

¡TENEMOS CON QUÉ!

*Fabricación de
electrodomésticos,
componentes eléctricos y
vehículos: sectores claves
para la reindustrialización
verde en Colombia.*

¡TENEMOS CON QUÉ!

*Fabricación de electrodomésticos,
componentes eléctricos, y
vehículos, sectores claves para la
reindustrialización verde en Colombia*

pol·en
Transiciones Justas

¡TENEMOS CON QUÉ!

Fabricación de electrodomésticos, componentes eléctricos, y vehículos, sectores claves para la reindustrialización verde en Colombia

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

Bogotá - Colombia, Febrero de 2026

www.polentj.org

Autores:

Leonardo Rojas
Daniela Pacheco

Diseño:

Cristian Porte

Cítese como:

POLEN Transiciones Justas (2026) R; *TENEMOS CON QUÉ! Fabricación de electrodomésticos, componentes eléctricos, y vehículos, sectores claves para la reindustrialización verde en Colombia.* 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. Contexto productivo:	7
3. Hacia una definición de las cadenas de valor verdes. Tecnologías asociadas a fuentes no convencionales de energía renovable:	11
3.1.1. Energía Eléctrica:	11
3.1.1.1. Tecnologías vinculadas a la oferta:	11
3.1.1.2. Tecnologías vinculadas a la demanda:	12
3.1.2. Hidrógeno:	13
3.1.2.1. Tecnologías vinculadas a la oferta:	13
3.1.2.2. Tecnologías vinculadas a la demanda:	13
3.1.3. Biomasa:	14
3.1.3.1. Tecnologías vinculadas a la Oferta:	14
3.1.3.2. Tecnologías vinculadas a la demanda:	14
3.2 Geotermia:	15
3.2.1. Tecnologías asociadas a la oferta:	15
4. Sectores estratégicos para una reindustrialización verde:	15
5. Comportamiento de las inversiones requeridas:	19
5.1. Proyección de demanda:	19
6. Reindustrialización verde podría generar incrementos de hasta %6,8 del producto.	21
6.1. Impulso industrial:	21
6.1.1. Choque 1: Aumento de demanda final por grupo de sectores podría generar incrementos del producto de hasta %6,5 y hasta %3,9 en el empleo:	21
6.1.2. Choque 2: Aumento de la demanda y sustitución de importaciones incrementan el producto en hasta %6,8 y el empleo en %4,1.	22
7. Definición de criterios de potencialidad:	23
8. Recomendaciones:	24
9. Referencias:	24
10. Anexos:	28
10.1. Anexo 1:	28
10.2. Anexo 2:	30

1. Introducción

La Transición Energética Justa (TEJ) ha sido abordada principalmente como una transformación de la matriz energética; no obstante, esta transición implica una modificación de la estructura productiva, es decir, una transformación de la matriz de producción de cada país. Dicho proceso está sucediendo debido a cinco tendencias claves para el desarrollo económico mundial: el imperativo de descarbonizar y asegurar circularidad en los ecosistemas industriales, la reconfiguración de las cadenas de valor globales por la relocalización productiva, dinámicas geopolíticas, cambios significativos a nivel demográfico e innovaciones tecnológicas.

El informe UNIDO (2025), sostiene que dicha coyuntura tiene efectos diferenciados para los países en desarrollo, “ya que su capacidad para adaptarse a estos cambios determinará en gran medida si la industrialización puede seguir funcionando como motor de desarrollo sostenible en las próximas décadas”. Así, las políticas industriales en el sector energético no solo se conciben como un mecanismo para la seguridad energética sino como herramienta para acercar a los países en capacidades tecnológicas (convergencia) y generar efectos de derrame sobre el resto de las economías.

Tras un largo período de deslegitimación de las políticas industriales debido al giro hacia el llamado “ajuste guiado por el mercado” (1970), que redefinió la gobernanza económica global y presentó discursivamente la intervención estatal como ineficiente y generadora de distorsiones (Alami et al., 2025), los debates sobre reindustrialización han revivido no solo por las condiciones materiales y económicas de la sociedad sino porque el rol de la industria sobre el empleo y la complejidad económica se ha mantenido como protagonista. Según los autores, se observa una expansión continua del empleo manufacturero en el mundo en desarrollo, que ahora representa el 82% del empleo mundial, mientras que la participación de las economías en desarrollo en la producción mundial se ha duplicado en el período analizado.

Desde una aproximación cuantitativa, el informe FMI (2025) resalta la importancia de las políticas industria-

les, ya que se encuentra que “una medida adicional de apoyo directo a estas políticas se asocia con un aumento del 0,7% en la productividad total de los factores (PTF) del sector objetivo dentro del año siguiente a la implementación de la política”. En particular, cuando se estudia el sector energético, las mejoras de productividad se transmiten con el tiempo a otros sectores aguas abajo. A su vez, se encuentra que una medida adicional de apoyo directo a los sectores energéticos se vincula con un incremento del 2,5% en el valor agregado de los sectores aguas abajo entre uno y tres años después del choque.

En este contexto, Ember (2025) señala a partir de datos financieros que la transición energética y la industria asociada ya no es solo deseable ambientalmente sino económicamente dominante: entre 2014 y 2024 el costo nivelado de generación de energía eólica cayó alrededor de 58%, el de la solar cerca de 77% y el costo de las baterías se redujo aproximadamente 84%, ubicando a estas tecnologías por debajo del rango de costos de los combustibles fósiles. Al mismo tiempo, el “techo de electrificación” supera hoy el 75 % de la demanda energética final global, con edificios prácticamente totalmente electrificables y buena parte de la industria y sector transporte invirtiendo e innovando en adaptación técnica.

En este sentido, en el caso de la economía colombiana, existen diferentes antecedentes que hacen explícitas las necesidades energéticas y económicas asociadas a la reindustrialización verde, como lo es la Hoja de Ruta de la Transición Energética Justa publicada por el Ministerio de Minas y Energía (Min. Energía, 2025), que señala las necesidades de implementación de tecnologías tanto para la oferta energética como para la demanda, es decir, los diferentes dispositivos de consumo necesarios para el aprovechamiento de los distintos energéticos congruentes con las metas propuestas para el período de tiempo comprendido entre 2023 y 2050.

Por otra parte, la Política Nacional de Reindustrialización (DNP, 2023) incluye a la TEJ como una de las cuatro estrategias intersectoriales del orden nacional,

con los objetivos puntuales de descarbonización de la economía, reducción de la dependencia a los productos minero-energéticos, fortalecimiento de las políticas de adaptación, mitigación del cambio climático en el sector productivo y soberanía energética.

En síntesis, la TEJ no solo es una necesidad o un requerimiento de nuevas inversiones, sino que a su vez es una oportunidad de transformación productiva, de implementación de procesos de reindustrialización en sectores que nunca han sido explorados o que incluso han tenido algún desarrollo y que podrían ser potenciados a partir de una política de transición o de reindustrialización verde, por lo que es importante identificar los sectores productivos vinculados a las cadenas de valor globales y nacionales viables para dicha transformación.

No obstante, las dimensiones jurídicas y financieras a nivel macroeconómico en un país como Colombia significa enfrentar mayores limitaciones fiscales, entre ellas menores ingresos tributarios y una capacidad relativamente limitada para endeudarse en su propia moneda (Alami et al.). En consecuencia, se genera dependencia hacia el financiamiento externo para el desarrollo y la industrialización, a menudo bajo condiciones restrictivas que constriñen la autonomía de política. En condiciones de “subordinación financiera internacional”, los países en desarrollo son particularmente vulnerables a la inestabilidad financiera y cambiaria, a cambios súbitos en las condiciones de liquidez global y a situaciones precarias de endeudamiento soberano.

Por esta razón, la reindustrialización a partir de tecnologías verdes también constituye una oportunidad inaplazable desde la dimensión de justicia social: eliminación de desigualdades existentes, promoción de inclusión social y ampliación de empleos formales. En síntesis, asegurar que nadie sea dejado atrás en una transición a una economía baja en carbono.

Con respecto a la estructura del texto, en este documento se presenta una caracterización general de la estructura productiva de la economía colombiana, es decir, un análisis sectorizado de la matriz productiva. A su vez, se realiza una identificación de los sectores vinculados a potenciales políticas de TEJ y de reindustrialización verde. De la misma manera, se presentan las diferentes tecnologías asociadas a la transición energética, las cadenas de valor de cada una de ellas y su respectivo funcionamiento.

Tomando en cuenta las características propias de la economía colombiana, 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. Este análisis permite identificar un posible flujo o una potencial cadena de valor local que potenciará el desarrollo y la producción de estas tecnologías.

La metodología empleada en la investigación fue un análisis insumo-producto extendido ambientalmente, basado en las matrices insumo-producto nacional e importada publicadas por el DANE para 2019. Este enfoque permite representar las interrelaciones entre sectores productivos y cuantificar cómo un cambio en la demanda del sector manufacturero de tecnologías de la energía sostenible se propaga a lo largo de toda la economía. A partir de estas matrices se estimaron los encadenamientos hacia adelante y hacia atrás, los multiplicadores de ingreso y las intensidades sectoriales de empleo, energía y emisiones.

Tras analizar los resultados cuantitativos recién mencionados, el documento presenta la evaluación de políticas públicas con base en la definición de las tecnologías potenciales para la transición energética, así como el tipo de vinculación con diferentes sectores económicos, producción nacional y demanda final de cada uno de los sectores. Los casos de estudio 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, los resultados 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 casos de estudio, 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.

2. Contexto productivo:

Según el Departamento Nacional de Planeación y el Consejo Nacional de Política Económica y Social en su documento CONPES 4129 de ‘Política Nacional para la Reindustrialización’ (DNP, 2023), la política industrial es parte central de la agenda de crecimiento y desarrollo de países desarrollados y en desarrollo (Cimoli et al., 2009); (Chang & Andreoni, 2020); (Juhász et al., 2022)). Dichos autores afirman que en los últimos 20 años, del conjunto de políticas económicas que los países han puesto en marcha, el 25% han sido políticas industriales, e incluso, desde el 2010 esa proporción ha alcanzado 50% en algunos casos, así como las políticas industriales implementadas fueron muy detalladas.

Los resultados muestran que la manufactura ha seguido desempeñando un papel clave en el desarrollo económico (Alami et. al, 2005), por lo que se sugiere que los países de bajos ingresos no deberían abandonar las estrategias de industrialización y deberían aprender de las experiencias recientes de rápida industrialización y crecimiento. Desde una perspectiva histórica, ningún país ha alcanzado y mantenido un nivel de ingreso alto sin desarrollar su sector manufacturero, salvo unas pocas excepciones como los países ricos en petróleo y pequeños paraísos financieros. Así, se muestra una fuerte relación entre industrialización y desarrollo económico. En síntesis, las economías avanzadas son aquellos países que se industrializaron primero.

Sin embargo, según el CONPES 4129 (DNP, 2023), en la última década Colombia presentó una alta atomización de esfuerzos en materia de desarrollo productivo a través del impulso de sectores específicos, habilitadores transversales y esfuerzos en articulación institucional. Las políticas y normativas contaban con objetivos concentrados en lograr transformaciones u otros objetivos específicos, que para 2025 deja un panorama de políticas dirigidas limitadas y que no han armonizado los instrumentos para impulsar el crecimiento económico alineado con los retos de variabilidad y cambio climático, crecimiento demográfico, conservación de la biodiversidad, etc.

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 (Hirschman, 1958; Rasmussen, 1956). 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. En este caso se analizan 61 sectores correspondientes a la clasificación CIIU Rev.4 empleada por el DANE en la presentación de la información.

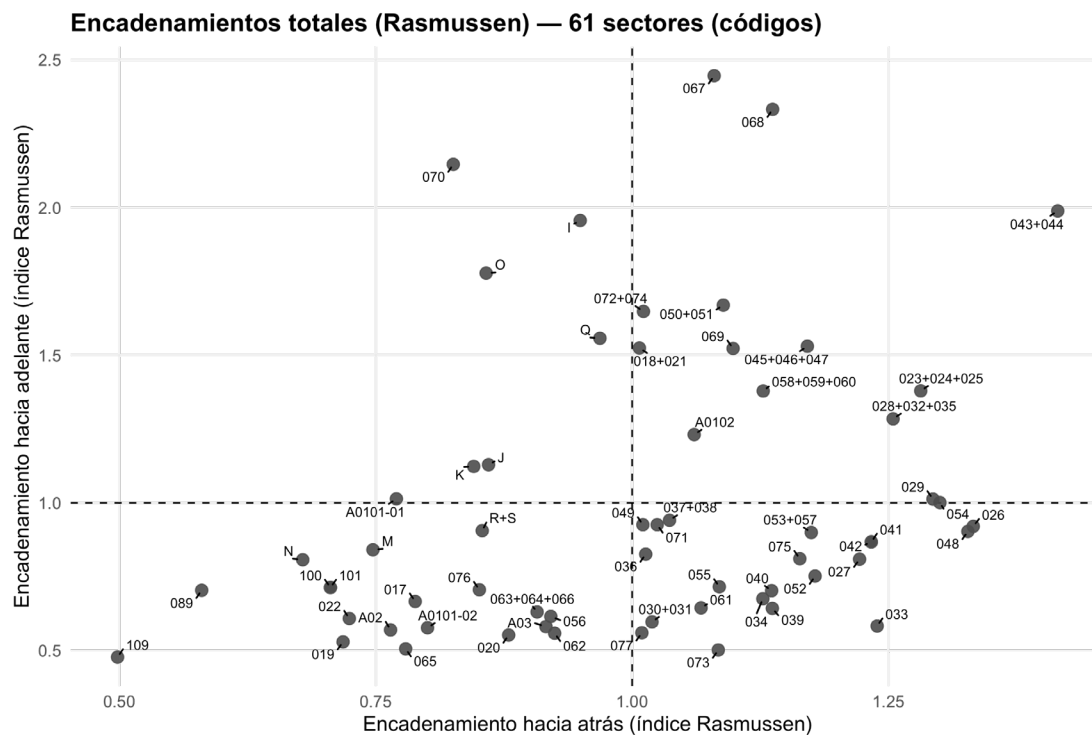
Con respecto a los encadenamientos totales (Gráfico 1), se analizaron 61 sectores, entre los que destacan los productos vinculados a tecnologías verdes: productos metalúrgicos básicos y elaborados de metal (050+051), sustancias y compuestos químicos básicos (045+046+047), plásticos y caucho sintético en formas primarias (048), electricidad —generación, transmisión y distribución— (058+059+060) y otros productos minerales no metálicos (049). Estos sectores resaltan al ubicarse en el cuadrante superior derecho del índice de Rasmussen, lo que indica que tienen la capacidad de combinar encadenamientos hacia atrás y hacia adelante superiores al promedio. Este indicador

también señala que la producción en dichos sectores funciona como insumo transversal para numerosas ramas a la vez que su demanda de insumos intermedios arrastra proveedores por encima del promedio de la economía.

Ahora bien, al analizar los encadenamientos domésticos

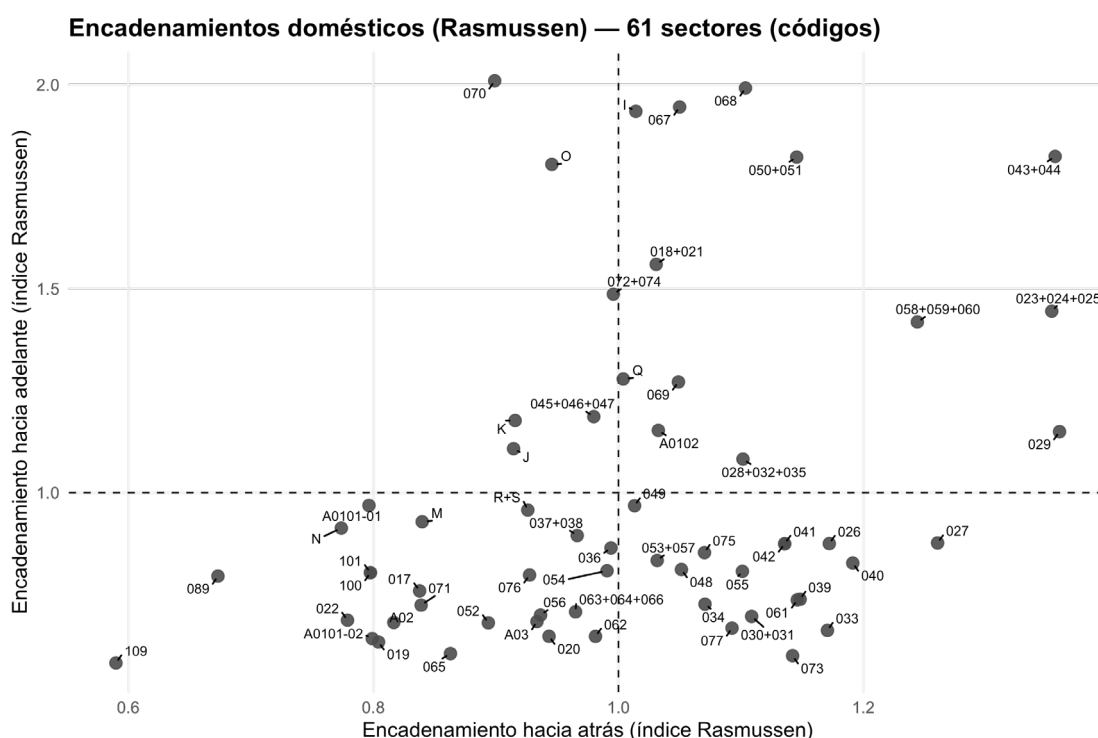
(Gráfico 2) resaltan los sectores: metalmecánica (050+051), ya que provee estructuras y componentes a casi toda la industria, productos no metálicos (049) que constituyen la base física de obras civiles, equipos y la electricidad (058+059+060). En insumos estratégicos se identifican resinas, solventes y ácidos, aunque con mayor exposición a insumos.

Gráfico 1



Fuente: construcción propia.

Gráfico 2



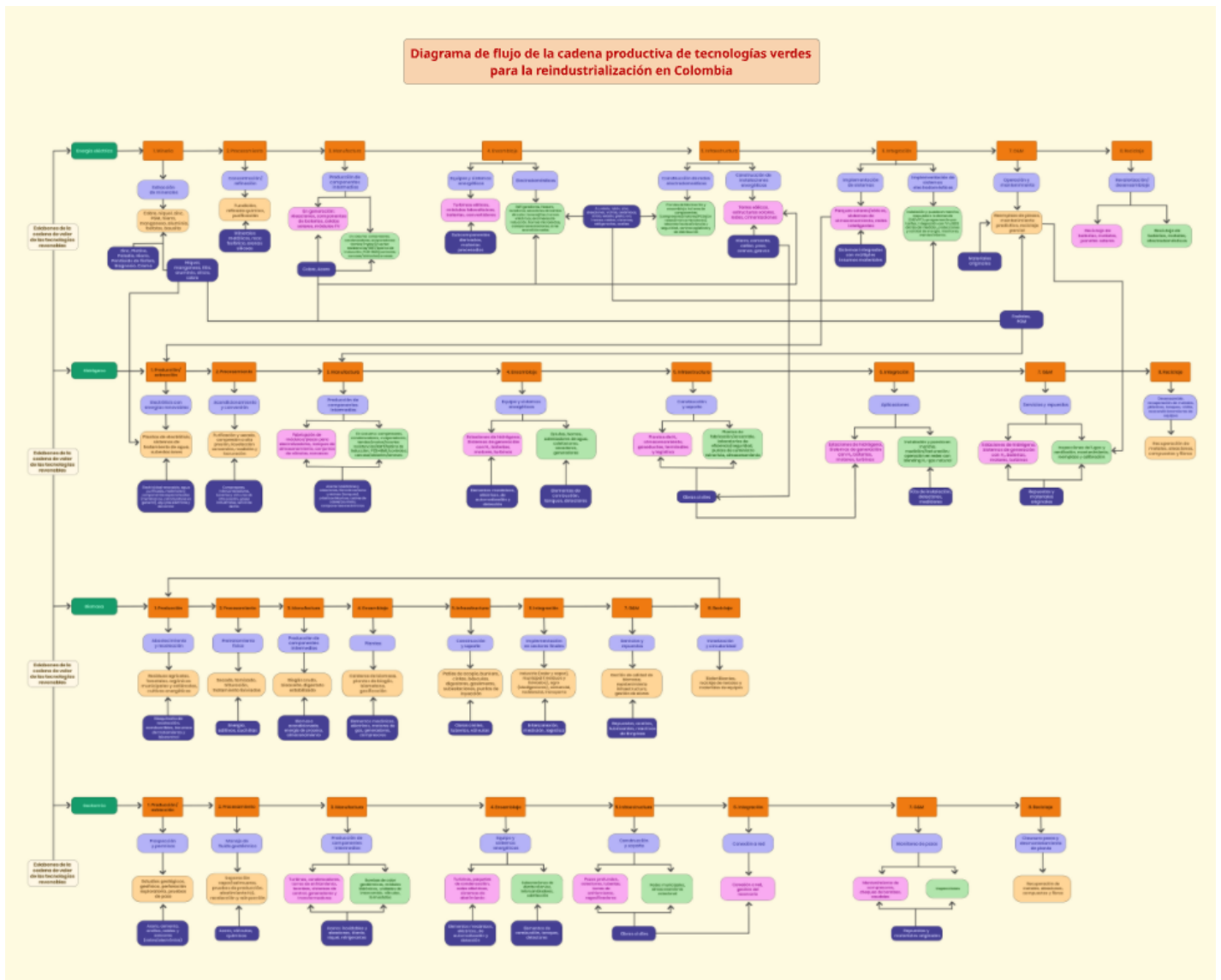
Fuente: construcción propia.

En síntesis, de estos diagramas contextuales se concluye que los sectores metalmecánicos (productos básicos y elaborados de metal), químicos-plásticos, electricidad y otros minerales no metálicos se ubican sistemáticamente por encima del promedio en al menos uno —y a menudo en ambos— encadenamientos. En ese orden de ideas, podría afirmarse que actúan como difusores y proveedores estratégicos que irradian efectos a múltiples ramas, amortiguan cuellos de botella de CAPEX de tecnologías y multiplican el impacto de la inversión. Al pasar a la lectura doméstica, estos mismos núcleos mantienen su posicionamiento

estratégico al tener mayor capacidad para arrastrar producción, empleo y valor agregado dentro del país, variables fundamentales en términos de política industrial (Ver Gráfico 2).

A continuación se presenta el diagrama de flujo de la cadena productiva de tecnologías verdes para la reindustrialización en Colombia, que detalla los eslabones y segmentos tanto de los principales energéticos de la TEJ: electricidad, hidrógeno, biomasa, fertilizantes, geotermia. Así como de los productos usados tanto para la oferta como para la demanda energética.

Gráfico 3



Para mayor detalle, consúltese la Gráfica 3 disponible en el siguiente enlace:
<https://polentj.org/diagrama-de-flujo>

Fuente: construcción propia.

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:

3.1.1. Energía Eléctrica:

3.1.1.1. Tecnologías vinculadas a la oferta:

La cadena de energía eléctrica en Colombia está en plena transformación. Según la 'Hoja de ruta de transición energética' (Min. Energía, 2025), se incorporaron 1,6 GW de energía solar fotovoltaica en 2024, lo que permitió que el país alcanzara un total de 2,3 GW de capacidad instalada al final del año. Este incremento de capacidad tiene un 90% de participación de proyectos de gran escala, lo cual es fundamental dado el contexto de vulnerabilidad hídrica y la necesidad de diversificar la matriz energética nacional. El documento anteriormente señalado (Min. Energía, 2025) también expone que en 2024 se adjudicaron 4,4 GW adicionales en una subasta a precios promedio de 18,2 USD/MWh, con entrada en operación prevista para 2027-2028, lo que ha impulsado la necesidad de seguir desarrollando la infraestructura energética, que actualmente supera los 200,000 km de líneas de transmisión.

En términos de materiales y recursos necesarios para la expansión de la oferta energética, la electrificación intensiva exige un abastecimiento constante de cobre, acero estructural y aluminio, materiales clave para los componentes de redes eléctricas, con los que actualmente el país cuenta en grado limitado: la producción minera de cobre se estima en aproximadamente 9 kt/año en la y el país depende en gran medida de las importaciones de cátodos y semielaborados. Con

respecto al consumo, (Jara et al., 2024) encuentran que el consumo de cobre en el país se concentra principalmente en la infraestructura eléctrica, representando un 23% de la demanda total nacional. Además, según el Observatorio de Complejidad Económica (*Copper Wire in Colombia Trade*, 2024), en 2023 el país importó USD 263 millones en "alambre de cobre", ubicándose como el importador 43 a nivel mundial de ese insumo. A pesar de dichas dinámicas, (Jara et al., 2024) consideran que Colombia podría alcanzar una producción anual de cobre de mina de 200 mil toneladas métricas, lo que brindaría mayores posibilidades en abastecimiento.

Con respecto al procesamiento de otros metales fundamentales, según el informe 'Oportunidades y retos en la siderúrgica de aceros planos' (Rodríguez et al., 2024) el reciclaje desempeña un papel crucial en la reducción del consumo energético y las emisiones de CO₂ en la producción de acero. La industria del acero emplea un gran porcentaje de materias primas recicladas, con una tasa de reciclaje de aproximadamente el 85%, lo que proporciona una oportunidad significativa para los proyectos de infraestructura relacionados con la transición energética.

No obstante, a pesar de una relativa dependencia significativa de importaciones para ensamblaje de

equipos, se encuentra una base productiva importante. Por ejemplo, se encuentra que para el proceso productivo de paneles solares en el país, el 60% de los insumos son locales. En este sentido, vale la pena mencionar la experiencia y tecnología nacional actual: Hitachi Energy opera en Dosquebradas (Pereira) con una planta de transformadores de distribución recientemente ampliada; Siemens Energy fabrica transformadores en Tenjo; Centelsa produce conductores de baja tensión y soluciones energéticas; Magnetron ensambla transformadores y cuenta con planta metalmecánica en Pereira; y en almacenamiento electroquímico, Baterías MAC en Yumbo modernizó su planta. Estos casos muestran encadenamientos factibles hacia metalmecánica, alineados con las directrices de promoción de industria nacional con enfoque de sostenibilidad (DNP, 2023).

3.1.1.2 Tecnologías vinculadas a la demanda:

El documento 'Plan energético Nacional 2054 de la Unidad de Planeación Minero-Energética (PEN 2054, 2024) resalta el impulso a tecnologías como las estufas de inducción y los electrodomésticos de alta eficiencia. Estas tecnologías están diseñadas para reducir el consumo energético en los sectores residencial y comercial, contribuyendo a la sostenibilidad de la matriz energética.

Los electrodomésticos de alta eficiencia presentan un gran potencial para la reindustrialización en Colombia. Según el Ministerio de Minas y Energía en su estudio 'Escenarios Nacionales Transición Energética Justa' (Min. Energía, 2023), la creciente demanda de electrodomésticos modernos, como refrigeradores, lavadoras y aires acondicionados, no solo impulsa el sector de la construcción y el mercado residencial, sino que también ofrece oportunidades para el fortalecimiento de la industria manufacturera local. El desarrollo de esta industria podría generar una cadena de valor sólida que incluye desde la fabricación de componentes hasta la producción de ensamblajes completos, favoreciendo la creación de empleos y el desarrollo de tecnologías innovadoras (Min. Energía, 2023).

Con respecto a la proyección de costos, el estudio (Min. Energía, 2023) encuentra que para los bienes tipo neveras, lavadoras, aires acondicionados, calentadores de agua, ventiladores, etc, los costos anuales de operación equivaldrían solamente al 2% del costo de inversión, lo que facilita la adopción tecnológica y costo

de propiedad. Por ejemplo, en bienes tipo iluminación eficiente se asume un costo de operación equivalente al 0%.

Así, una inversión del orden de \$10 billones de pesos en equipos de refrigeración y confort, equivale a aproximadamente cinco millones de unidades nuevas o reemplazadas durante el periodo de proyección, lo que implica una demanda significativa de motores eléctricos, compresores, plásticos técnicos, aislamientos y componentes electrónicos. De forma similar, los rubros de calentamiento y cocción eléctrica suponen la expansión del mercado de resistencias, cableado y controles térmicos, mientras que la renovación en iluminación y audiovisuales impulsa la producción de LED, gabinetes y circuitos. Este tipo de estimaciones convierte la política de eficiencia y electrificación en un lenguaje operativo para la planeación productiva, permitiendo que las empresas dimensionen su capacidad instalada, desarrollen proveedores locales y planifiquen inversiones.

Así mismo, según el documento CONPES 4129 (DNP, 2023) la reindustrialización asociada a electromovilidad se proyecta como un eje importante. A pesar de los antecedentes en impulso a medidas de promoción y adopción de electromovilidad en el país (incentivos para inversión en proyectos de energía renovable con destino a industrias de manufactura en sistemas de conversión energético en electromovilidad, almacenamiento, FNCER, electro-intensivas, etc.), no se han logrado las metas esperadas por altos costos de implementación.

3.1.2. Hidrógeno:

3.1.2.1. Tecnologías vinculadas a la oferta:

La cadena de producción de hidrógeno en Colombia está centrada en la electrólisis alimentada con electricidad, una opción técnicamente madura, cuya competitividad depende de una oferta eléctrica abundante y de bajo costo. Según la Hoja de Ruta de Transición Energética Justa (Min. Energía, 2025), la utilización del hidrógeno en el país se plantea prioritariamente en sectores como fertilizantes, amoníaco, metanol, y en particular, en acero. Es decir, el enfoque se dirige hacia su aprovechamiento en usos industriales locales y el consumo interno. En este caso, un referente regional importante es Chile (Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde) que plantea construir primero un mercado local con aplicaciones prioritarias antes de la exportación (Min. Energía Chile, 2024).

Actualmente, Colombia cuenta con instrumentos regulatorios que facilitan la inversión en equipos y servicios relacionados con la cadena de hidrógeno. La Resolución 468 de 2022 (UPME, 2022) establece un procedimiento para incluir bienes y servicios de hidrógeno en las listas con incentivos tributarios, mientras que la Resolución 40241 de 2022 (Min. Energía, 2022) y el Decreto 2235 de 2023 (Min. Energía, 2023) habilitan desarrollos específicos como el hidrógeno blanco.

La fabricación de componentes intermedios y equipos se beneficia de encadenamientos metalmeccánicos existentes, especialmente en el sector de la siderurgia baja en carbono. Este tipo de procesos representa una oportunidad para desarrollar cadenas locales de fabricación de compresores, intercambiadores, válvulas y tuberías de alta presión, y otros componentes clave para el sistema de hidrógeno (Remme, 2024).

El desarrollo de infraestructura y soporte también es crucial. La 'Hoja de ruta' (Min. Energía, 2025) destaca que para el caso de amoníaco, existe una intersección natural con la cadena de fertilizantes, lo que abre espacio para que el hidrógeno verde alimente la futura producción nacional de amoníaco y compuestos nitrogenados. Esta sinergia puede reducir la dependencia de importaciones de fertilizantes y fortalecer la industria

local de insumos químicos, generando valor agregado a través de procesos de transformación local.

3.1.2.2. Tecnologías vinculadas a la demanda:

Además del potencial significativo del hidrógeno en la rama de los fertilizantes, la siderurgia baja en carbono se posiciona como otro punto clave en la demanda de hidrógeno (Min. Energía, 2025). Adicionalmente, se considera que el hidrógeno tiene el potencial de reemplazar el gas natural en aplicaciones térmicas, como el calentamiento de hornos, generadores y calderas en diversas industrias. El desarrollo de capacidades de operación y mantenimiento (O&M) también será una necesidad creciente, ya que se requieren servicios específicos para asegurar la operación continua de los sistemas, lo que abrirá oportunidades para el mercado laboral, especialmente en áreas de formación especializada (Min. Energía, 2025).

3.1.3. Biomasa:

3.1.3.1. Tecnologías vinculadas a la Oferta:

La cadena de oferta de biomasa en Colombia comienza con el abastecimiento y recolección de residuos agrícolas, forestales, orgánicos municipales e industriales, y cultivos energéticos. En el país, el sector agroindustrial y las cooperativas rurales juegan un papel clave en la logística de acopio, lo que facilita el suministro de los materiales necesarios para su producción. La biodigestión es uno de los métodos de conversión de biomasa más comunes, con escalas que van desde la industrial hasta la doméstica.

El tratamiento físico de la biomasa incluye secado, tamizado, trituración y gestión de lixiviados. Estos procesos son esenciales para optimizar el rendimiento de calderas, digestores y gasificadores. Desde la perspectiva del sistema eléctrico, la biomasa y el biogás son fuentes de despacho que contribuyen a la estabilidad y firmeza del sistema. En zonas no interconectadas donde predomina el uso de diésel, la biomasa ya cumple un rol importante en el portafolio energético, especialmente en soluciones locales basadas en residuos (Min. Energía, 2025).

3.1.3.2. Tecnologías vinculadas a la demanda:

La demanda de biomasa en Colombia se centra en su uso directo como fuente de energía para sustituir combustibles fósiles en diversas industrias y sectores. Según la Hoja de Ruta de Transición Energética Justa (TEJ) (Min. Energía, 2025), la biomasa tiene un gran potencial en la industria, especialmente en la sustitución de fuel-oil y gas en calderas y hornos, donde se puede aprovechar tanto electricidad como vapor mediante sistemas de cogeneración. En sectores como la industria de acero, la cogeneración basada en biomasa ofrece una solución eficiente para la producción simultánea de calor y electricidad, contribuyendo a la descarbonización de la producción industrial (Min. Energía, 2025).

Además, el uso de biomasa y biogás en servicios municipales es fundamental. En la cocción doméstica, biodigestores individuales y comunitarios también constituyen actividades y productos fundamentales en la demanda de esta tecnología. A nivel de operación y mantenimiento (O&M), la gestión de calidad del combustible y el biogás son cruciales para asegurar la disponibilidad y eficiencia de los sistemas. El reciclaje y valorización de subproductos también es una parte importante de la demanda de biomasa. Por ejemplo, el digestato estabilizado, que es un subproducto de la digestión anaerobia, puede transformarse en biofertilizantes, lo que es especialmente relevante dado que Colombia es un país con una alta dependencia de la importación de nutrientes como fósforo.

3.2 Geotermia:

3.2.1 Tecnologías asociadas a la oferta:

En la oferta de geotermia en Colombia, la producción y extracción de energía geotérmica ofrece un potencial significativo para la reindustrialización, especialmente en las fases de prospección, perforación y manejo de recursos geotérmicos. La Hoja de Ruta de Transición Energética Justa (TEJ) (Min. Energía, 2025) resalta que la prospección y permisos para perforación, junto con los estudios geológicos, geofísicos y las pruebas de pozo, son la base para establecer proyectos geotérmicos sostenibles a gran escala. Este proceso está directamente vinculado con la industria de equipos geotérmicos, incluyendo la producción de acero, cemento, arcillas, cables y sensores, componentes esenciales para la construcción de pozos y la medición de la eficiencia del recurso.

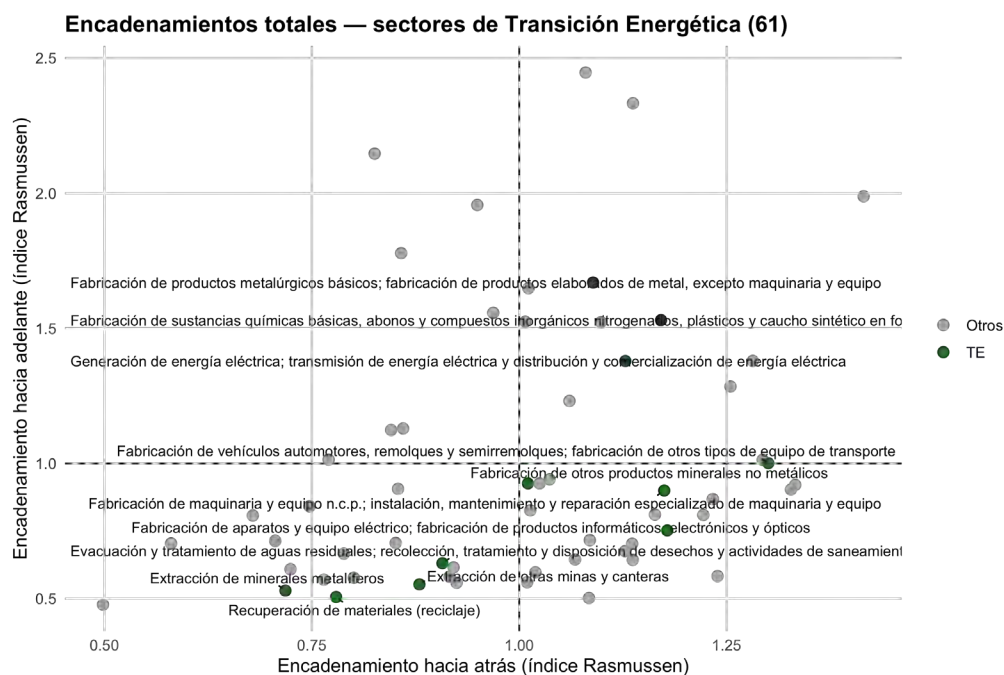
La fabricación de componentes intermedios es otro punto clave para la reindustrialización. Según la TEJ (Min. Energía, 2025), la producción de estos componentes requiere el uso de materiales de alta calidad. Este mercado tiene un alto potencial para el desarrollo de capacidades industriales locales. El ensamblaje de equipos y sistemas energéticos requiere turbinas, paquetes de condensación, etc., lo cual genera oportunidades en la fabricación. Además, la instalación de subestaciones puede generar un mercado interno robusto para la industria de componentes energéticos.

4. Sectores estratégicos para una reindustrialización verde

A partir de la matriz insumo-producto del DANE para el año 2019, se han identificado 11 sectores (actividades económicas) de los 61 sectores disponibles, como sectores 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.

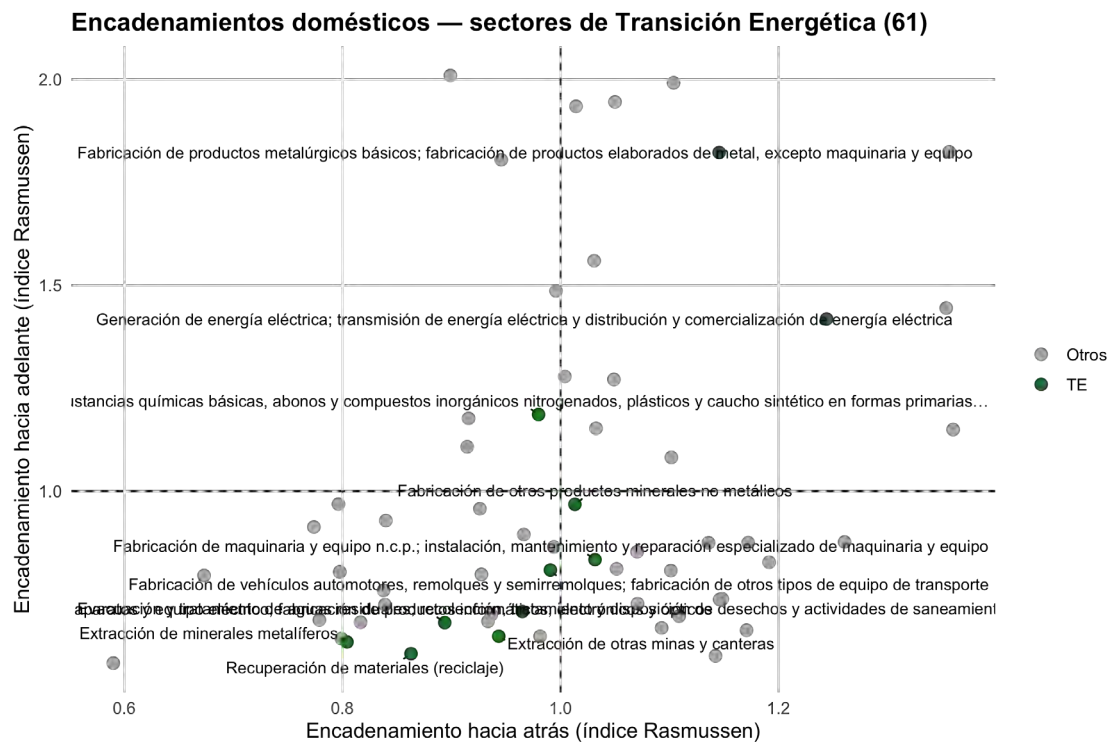
Con el fin de identificar los encadenamientos hacia adelante y hacia atrás se estimaron los índices de Rasmussen, y se diferenciaron los encadenamientos totales y encadenamientos domésticos, con el fin de aislar la dependencia importada y priorizar los nodos que más arrastran actividad dentro del país. Con esta métrica, complementada por multiplicadores de producción, empleo y valor agregado, se construye un mapa de eslabones y sectores que pueden anclar inversiones, fortalecer proveedores locales y amplificar los efectos de la TEJ y la reindustrialización verde en competitividad y empleo.

Gráfico 4



Fuente: construcción propia.

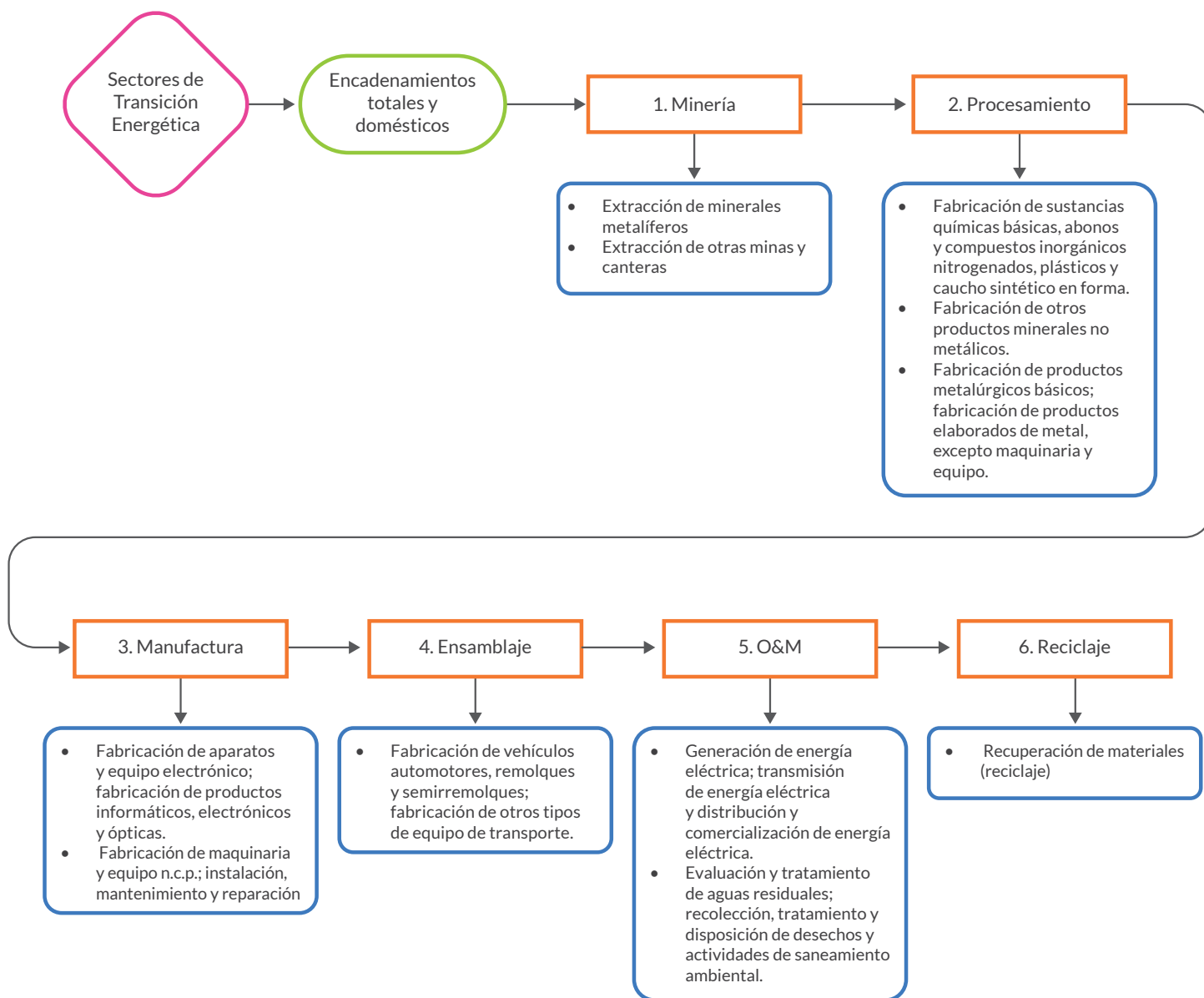
Gráfico 5



Fuente: construcción propia.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo por segmentos y eslabones de los encadenamientos totales y domésticos:

Gráfico 6



Fuente: construcción propia.

La cadena valor de los productos asociados a la TEJ parte de la minería y procesamiento y se organiza en eslabones con encadenamientos domésticos altos¹. En el primer eslabón, extracción de minerales metálicos y extracción de otras minas y canteras proveen cobre, níquel, hierro/acero, aluminio y silicio, minerales estratégicos. Estos recursos ingresan a fabricación de sustancias químicas básicas, productos metalúrgicos básicos y otros productos minerales no. A nivel comercial, aquí se fija buena parte del valor inicial, y se decide cuánta sustitución de importaciones es posible en insumos críticos.

En procesamiento, los segmentos son materiales intermedios estandarizados que habilitan la cadena: cobre refinado y alambrón, aluminio, acero eléctrico, vidrio solar, etc. Así, se generan encadenamientos hacia manufactura, construcción e integración, elevando el valor agregado local, donde se concentra la mayor captura de valor y aprendizaje, ya que comprende fabricación de aparatos y equipo eléctrico, de productos informáticos, de uso domésticos: neveras, estufas, lavadoras, aires acondicionados. El ensamblaje final — apoyado en capacidades de fabricación de vehículos automotores y otros equipos de transporte — integra y estandariza los anteriores productos.

En los segmentos de infraestructura e integración, esos bienes están asociados a inversión en obras civiles y cimentaciones, líneas y subestaciones. Son eslabones intensivos en contratación local y servicios de ingeniería que generan fuertes encadenamientos hacia adelante. El tramo operativo y de cierre del ciclo sostiene flujos de demanda y el enfoque en economía circular y reciclaje previamente mencionado.

¹ La Agencia Nacional de Minería publicó entre 2024 y 2025 los documentos de investigación y análisis según los minerales priorizados para la reindustrialización, transición energética justa, desarrollo agrícola e infraestructura: "Arenas silíceas en la transición energética en Colombia, retos y oportunidades", "Fosfato en Colombia retos y oportunidades", "Panorama de la industria del acero en Colombia, oportunidades y retos en la siderúrgica de aceros planos", "Análisis de escenarios para un proceso de industrialización moderno entorno al desarrollo de la industria del cobre en Colombia".

5. Comportamiento de las inversiones requeridas:

Con respecto a los costos de inversión asociados a las tecnologías verdes para la reindustrialización, el documento MME (Min. Energía, 2024) señala que los ‘pulsos’ tempranos que van de 2024 a 2033 son esenciales para la adopción de equipos y capacidad instalada, y por lo tanto para la reindustrialización. Los escenarios TEJ concentran inversión en la primera década y luego estabilizan en la implementación de equipos eficientes y nueva capacidad, con un punto de inflexión alrededor de 2028–2031 según el sector.

Ese patrón se confirma con cifras sectoriales de la

década de 2020: en residencial, TEJ-3% promedia 1,6%–1,9% del PIB con un pico en 2029 de 3,5%–4,2%; en transporte, la infraestructura de carga en 2030 requiere 0,09%–0,11% del PIB (TEJ-4%, valores análogos en TEJ-3%); y en hidrógeno los costos energéticos operativos se ubican entre 0,01% y 0,06% del PIB entre 2025 y 2030 antes de caer en 2031. En conjunto, se daría un escenario en que el gasto se desplaza de combustibles importados hacia inversión en bienes de capital y servicios domésticos, elevando el valor agregado, acelerando el aprendizaje productivo y ampliando la base de proveedores.

5.1. Proyección de demanda:

Según la Agencia Internacional de Energía (2025), la proyección de la demanda energética está directamente asociada a dinámicas ambientales: “el sector energético es la fuente de cerca de tres cuartas partes de las emisiones de gases de efecto invernadero actuales y posee la clave para evitar los peores efectos del cambio climático, quizás el mayor desafío que la humanidad ha enfrentado. Reducir a cero neto las emisiones globales de dióxido de carbono (CO₂) para 2050 es coherente con los esfuerzos por limitar el aumento a largo plazo de la temperatura media global a 1,5 °C”.

Así, las investigaciones señalan que el camino hacia las emisiones netas cero es estrecho, en tanto mantenerse en él ha requerido un despliegue inmediato y masivo de todas las tecnologías de energía limpia y eficiente disponibles. Las mayores oportunidades de innovación se encuentran en las baterías avanzadas, los electrolizadores de hidrógeno y la captura directa de aire con almacenamiento.

En este sentido, la sección presenta las proyecciones de demanda por tecnología con base en la Hoja de Ruta TEJ (Min. Energía, 2025), siguiendo su arquitectura de escenarios (BAU y TEJ) y los cortes temporales de referencia 2022, 2030, 2040 y 2050. También se integran los resultados del documento ‘Análisis de Inversiones requeridas para la Transición Energética Justa’ (Min. Energía, 2024) que permite presentar una lectura económica y sectorialmente coherente de cómo varía la demanda bajo distintos ritmos de transición, destacando implicaciones para inversión, encadenamientos productivos, competitividad con miras a las presiones medioambientales anteriormente señaladas.

En este sentido, según el documento de análisis de inversiones (Min. Energía, 2024), la electrificación en minería y procesamiento de cobre, níquel, fosfatos y polimetálicos es el principal impulsor del aumento de demanda eléctrica. Con una base aproximada de

5,0 TWh en 2022, una trayectoria BAU, apoyada en mejoras graduales y electrificación parcial, llevaría el uso eléctrico del eslabón minero-metalúrgico a cerca de 8,7 TWh en 2050. En un escenario TEJ, con sustitución acelerada de diésel en equipos móviles, automatización de ventilación y bombeo, y mayor procesamiento local (más trituración, molienda y beneficio en el país), la demanda podría situarse alrededor de 17 TWh en 2050. En términos energéticos, esto supone pasar de 5,0 TWh a 8,7 TWh en BAU y a cerca de 17,2 TWh en TEJ.

Desde la perspectiva económica, dicho incremento eléctrico se entiende como una palanca para capturar más valor en la cadena productiva, es decir, más transformación local, empleo calificado y menor exposición a combustibles importados. La viabilidad se apoya en contratos eléctricos de largo plazo y expansión de redes, reduciendo el riesgo y mejorando la rentabilidad ajustada por riesgo frente a BAU. En términos de perfil temporal, el documento reporta que la inversión eléctrica en TEJ se acelera en la primera década y luego converge a trayectorias más estables, coherentes con la maduración de proyectos de redes y nueva capacidad.

En segundo lugar, el hidrógeno se perfila como insumo industrial y energético para tres anclas de demanda: acero con prerreducción, transporte pesado y sustituciones en refinería/química. En TEJ, la demanda podría pasar de niveles marginales en 2022 a 0,10 Mt en 2030, 0,50 Mt en 2040 y 1,00 Mt en 2050; en BAU, el avance sería más lento, alrededor de 0,02, 0,15 y 0,40 Mt en esos mismos hitos. Convertido a energía útil, 1 Mt equivale a unos 120 PJ anuales. Para ruta verde, la electricidad requerida por electrólisis se mueve típicamente en el entorno de 50 a 58 kWh por kilogramo de hidrógeno, lo que dimensiona, para 1 Mt, un rango del orden de 50 a 58 TWh anuales de electricidad dedicada (Min. Energía, 2025). El informe consigna que, en TEJ, los costos energéticos operativos del hidrógeno se mantienen acotados entre 0,01% y 0,06% del PIB entre 2025 y 2030, caen alrededor de 0,03% en 2031 y convergen hacia 0,05–0,06% del PIB hacia 2050.

La biomasa, con una base cercana a 170 PJ en 2022, en el escenario BAU convergería hacia 155 PJ en 2050, mientras que TEJ, con modernización más rápida, cerraría cerca de 145 PJ. En 2050 bajo TEJ, una mezcla razonable se aproxima a 20% tradicional, 22% biogás y

biometano, 30% biomasa sólida moderna, 22% cogeneración (Min. Energía, 2025)

Del lado de la oferta eléctrica, la Hoja de Ruta de la TEJ (Min. Energía, 2025) plantea la sustitución acelerada de combustibles fósiles en la generación —con abandono del carbón hacia 2035 y menor expansión relativa del gas—, lo que refuerza el espacio para bioenergía moderna y cogeneración como parte del portafolio firme.

6. Reindustrialización verde podría generar incrementos de hasta 6,8% del producto.

Con base en la interpretación de los documentos oficiales 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 en análisis cuantitativo de los escenarios estimados:

6.1. Impulso industrial:

6.2.1. Choque 1: Aumento de demanda final por grupo de sectores podría generar incrementos del producto de hasta 6,5% y hasta 3,9% en el empleo²:

Un escenario de reindustrialización verde integral, es decir en el que se impulsa la demanda en los once sectores identificados, respecto a los 6 eslabones (ver gráfico 6), es el que presenta los impactos más amplios en la economía y el empleo. La producción crece en torno a un 6,5%, mientras que las emisiones de CO₂ se expanden un 8,6%, mostrando un aumento proporcionalmente mayor de la huella ambiental frente al crecimiento económico. El empleo total sube un 3,9%, con un incremento del 4,6% en hombres y del 2,6% en mujeres, lo que indica que, aunque ambos grupos se benefician, persiste una brecha de género. El consumo de energía se intensifica en todas las fuentes, especialmente electricidad (+10,5%) y gas (+8,6%), lo que refleja tanto la mayor actividad manufacturera como la presión sobre el sistema energético.

Tabla 1.

Escenario	Producción	Emisiones CO ₂	Empleo total	Empleo hombres	Empleo mujeres	Energía carbón	Energía gas	Energía petróleo	Energía derivados	Energía biocombustibles	Energía electricidad
Base con localización (sin choques)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Escenario 1: Reindustrialización verde (todos)	6,5	8,6	3,9	4,6	2,6	1,1	8,6	1,5	3,8	5,1	10,5
Escenario 2: Reindustrialización materias primas TE	2,5	2,3	1,3	1,5	0,9	0,3	2,7	0,6	1,6	4,1	3,6
Escenario 3: Reindustrialización manufacturas TE	2,7	1,1	2,1	2,6	1,3	0,1	2,1	0,4	0,9	0,5	2,8
Escenario 4: Reindustrialización otros TE	1,3	5,2	0,5	0,5	0,4	0,8	3,9	0,6	1,3	0,5	4,0

² Para conocer la metodología ver anexo 1

En el caso de la reindustrialización centrada en materias primas de la transición energética³, los efectos son más acotados: la producción aumenta un 2,5%, las emisiones un 2,3% y el empleo total un 1,3%. La creación de empleo favorece más a los hombres (+1,5%) que a las mujeres (+0,9%), lo cual es consistente con la composición laboral de actividades extractivas e intensivas en insumos primarios. El consumo energético crece de manera marcada en gas (+2,7%) y derivados del petróleo (+1,6%), lo que muestra que esta estrategia, aunque genera dinamismo, refuerza la dependencia de fuentes fósiles.

La reindustrialización de manufacturas⁴ vinculadas a la transición energética ofrece un patrón más balanceado. La producción crece un 2,7% y el empleo total un 2,1%, con un aumento de 2,6% en hombres y de 1,3% en mujeres. Las emisiones suben solo un 1,1%, bastante por debajo del crecimiento de la actividad y el empleo, lo que refleja un perfil relativamente más limpio. En términos energéticos, el mayor impulso se observa en la electricidad (+2,8%), mientras que el aumento en carbón y derivados es mínimo, confirmando el papel de estas manufacturas como motores de modernización y menor intensidad en carbono.

Por último, el escenario de otros sectores de la transición energética⁵ muestra un efecto moderado en la

producción (+1,3%) y en el empleo total (+0,5%), con incrementos de 0,5% en hombres y 0,4% en mujeres. Sin embargo, las emisiones crecen un 5,2%, lo que indica un desbalance entre los modestos beneficios económicos y laborales y la fuerte presión ambiental. El consumo de gas (+3,9%) y electricidad (+4,0%) sube con fuerza, mientras que el uso de derivados y carbón también se incrementa, lo que sugiere que, sin mejoras tecnológicas, estos sectores pueden convertirse en focos de alta ineficiencia ambiental.

6.1.2. Choque 2: Aumento de la demanda y sustitución de importaciones incrementan el producto en hasta 6,8% y el empleo en 4,1%⁶.

El escenario de reindustrialización verde integral junto con un aumento de la participación de la producción nacional de manufacturas muestra nuevamente los mayores impactos. La producción aumenta un 6,8% y las emisiones de CO₂ lo hacen en 8,8%, lo que refleja que la expansión económica a gran escala continúa acompañada de una presión ambiental significativa. El empleo total crece un 4,1%, con un incremento mayor en los hombres (+4,9%) que en las mujeres (+2,7%). El consumo de energía se eleva en todas las fuentes, siendo más marcado en electricidad (+10,8%) y gas (+8,8%), aunque también se observan aumentos en derivados (+4,0%) y biocombustibles (+5,3%).

Tabla 2.

Escenario	Producción total	Emisiones CO ₂	Empleo total	Empleo hombres	Empleo mujeres	Energía carbón	Energía gas	Energía petróleo	Energía derivados	Energía biocombustibles	Energía electricidad
Base con localización (sin choques)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S1 (+DF todos) con localización	6,8	8,8	4,1	4,9	2,7	1,2	8,8	1,6	4,0	5,3	10,8
S2 (+DF materias TE) con localización	2,5	2,3	1,3	1,5	0,9	0,3	2,7	0,6	1,6	4,1	3,6
S3 (+DF manufacturas TE) con localización	3,0	1,3	2,3	2,9	1,4	0,1	2,3	0,4	1,1	0,7	3,2
S4 (+DF otros TE) con localización	1,3	5,2	0,5	0,5	0,4	0,8	3,9	0,6	1,3	0,5	4,0

³ Eslabones 1 y 2 (Minería y Procesamiento), ver Gráfico 6.

⁴ Eslabones 3 y 4 (Manufactura y Ensamblaje), ver Gráfico 6.

⁵ Eslabones 5 y 6 (Operación y mantenimiento; y Reciclaje), ver Gráfico 6.

⁶ Para conocer la metodología ver anexo 1

El escenario de reindustrialización de manufacturas con mayor participación de la producción nacional en estos sectores destaca por combinar mayor dinamismo productivo con un perfil ambiental más equilibrado. La producción aumenta un 3,0% y el empleo total un 2,3%, con un crecimiento del 2,9% en hombres y del 1,4% en mujeres. Las emisiones apenas suben un 1,3%, lo que

evidencia una mejora sustancial en la relación entre crecimiento y sostenibilidad ambiental. El consumo de energía muestra un patrón más limpio: electricidad (+3,2%) y gas (+2,3%) concentran los incrementos, mientras que carbón y derivados registran variaciones marginales.

7. 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' (Anexo 2) que permiten visualizar el consumo de recursos naturales (agua, fuentes renovables, carbón mineral, gas natural, productos derivados del petróleo, biocombustibles, electricidad) y generación en gramos de CO₂ por sector y eslabón de la cadena productiva.

Los indicadores de radares ambientales muestran que el mayor sector de carga ambiental absoluta e intensiva es el de Generación de electricidad, que en 2019 generaba 21.249,87 Gg CO₂e, con un uso 79.554,51 Hm en agua extraída y un índice total por producto de 6,86Hm por unidad de producto. Este sector mantiene las siguientes características en cuanto al consumo energético: 55,8%

renovables, 34,3% gas natural, 6,6% carbón y 3,2% derivados del petróleo. Tras este sector, las mayores emisiones de gases de efecto invernadero absolutos provienen de 'otros minerales no metálicos' con 1.662,92 Gg CO₂e y de 'químicos básicos', con 1.474,11 Gg CO₂e. Sin embargo, al realizar el análisis por intensidad por producto, destacan 'productos no metálicos' y 'productos de extracción metalífera' seguidos por 'reciclaje'. En el extremo opuesto, 'vehículos' y 'agua/saneamiento' exhiben bajas intensidades (Gg CO₂e emitidos por unidad de producto 0,12 y 0,32, respectivamente), consistentes con procesos de ensamblaje y servicios más livianos en energía directa.

En síntesis, con base en los indicadores de intensidades, los sectores estratégicos para la activación de encadenamientos sostenibles son: generación de electricidad (diversificación de la matriz), productos no metálicos, productos de metal-mecánica y químicos básicos, que corresponden al segmento de manufacturas. Según las cifras, este portafolio podría minimizar de demanda hacia productos importados, maximizar encadenamientos domésticos y alinear competitividad con la Transición Energética Justa, tal como sugieren las posiciones relativas en los mapas de encadenamientos (p. ej., electricidad 55,8% renovables y 34,3% gas; no metálicos 58,2% gas/31,0% petróleo; metal-mecánica 55,4% gas/16,7% carbón/25,0% electricidad).

Al cruzar intensidades con encadenamientos (totales y domésticos) del índice Ramussen, los sectores que de manera individual tienen mejor arrastre hacia atrás y hacia adelante son: generación de electricidad, productos no metálicos, metalmecánica y químicos básicos. En contraste, minería primaria y reciclaje sin transformación tienen menor propagación interna, 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 verde, además que incluso de manera individual los sectores manufactureros ocupan un rol destacado.

8. Recomendaciones:

A partir de la contextualización de la estructura productiva colombiana, así como la presentación de los diferentes escenarios y los resultados correspondientes a cada uno de ellos, se ha encontrado que la implementación de una política que abarque todos los eslabones de la cadena de valor, así como las tecnologías asociadas a la transición energética tendría importantes resultados tanto en generación de ingreso y empleo (masculino y femenino).

Por otro lado, la utilización de diferentes agrupaciones para evaluar el impacto de aplicar políticas por eslabones o grupos de estos ha permitido encontrar que una política de reindustrialización verde en la que se incluyan los eslabones de manufactura y de ensamblaje podría ser la que permita obtener mejores resultados, tanto cuando la política en cuestión constituye un aumento del 50% de la demanda final (gasto de consumo final o exportaciones); este resultado se podría acentuar con una política de sustitución de importaciones, obteniendo impactos en el crecimiento del producto de la economía hasta en un 3%, un aumento del 2,3% en el empleo total, 2,9% y 2,4%, en el empleo masculino y femenino respectivamente; en la misma dirección menores incrementos en las emisiones de CO₂ y menor consumo energético frente a la aplicación focalizada en eslabones de minería y procesamiento, y otros.

Con relación al horizonte de política pública y a las condiciones que deben ser abordadas para alcanzar los resultados como los expuestos anteriormente, se

plantean recomendaciones en dos vías:

Fortalecimiento de la demanda.

Cada una de las siguientes herramientas de política existen o han sido empleados en otro tipo de apuestas, no obstante se mencionan como una posibilidad de dirigir los mismos para el impulso de los eslabones o sectores definidos como estratégicos.

- **Beneficios tributarios**, diferenciados para la compra de bienes de cada uno de los sectores definidos en este documento. Los cuales deben ser destinados al abaratamiento para el consumidor final, y explorando dentro de los marcos normativos vinculantes las oportunidades de promoción o balanceo de la producción nacional frente a las tecnologías importadas.
- **Compras públicas**, restringidas a tecnologías verdes y dirigidas a producción local, privilegiando en licitaciones públicas las propuestas que incluyan tecnologías verdes y componentes locales.
- **Programa de promoción de exportación de manufacturas verdes** con alto contenido local. Particularmente que incluyan beneficios tributarios y acompañamiento técnico y logístico a las empresas nacionales que intervienen en cada uno de los sectores analizados.

- **Líneas de crédito subsidiada y/o condonables** para el ascenso tecnológico y verde, por medio de la compra de manufacturas verdes locales, específicamente todo lo asociado a electrodomésticos para el uso del sector terciario y de los hogares.

Proceso de fortalecimiento de las manufacturas verdes producidos localmente.

- **Líneas de crédito subsidiadas y/o condonables** para el fortalecimiento de la producción local, focalizado en las manufacturas verdes nacionales. Implementación de esquemas subsidiados a las tasas de interés y a la condonación de capital sujeto a resultados. Para lo cual se requiere la articulación entre actores privados y públicos del sector financiero, así como el trabajo conjunto con administradores de fondos para la mitigación del cambio climático, que permita acceder a recursos a bajo costo o condonable.
- **Esquemas de compensación por inversión extranjera directa en renovables**, vinculados a porcentajes específicos de inversión en producción local de tecnologías asociadas a los proyectos de la empresa extranjera y ajustadas a resultados vinculados a producción tanto para el consumo local, como para las exportaciones.
- **Fortalecimiento del ecosistema de innovación y desarrollo nacional vinculado a tecnologías verdes.** Incremento de recursos disponibles para el financiamiento de estas actividades tanto en el sector privado como público, privilegiando las alianzas público-privadas de innovación y desarrollo. Así como la implementación de condiciones habilitantes para la construcción de clústeres de innovación, vinculados al fortalecimiento de la descentralización y a la difusión de capacidades.

9. Referencias:

- Chang, H.-J., & Andreoni, A. (2020). Industrial Policy in the 21st Century. *Development and Change*, 51(2), 324-351. <https://doi.org/10.1111/dech.12570>
- Cimoli, M., Dosi, G., & Stiglitz, J. (2009). *Industrial Policy and Development: The Political Economy of Capabilities Accumulation*. Oxford University Press. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:oxp:obooks:9780199235278>
- Copper Wire in Colombia Trade. (s. f.). The Observatory of Economic Complexity. Recuperado 19 de septiembre de 2025, de <https://oec.world/en/profile/bilateral-product/copper-wire/reporter/col>
- Decreto 2235 de 2023—Gestor Normativo. (s. f.). Recuperado 19 de septiembre de 2025, de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=227190>
- Departamento Nacional de Planeación. (2023). *CONPES 4129 Política Nacional de Reindustrialización*.
- Estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf. (s. f.). Recuperado 19 de septiembre de 2025, de https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf
- Hirschman, A. O. (1958). *The Strategy of Economic Development*. Yale University Press.
- Jara, J. J., Recabarren, J., Urzúa, O., Dufey, A., & Sucre, C. (2024). Análisis estratégico del desarrollo de capacidades de producción de cobre refinado en Colombia. *IDB Publications*. <https://doi.org/10.18235/0013055>
- Juhász, R., Lane, N. J., & Rodrik, D. (2023). *The New Economics of Industrial Policy* (Working Paper No. 31538). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w31538>
- Juhász, R., Lane, N., Oehlsen, E., & Pérez, V. C. (2022). *The Who, What, When, and How of Industrial Policy: A Text-Based Approach* (SSRN Scholarly Paper No. 4198209). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4198209>
- Kagawa, S., Suh, S., Hubacek, K., Wiedmann, T., Nansai, K., & Minx, J. (2015). CO2 emission clusters within global supply chain networks: Implications for climate change mitigation. *Global Environmental Change*, 35, 486-496. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.04.003>
- Lenzen, M., Kanemoto, K., Moran, D., & Geschke, A. (2012). Mapping the Structure of the World Economy. *Environmental Science & Technology*, 46(15), 8374-8381. <https://doi.org/10.1021/es300171x>
- Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions* (2.a ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626982>
- Min. Energía. (2025). *Hoja de Ruta para la Transición Energética Justa de Colombia*.
- Min. Energía (2023). *Escenarios nacionales Transición Energética Justa*.

PEN 2054. (s. f.). Recuperado 19 de septiembre de 2025, de <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/PEN-2054.aspx>

Rasmussen, P. N. (1956). *Studies in inter-sectoral relations*. E. Harck.

Remme, U. (2024). *Global Hydrogen Review 2024*.

Rodríguez, A. B., Correa, W. A. C., Aza, N. O. F., Martínez, R. Y. G., Jurado, C. J. L., Rodríguez, M. A. M., Pulido, K. A. E., & Pineda, J. E. R. (s. f.). *Juan Fernando Ruíz Rodríguez*.

Terzi, A., Sherwood, M., & Singh, A. (2023). European industrial policy for the green and digital revolution. *Science and Public Policy*, 50(5), 842-857. <https://doi.org/10.1093/scipol/scad018>

Weiss, J., & Seric, A. (2021). Industrial policy: Clarifying options through taxonomy and decision trees. *Development Policy Review*, 39(5), 773-788. <https://doi.org/10.1111/dpr.12522>

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

10. Anexos:

10.1. Anexo 1:

A partir de la matriz insumo-producto nacional y la matriz insumo-producto importada publicadas por el DANE, así como de las diferentes fuentes de datos asociadas a las matrices complementarias —en particular, las matrices ambientales de flujos de agua, de oferta y utilización de energía, y de oferta y utilización de emisiones—, se ha compilado una base de datos amplia y consistente para el año 2019. Esta base incluye además la matriz de trabajo, lo cual permite un análisis detallado tanto económico como ambiental. La desagregación obtenida es la correspondiente a 61 sectores para los cuales se encuentra información de todas las variables analizadas.

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 =matriz identidad

y =vector de demanda final

Sobre esta información, y a partir de la matriz inversa de Leontieff $((I-A)^{-1})$ 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 (encadenamientos hacia

atrás) y los que generan mayores efectos de difusión hacia otros sectores (encadenamientos hacia adelante).

Adicionalmente, se calcularon los multiplicadores de ingreso, así como las intensidades sectoriales: intensidad de empleo (total, masculino y femenino), intensidad energética (para cada uno de los energéticos disponibles) e intensidad de emisiones, usando como método de cálculo la razón entre el vector de la variable ambiental o de empleo particular y el vector de producción.

$$Q=qx$$

Donde

Q =Valores absolutos de emisiones, uso de energéticos, empleo, etc.

q =intensidades

Este enfoque permite observar no solo los efectos productivos, sino también sus implicaciones distributivas y ambientales, en línea con la literatura de insumo-producto extendida ambientalmente (Miller & Blair, 2009; Wiedmann, 2009).

Con base en estos resultados, se organizaron cuatro grupos de sectores económicos objetivo:

1. Medidas de política que afectan a todos los sectores identificados como parte de la transición energética.
2. Medidas que solo afectan a los sectores asociados a los eslabones de minería y de

procesamiento dentro de lo que se conoce como transición energética.

3. Medidas que afectan únicamente a los sectores vinculados a los eslabones de manufactura y ensamblaje, asociados a la transición energética.
4. Medidas que afectan a los sectores vinculados a los eslabones de operación, mantenimiento y reciclaje, dentro de la transición energética.

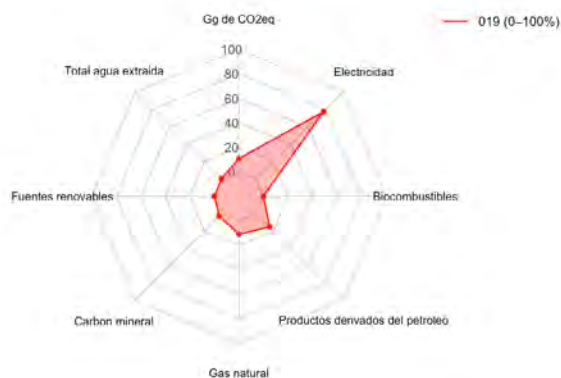
Para estos grupos se evaluaron dos tipos de choques:

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. Como parte de una apuesta por la reindustrialización, que busca fortalecer la producción nacional y aumentar el valor agregado interno, se modeló una sustitución de importaciones de hasta el 30% del componente importado de los sectores vinculados a los eslabones de manufactura y ensamblaje.

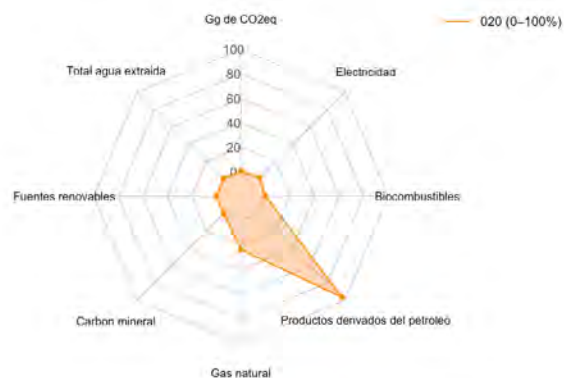
De este modo, se construyeron dos escenarios por cada grupo, lo que permite evaluar tanto los impactos de una política de reindustrialización verde de carácter general como las alternativas en las que restricciones políticas o presupuestales hagan necesario focalizar las inversiones en determinados segmentos 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).

10.2. Anexo 2:

Extracción de minerales metalíferos (019)



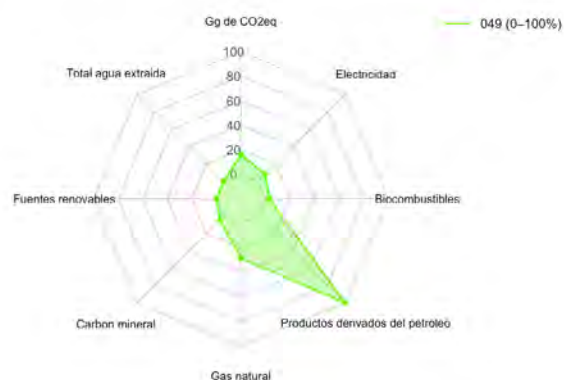
Extracción de otras minas y canteras (020)



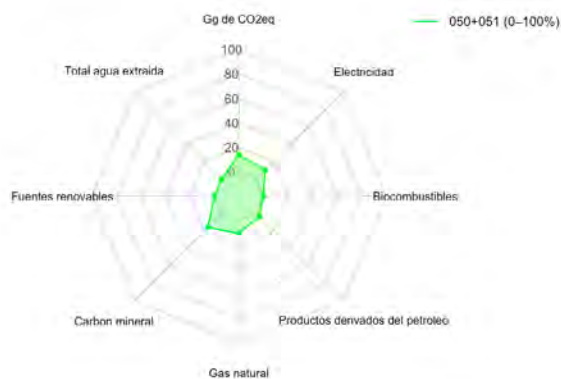
Fabricación de sustancias químicas básicas, abonos y compuestos inorgánicos nitrogenados... (045+046+047)



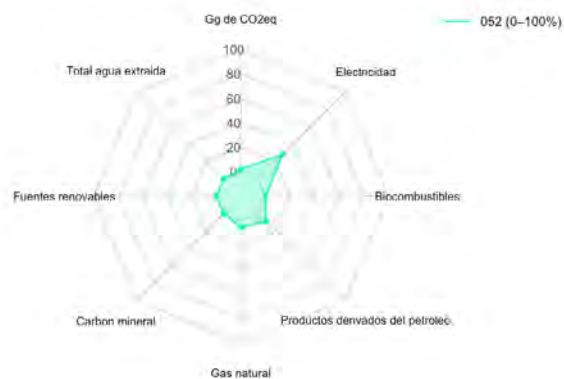
Fabricación de otros productos minerales no metálicos (049)



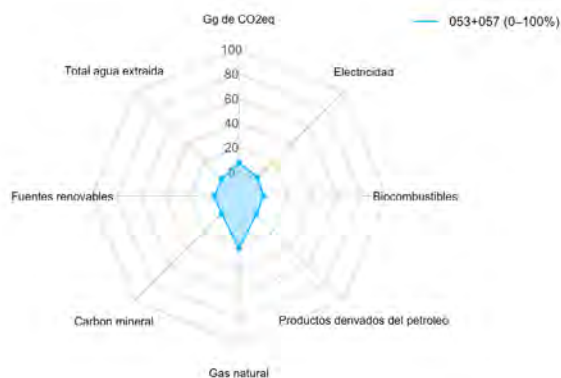
de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo (050+051)



Fabricación de aparatos y equipo eléctrico; fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos (052)



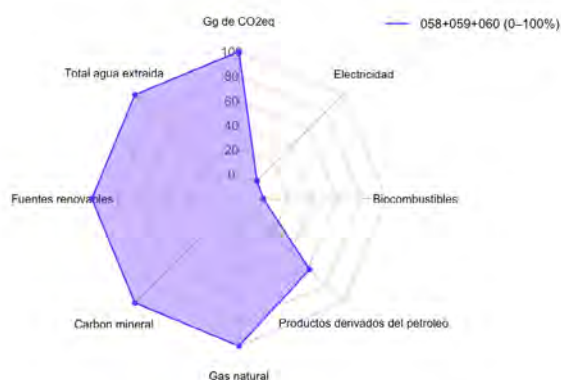
mantenimiento y reparación especializado de maquinaria y equipo (053+057)



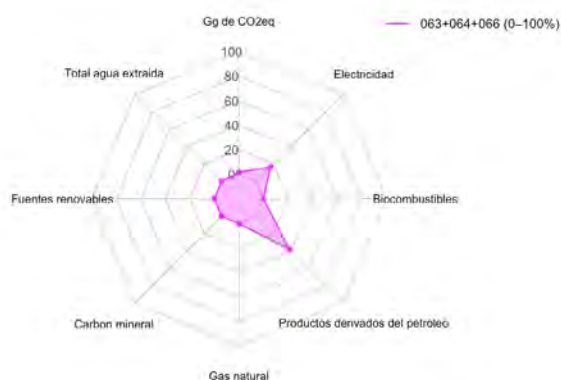
semirremolques; fabricación de otros tipos de equipo de transporte (054)



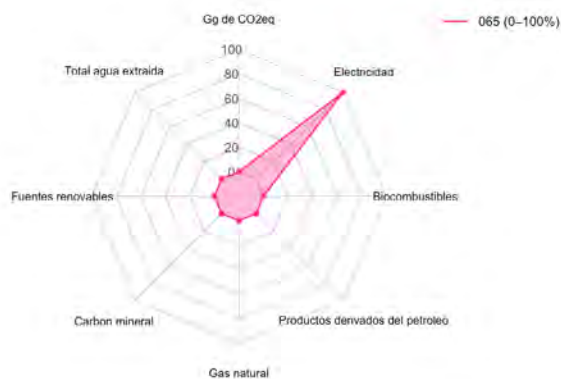
eléctrica y distribución y comercialización de energía eléctrica (058+059+060)



Evacuación y tratamiento de aguas residuales... (063+064+066)



Recuperación de materiales (reciclaje) (065)





@polentjcol



@polentjcol



POLEN Transiciones Justas



www.polentj.org