Leontief $(I - A)^{-1}$, se calcularon los encadenamientos hacia adelante y hacia atrás de Rasmussen-Hirschman, los cuales son útiles para identificar los sectores que arrastran mayor demanda de insumos y aquellos que generan mayores efectos de difusión sobre el resto de la estructura productiva.

Adicionalmente, se calcularon multiplicadores de producción, así como intensidades sectoriales de empleo y variables ambientales. En el caso del empleo, se construyeron indicadores a partir de la información sectorial de la OIT armonizada con la clasificación sectorial utilizada para Bolivia en la base EORA. En el caso de las variables ambientales, se estimaron intensidades de emisiones y de uso de recursos energéticos y naturales, utilizando como método de cálculo la razón entre el vector de la variable particular y el vector de producción. De este modo, para cada sector se obtuvieron medidas relativas de generación de emisiones y de uso de agua, fuentes renovables, carbón mineral, gas natural, productos derivados del petróleo, biocombustibles y electricidad.

Formalmente, el cálculo de intensidades puede expresarse como:

$$Q = \hat{q}x$$

donde Q representa los requerimientos totales de emisiones, uso de energéticos, uso de agua o empleo, y $\hat{q}$ las intensidades sectoriales correspondientes (matriz diagonal). A partir de estas intensidades, fue posible identificar no solo los sectores con mayor capacidad de arrastre productivo, sino también aquellos que presentan mayores requerimientos energéticos, mayor uso de recursos naturales o mayores cargas de emisiones por unidad de producto. En este sentido, el enfoque metodológico permite observar de manera simultánea los efectos productivos, laborales y ambientales asociados a distintos sectores y escenarios de política.

donde q es una matriz de intensidades de dimensión $m \times n$ (siendo m el número de variables analizadas (empleo, emisiones, agua y energéticos) y n el número de sectores), cada una de cuyas filas recoge los coeficientes de uso directo por unidad de producción

para una variable determinada. La matriz resultante Q contiene, para cada variable, los requerimientos totales —directos e indirectos— inducidos por la demanda final en cada sector. A partir de estas intensidades, fue posible identificar no solo los sectores con mayor capacidad de arrastre productivo, sino también aquellos que presentan mayores requerimientos energéticos, mayor uso de recursos naturales o mayores cargas de emisiones por unidad de producto, así como los de mayor generación de empleo.

El enfoque metodológico permite construir una lectura integrada de la estructura productiva boliviana, en la que los resultados de encadenamientos se complementan con indicadores de empleo y desempeño ambiental. El análisis no se limita, por tanto, a identificar sectores con alta capacidad de difusión económica, sino que evalúa también su potencial de generación de empleo y sus implicaciones en materia de sostenibilidad—consumo energético, uso de agua y emisiones asociadas al proceso productivo.

Con base en los resultados de encadenamientos e intensidades, y atendiendo a su relevancia dentro de la cadena de valor de la transición energética, los sectores analizados se agruparon en cuatro categorías según el eslabón productivo al que pertenecen:

1. Grupo 1: Todos los sectores identificados como parte de la cadena de valor de la transición energética.
2. Grupo 2: Sectores asociados a los eslabones de minería y procesamiento de materiales críticos para la transición energética.
3. Grupo 3: Sectores vinculados a la manufactura y ensamblaje de componentes y equipos asociados a la transición energética.
4. Grupo 4: Sectores correspondientes a los eslabones de operación, mantenimiento y reciclaje de tecnologías limpias.

Para estos grupos se evaluaron dos tipos de choques:

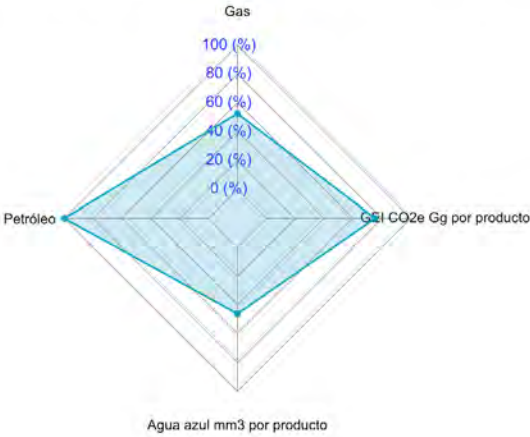
1. Considerando las proyecciones de demanda descritas en secciones previas, se aplicó un aumento del 50% en la demanda final de cada uno de los grupos seleccionados.

2. Se modeló una reducción del 30% en el componente importado de los sectores de manufactura y ensamblaje, equivalente a una sustitución por producción nacional, con el fin de evaluar el impacto de políticas de contenido local sobre los encadenamientos productivos.

De este modo, se construyeron dos escenarios por cada grupo, lo que permite evaluar tanto los impactos de una política de reindustrialización verde de carácter general como las alternativas en las que restricciones políticas o presupuestales hagan necesario focalizar las inversiones en determinados segmentos con mayor potencial de arrastre. Este enfoque metodológico se basa en la tradición de análisis de multiplicadores de la matriz insumo-producto (Hirschman, 1958; Rasmussen, 1956) y en su integración con variables ambientales y distributivas, siguiendo desarrollos recientes en análisis de cadenas de valor y transición energética (Kagawa et al., 2015; Lenzen et al., 2012).

9.2. Anexo 2.

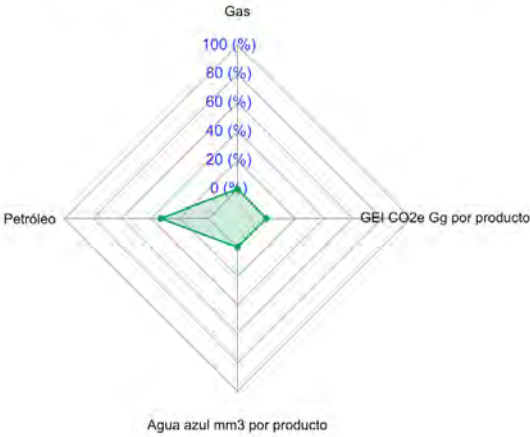
Radar INT_TEJ — Productos metálicos, maquinaria y equipo



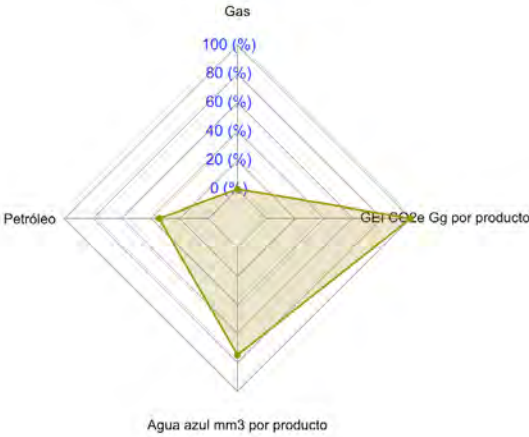
Radar INT_TEJ — Electricidad, gas y agua



Radar INT_TEJ — Minerales metálicos y no metálicos



Radar INT_TEJ — Metales básicos





@polentjcol



@polentjcol



POLEN Transiciones Justas



www.polentj.org