



Unidad de Planeación
Minero Energética



20
25

Plan Energético Nacional 2024-2054

Plan Estratégico de **Industrialización**

Versión Preliminar



Ministro de Minas y Energía

Edwin Palma Egea

Director General (E) UPME

Manuel Peña Suárez

Subdirectora de Demanda

Jessica Arias Gaviria

Colaboradores UPME

Ingrid Gissella Quiroga Mojica

María Alejandra Bermúdez Rodríguez

William Alberto Martínez Moreno

Asesores externos (Industrialización)

Andrea Lache Muñoz

Daniel Restrepo Soto

Agradecimientos

David Fernando Romero Quete

Laura Flechas Mejía

Equipo de comunicaciones UPME

Asesora de comunicaciones

Linda Cárdenas Ramírez

Diagramación y diseño

Diego Peñaranda

Versión preliminar

Mayo, 2025

Tabla de Contenido

1. VISIÓN DEL PLAN ESTRATÉGICO DE INDUSTRIALIZACIÓN.....	5
2. CONTEXTO INTERNACIONAL DE LA INDUSTRIALIZACIÓN.....	8
3. CONTEXTO NACIONAL DE LA INDUSTRIALIZACIÓN.....	12
4. APUESTAS ESTRATÉGICAS.....	14
5. MAPEO DE ACTORES INVOLUCRADOS.....	30
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

1. VISIÓN DEL PLAN ESTRATÉGICO DE INDUSTRIALIZACIÓN

A lo largo del proceso de construcción del PEN 2024-2054 se han identificado apuestas y metas de largo plazo para la transformación estructural del sistema energético colombiano hacia una transición energética justa, bajo el planteamiento de alternativas tecnológicas, metas ambientales, diversificación energética, competitividad y sostenibilidad ambiental. Este plan estratégico, se plantea bajo la necesidad de aportar en la construcción de uno de los eslabones claves para habilitar la materialización de esas metas, la reindustrialización. Es así, que el objetivo de este documento no es sólo satisfacer, sino impulsar de manera proactiva los requerimientos energéticos de las áreas estratégicas, generando así un efecto sinérgico que fomente la innovación, la eficiencia y la sostenibilidad en el sector industrial, a la vez que se contribuye a diversificar la economía colombiana para la superación gradual de la dependencia económica de los combustibles fósiles.

Existen desafíos y retos para la transformación de la estructura productiva de Colombia, entre ellos:

- Ineficiencia en la producción de bienes y servicios,
- Limitada diversificación y sofisticación de la oferta interna y demanda externa,
- Debilidad en los encadenamientos productivos y cadenas de valor,
- Limitada integración regional y transferencia tecnológica, y
- Limitada gestión institucional

En 2023, se formuló la Política Nacional de Reindustrialización de Colombia a través del CONPES 4129, en donde se evidencia una estrecha relación con el sector energético al proponer la transición energética justa como una de sus apuestas estratégicas. Este enfoque busca no solo diversificar la matriz productiva del país, sino también impulsar la creación de nueva oferta energética limpia y sostenible, necesaria para soportar el desarrollo industrial que promueve. La política reconoce que la transformación de sectores como la agroindustria, la salud y la defensa implica un aumento en la demanda energética, lo cual representa tanto un desafío como una oportunidad para fomentar inversiones en infraestructura energética y fuentes renovables, alineando así los objetivos de industrialización con los de sostenibilidad ambiental y seguridad energética.

En el marco del CONPES 4129 de 2023, que busca:

- Fortalecer y/o crear los encadenamientos productivos bajo la promoción e identificación estratégica de aglomeraciones productivas entre los diferentes sectores de la economía, así como en la participación en las cadenas globales de valor.

- Brindar las condiciones para la integración económica de regiones con alto potencial de crecimiento futuro en su consumo y transferencia de tecnología y conocimiento.
- Fortalecer la gestión de las instituciones y distorsiones en los incentivos a la actividad económica para la agregación de valor.
- Diversificar y sofisticar la oferta interna y exportable.

El PEN es un instrumento estratégico, que aporta al CONPES 41259 al permitir la identificación de procesos y nuevas cadenas de valor industriales asociadas a la diversificación de fuentes de energía que se integran a la matriz energética. Ante los retos actuales, la planeación energética de largo plazo debe no solo aportar a la dinamización de la oferta y demanda de energía, sino también de materiales clave para la transición energética, incorporando enfoques de economía circular y sostenibilidad ambiental. También debe promoverse la creación de pymes que amplíen la oferta laboral, fortalezcan las capacidades productivas del país, y contribuyan a su posicionamiento internacional en el contexto de la transición energética justa. Todo esto, priorizando la seguridad energética, la reducción de la dependencia tecnológica externa, la generación de nuevos empleos y el desarrollo de regiones con potencial en energías renovables, incluyendo la ampliación del acceso energético en zonas no interconectadas (ZNI).

El presente plan de industrialización, estructurado en nueve apuestas, contribuye a la identificación de cadenas de valor industriales con alto potencial de desarrollo, vinculadas a la evolución de la matriz energética nacional en términos de oferta, demanda, y bienes y servicios asociados a las tecnologías e infraestructura requeridas para la transición energética. Este enfoque alinea los esfuerzos industriales con los compromisos de descarbonización adquiridos por el país.

Adicionalmente, el plan se articula con los otros cinco planes estratégicos propuestos por el PEN 2024-2054, generando sinergias clave:

- **Movilidad sostenible:** Aporta mediante la renovación del parque automotor, impulsando la desintegración de vehículos y la recuperación de materiales de alto valor, lo que, bajo un modelo de economía circular, reduce el consumo energético. En cuanto al escenario industrial se articula con las metas del Plan de Eficiencia Energética.
- **Diversificación energética:** Fomenta el desarrollo de industria local para el ensamble de componentes críticos (ej. energías renovables, hidrógeno verde).
- **Infraestructura energética:** Promueve procesos avanzados como la transformación de hidrógeno y biomasa en combustibles y productos químicos, evaluando la adaptación de infraestructura existente y la planificación de nuevas capacidades.
- **Innovación y desarrollo:** Todas las apuestas del plan generan oportunidades para investigación, formación tecnológica y adopción de soluciones disruptivas, alineadas con las prioridades del Plan de Innovación.

Este enfoque integrado asegura una transición industrial sostenible, maximizando el uso eficiente de recursos y fortaleciendo la competitividad del país en el contexto global.

El presente plan estratégico propone entonces apuestas de industrialización vinculadas a la recuperación de materiales, la industria siderúrgica, la producción de fertilizantes verdes, el hidrógeno bajo en carbono, las biorrefinerías, el ensamblaje de vehículos eléctricos y la economía circular. Estas apuestas permiten alinear el desarrollo industrial con los compromisos climáticos, asegurando un crecimiento económico sostenible y resiliente, y contribuyen directamente a:

- Preparar al país para los impactos de la transición energética, al fortalecer cadenas productivas resilientes y reducir la dependencia de importaciones.
- Promover una transición justa e inclusiva, generando empleo local y reconversión laboral en sectores estratégicos.
- Garantizar el suministro energético, mediante la producción nacional de insumos críticos para infraestructura renovable y transporte limpio.
- Optimizar el uso de recursos, impulsando la circularidad de materiales como acero, cobre y aluminio en sectores clave.
- Diversificar la canasta energética, con hidrógeno bajo en carbono, amoníaco verde y bioenergías.
- Fomentar la transformación del sector minero-energético, integrando tecnologías limpias en procesos industriales.
- Promover la diversificación económica, mediante nuevas industrias verdes adaptadas a las necesidades territoriales.
- Asegurar la formalización y cobertura energética, democratizando el acceso a soluciones sostenibles.
- Impulsar cambios de comportamiento, al incentivar el consumo eficiente de materiales y energía en toda la cadena productiva.

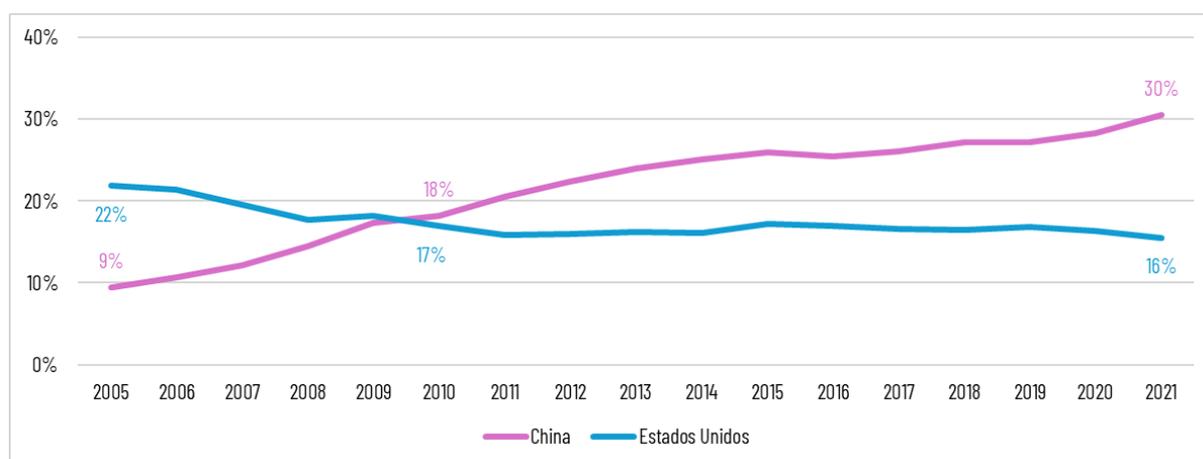
2. CONTEXTO INTERNACIONAL DE LA INDUSTRIALIZACIÓN

La industrialización global ha sido el pulso que ha marcado el ritmo del desarrollo económico desde hace dos siglos. Hoy el mundo se encuentra en un punto de inflexión: crisis climática, disrupciones geopolíticas, escasez de recursos y una “ralentización” de la globalización tradicional han llevado a una reevaluación profunda de las estrategias productivas. Como señala la ONUDI, entramos en una nueva era de política industrial donde la innovación y la sostenibilidad son ejes fundamentales para convertir desafíos en soluciones duraderas (ONUDI, 2024).

Contexto histórico:

Desde el siglo XX, la industrialización fue sinónimo de progreso. Tras la Segunda Guerra Mundial, las economías avanzadas apostaron por políticas industriales proteccionistas, marcadas por planificación estatal y fuerte inversión en infraestructura. A partir de finales de los años 80, el paradigma neoliberal desplazó estas políticas, confiando en el libre comercio y la desregulación como motores de crecimiento. El principal promotor de este modelo fue Estados Unidos, país líder en el crecimiento económico en dicho periodo. Dicha apertura acentuó la terciarización y el traslado de la producción de bienes tangibles a Asia, especialmente a China. De esta manera China, junto con otros países del sudeste asiático, aprovecharon su mano de obra abundante y políticas pro exportadoras para atraer inversión y expandir rápidamente su producción industrial, concentrando la producción de bienes de consumo y consolidándose como la “fábrica del mundo”. Como resultado, la participación de Asia en la manufactura global creció de forma vertiginosa: por ejemplo, la cuota de China en el valor agregado manufacturero mundial subió de apenas 9% en el año 2000 a alrededor del 30% en 2021, mientras que la de Estados Unidos se redujo del 22% al 16%, como se puede observar en el Gráfico 1.

Gráfico 2-1: Valor agregado de la manufactura (% del valor agregado mundial)



Fuente: Datos Banco Mundial.

En este período predominó un patrón de reprimarización en los países de América Latina, favorecido por los altos precios de los commodities en los mercados internacionales. Sin embargo, tras la crisis financiera de 2008, el “consenso de mercado” dejó de ofrecer respuestas ante la desindustrialización, la pérdida de empleos industriales de calidad y la fragilidad de las cadenas globales de suministro. Todo esto se agravó con la pandemia de COVID-19, el conflicto comercial entre Estados Unidos y China, y la guerra en Ucrania, exponiendo la vulnerabilidad de las cadenas de valor extendidas, y acelerando un giro hacia el proteccionismo pragmático. Durante estos eventos, medidas que inicialmente se anunciaron como temporales terminaron acumulándose y prolongándose: la proporción del comercio mundial cubierta por medidas restrictivas sobre importaciones pasó de apenas 0,6% en 2009 a cerca del 10% en 2023. En otras palabras, el período reciente ha visto un retorno paulatino de barreras comerciales y una mayor intervención estatal orientada a proteger sectores estratégicos, tras años en que prevaleció el libre comercio sin mayores fricciones.

Tendencias actuales:

Hoy el consenso es el regreso a cadenas de valor más cortas, más verdes y más seguras, cuya agenda se enfoca en tres ejes: El primero abarca el traslado de actividades productivas o de servicios a países geográficamente cercanos al principal mercado de consumo, y la reubicación hacia socios “confiables” o políticamente afines, aun cuando no estén tan cerca. Al respecto, la nueva administración de los Estados Unidos ha tomado la iniciativa y ha reinstalado los aranceles como instrumento de política: declaró la emergencia nacional y fijó un arancel base de 10% para todas las importaciones, con recargos “recíprocos” de hasta 54% para 57 socios, ampliando además los gravámenes sobre acero y aluminio. Adicionalmente, ha decretado que algunos productos deben tener contenido local obligatorio (“melt-and-pour”) (The White House, 2025). Así pues, se espera continuar con la tendencia hacia una mayor regionalización y localización de la producción para aumentar la resiliencia y reducir la dependencia de proveedores lejanos.

El segundo eje se centra en la producción sostenible, y dentro de este eje es la transición energética la que está redefiniendo las políticas industriales. Informes como el World Investment Report 2024 de la UNCTAD destacan que la inversión en industrias bajas en carbono ya supera los 1.7 billones de dólares anuales, pero su distribución sigue siendo asimétrica. Estados Unidos impulsa el Inflation Reduction Act (IRA) para promover las industrias verdes mientras se combate la inflación. Esta iniciativa ha atraído 200 mil millones de dólares en inversiones en fabricación de vehículos eléctricos y energías renovables (Brookings, 2024). Así mismo, diferentes países han impulsado iniciativas para impulsar la economía circular, especialmente de aquellos minerales críticos que sirven a la transición energética y que tienen alto potencial de valorizarse. Esto, a su vez, incluye el desarrollo de nuevos procesos de producción innovadores especialmente en países que apenas se van a sumar a esta tendencia.

Por su parte, la Unión Europea ha impulsado el Green Deal Industrial Plan, que subsidia tecnologías limpias como turbinas eólicas y electrolizadores, mientras enfrenta el desafío de reducir su dependencia del gas ruso. Destaca en maquinaria de precisión, automóviles premium y químicos sostenibles, con Alemania a la cabeza en exportaciones industriales

(1.3 billones de euros en 2023, según Eurostat). Estos sectores conviven con la presión por descarbonizar: la Agencia Internacional de Energía (AIE) proyecta que la demanda global de hidrógeno verde se multiplicará por seis hacia 2030, con la Unión Europea y Asia-Pacífico como principales demandantes.

El tercer eje se enfoca en la competencia de los gobiernos por atraer industrias estratégicas que den seguridad a las cadenas de valor. A este respecto, las nuevas tecnologías están tomando un protagonismo único en la industria impulsadas por la revolución de la Inteligencia Artificial (IA) y el Internet de las Cosas (IoT). Estados Unidos ha decidido proteger su industria de alta tecnología mediante restricciones a la exportación de tecnologías semiconductores, vitales en el desarrollo de la IA. Pero a su vez impulsa iniciativas como el CHIPS & Science Act, con inversiones por cerca de 52 mil millones de dólares en subsidios y créditos, para financiar proyectos de alta tecnología.

Por su parte, China profundiza su estrategia de producción de manufactura avanzada mediante el otorgamiento de subsidios tecnológicos y el desarrollo de una industria nacional de inteligencia artificial. China domina la manufactura textil, electrónica de consumo y baterías para vehículos eléctricos, controlando el 80% de la producción global de paneles solares y el 60% de los componentes de litio (OCDE, 2023). Adicionalmente, China también ha desarrollado una enorme iniciativa de infraestructura global conocida como “La Nueva Ruta de la Seda”, con la cual otorga financiación a diferentes países para facilitar acuerdos estratégicos sobre acceso a commodities y tierras raras. Todo esto a la vez que se generan tensiones multilaterales sobre reglas de la Organización Mundial de Comercio (OMC).

A nivel regional, en América Latina, el sector industrial enfrenta un panorama desigual. México consolida su rol en manufactura automotriz y aeronáutica, mientras Brasil expande su producción de biocombustibles y minerales críticos (como el niobio, donde controla el 85% del mercado global). No obstante, la región sigue rezagada en innovación: sólo el 0.7% del PIB latinoamericano se destina a I+D, frente al 2.5% en la OCDE (CEPAL, 2024). Proyecciones del BID sugieren que, con políticas activas en infraestructura y formación técnica, Latinoamérica podría capturar hasta el 5% de la inversión global en nearshoring para 2030, especialmente en textiles, agroindustria y minería verde.

Estrategias:

En el contexto actual los países que quieran estar a la vanguardia del escenario industrial serán aquellos que entiendan que la política industrial moderna debe ser sistémica, alineada con megatendencias como la transición energética, la revolución digital y los cambios demográficos. El Nobel Joseph Stiglitz (2013) denomina este giro un “nuevo pacto industrial”, en el que los objetivos públicos marcan la dirección y la cooperación Estado-empresa aporta escala y velocidad. Mariana Mazzucato (2013) lo complementa con su enfoque de misiones, que encauza la innovación hacia retos verificables (neutralidad de carbono, economía circular, salud) y mide el éxito por resultados, no por sectores protegidos. Sobre esa base, la literatura acuñó *slowbalization* para describir la desglobalización selectiva que acompaña al *reshoring* y a los polos regionales de

suministro. La lógica ha cambiado: de proteger industrias nacientes a salvaguardar capacidades tecnológicas críticas.

Las lecciones para Colombia son claras. Primero, reindustrializar no implica volver al pasado, sino construir capacidades en sectores estratégicos vinculados a la transición energética (como el hidrógeno verde, las biorefinerías o la industria de componentes eléctricos). Segundo, se requiere una política industrial que combine inversión pública inteligente, regulación pro-innovación y articulación territorial. Tercero, el proteccionismo inteligente no es cerrar la economía, sino desarrollar normas que favorezcan el valor agregado nacional y la sofisticación tecnológica.

3. CONTEXTO NACIONAL DE LA INDUSTRIALIZACIÓN

Contexto histórico:

En Colombia la evolución de la industria ha estado influenciada por aspectos como la geografía, la institucionalidad y los ciclos políticos y económicos globales. A finales del siglo XIX y comienzos del XX, la economía colombiana dio un giro desde una base exportadora cafetero-minera hacia una incipiente industrialización, particularmente en manufactura liviana. Este proceso, descrito por Kalmanovitz (2010) como el tránsito "de la mula a la máquina", fue favorecido por la construcción de ferrocarriles y la modernización de los puertos, que permitieron conectar los centros productivos con los mercados internacionales. En regiones como Antioquia, el auge de la industria textil entre 1880 y 1930 fue acompañado por el desarrollo de la infraestructura hidroeléctrica, lo que consolidó a Medellín como el primer polo industrial del país.

Entre 1930 y 1974, se dió un período de sustitución de importaciones, en el que el Estado impulsó la industria mediante políticas arancelarias, incentivos fiscales y la creación de empresas públicas. Según Ocampo (2015), este fue el periodo de mayor dinamismo industrial, caracterizado por un crecimiento sostenido de la producción manufacturera, el fortalecimiento del mercado interno y el surgimiento de una clase empresarial nacional. Sin embargo, la crisis de la deuda en los años 80, seguida por las reformas estructurales de los años 90 (como el Plan Vallejo, la apertura comercial de 1991 y los Tratados de Libre Comercio en los 2000) expusieron al sector a una competencia externa que debilitó su capacidad de adaptación. Aunque hubo una oleada de inversión extranjera directa, esta se concentró principalmente en los sectores extractivos y financieros.

A partir de 2009, la industria colombiana enfrentó un proceso de reprimarización y estancamiento productivo, reflejado en la caída de la participación manufacturera en el PIB del 13% al 11%. Esta desindustrialización parcial trajo consigo una especialización creciente en bienes básicos, especialmente combustibles y minerales, en detrimento de sectores con mayor valor agregado. Como señalan Kalmanovitz y Ocampo, el debilitamiento del aparato productivo ha limitado la diversificación de la economía y ha incrementado su

vulnerabilidad a los choques externos, lo que subraya la necesidad de una política industrial activa que fomente la innovación, el encadenamiento productivo y la sofisticación exportadora.

Tendencias actuales:

La reindustrialización en Colombia, guiada por el CONPES 4129 (2023), busca modernizar la industria mediante tecnologías avanzadas (Industria 4.0), fortaleciendo sectores estratégicos como la agroindustria y promoviendo Mipymes regionales para generar empleo y valor agregado. Esta política se sustenta en documentos previos como el CONPES 3866 (2016), que abordó fallas de mercado, y el CONPES 3934 (2018), que impulsó modelos sostenibles (bioeconomía, economía circular). Además, el CONPES 4075 (2022) aportó estrategias para la transición energética, clave para una industria competitiva y baja en carbono. Estos esfuerzos se alinean con el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, especialmente en transformación productiva y convergencia regional, priorizando territorios con potencial industrial.

El enfoque también integra seguridad humana, justicia social y derecho a la alimentación, asegurando que el crecimiento industrial reduzca desigualdades. La política no solo incentiva la productividad, sino que fomenta cadenas agroindustriales sostenibles y el desarrollo de Mipymes, fundamentales para dinamizar economías locales. Así, la reindustrialización se justifica como una estrategia integral que combina innovación, inclusión y sostenibilidad, respaldada por marcos normativos previos y alineada con las necesidades territoriales y climáticas del país.

Estrategias:

Superar las restricciones estructurales que han limitado el desarrollo industrial de Colombia exige una estrategia integral con foco en productividad, infraestructura y equidad territorial. Frente a la persistente baja productividad del sector manufacturero, la cual se mantiene por debajo del promedio nacional (DANE, 2023), se requiere una agenda centrada en la adopción de tecnologías avanzadas, el cierre de brechas en capital humano y la sofisticación de procesos. Esto implica ampliar programas de formación técnica especializada en alianza con empresas privadas, promover la extensión tecnológica para Mipymes y escalar incentivos para la transformación digital y energética de la industria.

El segundo frente prioritario es la reducción del costo logístico, que representa alrededor del 14% del PIB (MinTransporte, 2022; Banco Mundial, 2022) y limita la competitividad especialmente fuera de los principales centros urbanos. Para ello, la industria nacional necesita desarrollar corredores logísticos eficientes y sostenibles, integrar plataformas digitales de trazabilidad y el fortalecimiento de la infraestructura intermodal con criterios de bajo carbono. Esto último requiere la renovación más rápida de la flota de transporte en Colombia. Estas acciones permitirán, a la vez que se reducen los costos operativos, también facilitar el surgimiento de nuevos nodos productivos en regiones con potencial desaprovechado.

Finalmente, la actual concentración regional del valor agregado manufacturero (con más del 60% localizado en Antioquia, Cundinamarca y Valle del Cauca, según cifras del DANE)

requiere una política industrial territorializada que diversifique la geografía productiva. Esto incluye el fortalecimiento de industrias con vocación regional como la agroindustria, la bioeconomía, los fertilizantes verdes, la industria naval y la recuperación de minerales críticos. La implementación de instrumentos diferenciados por región, combinados con infraestructura habilitante y mecanismos de compra pública con enfoque local, permitirá democratizar las oportunidades industriales y conectar la política productiva con la agenda ambiental, laboral y de cohesión territorial.

4. APUESTAS ESTRATÉGICAS

En el marco del contexto nacional y la visión del Plan Estratégico de Industrialización, se han identificado un conjunto de apuestas estratégicas que buscan orientar la acción sectorial hacia una transformación productiva sostenible e inclusiva. Estas apuestas surgen tanto del análisis del contexto actual y de las prioridades nacionales, como de las propuestas recibidas por parte de externos (industria, academia, agremiaciones, entre otros) en la fase inicial de construcción del plan y se articulan con los objetivos de largo plazo del sector energético. A continuación, se presentan las apuestas que también responden a señales y necesidades identificadas en otros planes estratégicos, generando oportunidades de articulación y coherencia entre iniciativas.

Apuesta estratégica 1	
Impulsar estrategias de mejora del proceso de desintegración de vehículos con el fin de contribuir a la renovación de la flota del sector transporte, así como aportar a la industria siderúrgica en la recuperación del acero y otros materiales que puedan enmarcarse en un esquema de economía circular.	
Descripción	Metas sugeridas y Recomendaciones para su implementación
Impulsar estrategias de mejora del proceso de desintegración de vehículos con el fin de contribuir a la renovación de la flota del sector transporte, así como aportar a la industria siderúrgica en la recuperación del acero y otros materiales que puedan enmarcarse en un esquema de economía circular. La disposición final del parque automotor que sale de circulación cuenta con regulación y empresas avaladas para el proceso de chatarrización, sin embargo no se está	<p>Inicio estimado de implementación</p> <p>Iniciando en 2026, se estima una consolidación en 10 años</p> <ul style="list-style-type: none"> Tasa anual de desintegración en revisión - A publicarse con Tomo II del PEN. <p>Corto plazo (0-10 años)</p> <ul style="list-style-type: none"> Fortalecer el marco legal de chatarrización para incluir metas específicas de desintegración por tipo de vehículo y antigüedad. Establecer lineamientos para trazabilidad de materiales recuperados. Introducir mejoras tecnológicas en separación de materiales (acero, aluminio, baterías, fluidos).

aprovechando la capacidad instalada para tal fin y continúan en circulación vehículos que por normatividad ambiental y eficiencia no deberían hacer parte de la flota. Se busca que en los próximos años se pueda aumentar la recuperación de metales y otros materiales de alta demanda, de tal manera que se disminuya la necesidad de almacenamiento de los vehículos desensamblados, se promueva el recambio tecnológico y se cree una nueva oferta de metales como el acero.

Problemática por solucionar y justificación

Colombia presenta una baja tasa de desintegración vehicular, lo que se refleja en la permanencia de vehículos con más de 30 años de antigüedad que evaden su salida del parque automotor. Aunque existen normas sobre residuos, falta un marco regulatorio específico que fomente el reciclaje de metales. Muchas industrias prefieren materias primas vírgenes por dudas sobre la calidad de los reciclados y por los costos que implica adaptar procesos, tecnologías o equipos. Esta situación plantea desafíos para la economía circular, limita el aprovechamiento de materiales y genera impactos sociales, ambientales y logísticos.

- Formular estrategias que garanticen la renovación vehicular articuladas con el proceso de desintegración.
- Evaluar la pertinencia de crear mecanismos que incentiven la utilización de acero reciclado en procesos industriales.
- Desarrollo de sistemas logísticos para transporte eficiente de vehículos al final de su vida útil hacia los centros de desintegración.

Mediano plazo (10-20 años)

- Obligatoriedad progresiva de recuperación de materiales críticos y separación en origen.
- Incentivos para industrias que integren materiales reciclados con reducción comprobada en consumo energético.
- Capacitación de recurso humano involucrado en la manipulación y clasificación de residuos metálicos
- Interconexión logística con centros de transformación energética (biogás, cogeneración, etc.).

Largo plazo (20-30 años)

- Implementación de sistemas automatizados e inteligentes para desintegración selectiva de vehículos.
- Para 2050, Colombia contará con un sistema integral de desintegración vehicular que garantice la renovación sostenible de la flota, maximizando la recuperación de materiales estratégicos (como metales, polímeros y tierras raras) mediante procesos industrializados y trazables. Este modelo operará con una red logística eficiente de acopio y clasificación de vehículos al final de su vida útil, priorizando centros de transformación especializados con tecnologías de desensamblaje automatizado, reciclaje avanzado y valorización de residuos. Los materiales recuperados se reintegrarán en cadenas de abastecimiento directo para su uso en industrias manufactureras, de construcción o energéticas, cerrando el ciclo productivo bajo criterios de economía circular. El sistema estará respaldado por marcos normativos que incentiven la responsabilidad extendida del productor, infraestructura regionalizada y alianzas público-privadas, asegurando una tasa de recuperación superior al 95% y reduciendo la dependencia de materias primas vírgenes.

Apuesta estratégica 2

Fomentar la implementación de biorrefinerías para la producción tanto de combustibles líquidos y gaseosos, como de otros productos químicos de interés a partir de la biomasa.

Descripción	Metas y Recomendaciones para su implementación
<p>Colombia cuenta con disponibilidad de diversos tipos de biomasa que mediante procesos termoquímicos o bioquímicos pueden ser transformados en combustibles líquidos y gaseosos para aportar a la sustitución gradual de mezclas con los combustibles provenientes de fuentes fósiles. Así mismo, es posible obtener de dicha biomasa otros productos de interés para sustituir productos provenientes de la refinación del petróleo, como biopolímeros. La implementación de biorrefinerías puede contribuir tanto a la descarbonización de la industria, como a la reducción de importación de materias primas.</p> <p style="background-color: #90EE90; padding: 2px;">Problemática por solucionar y justificación</p> <p>En Colombia la industria química se deriva principalmente de combustibles fósiles lo que implica la generación de emisiones de GEI, una variabilidad de precios asociada a los precios internacionales de los recursos fósiles y dependencia del hallazgo permanente de nuevos yacimientos. Por otro lado, a pesar de la abundante disponibilidad de biomasa residual en distintas regiones del país, esta no está siendo aprovechada de forma sistemática ni tecnológicamente avanzada. La falta de transformación de esta biomasa en productos energéticos y químicos representa una pérdida de valor para las economías regionales y contribuye a la persistencia de prácticas contaminantes, además de obstaculizar los esfuerzos por</p>	<p style="background-color: #90EE90; padding: 2px;">Inicio estimado de implementación</p> <p>Inicio para el año 2026, con temporalidad de 30 años.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Metas específicas en revisión a publicarse en el Tomo II del PEN. <p style="background-color: #90EE90; padding: 2px;">Corto plazo (0-10 años)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Evaluar la pertinencia e Identificar oportunidades de fortalecimiento de la capacidad de producción actual de biocombustibles convencionales (bioetanol, biodiesel), garantizando la compatibilidad con una trayectoria de electrificación del transporte terrestre. ● Diseñar una cadena logística para la gestión de biomasa residual de gran disponibilidad que sean susceptibles de transformación por procesos bioquímicos o termoquímicos en biocombustibles avanzados. ● Implementar la primera planta de producción de SAF en el país, articulada con la actual producción de biocombustibles. ● Promover la investigación y desarrollo de tecnologías de biorrefinería para la producción de combustibles líquidos, gaseosos y productos químicos. ● Desarrollar un marco normativo integral para biorrefinerías que regule los estándares de sostenibilidad, promueva la trazabilidad de la biomasa y establezca incentivos para proyectos que aporten a la economía circular y la descarbonización. ● Reducir la dependencia de importaciones de materias primas para la industria química y energética, sustituyéndolas por insumos producidos localmente. <p style="background-color: #90EE90; padding: 2px;">Mediano plazo (10 - 20 años)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Escalonar la producción de biocombustibles avanzados (ej.: biometanol, SAF, etc.) para cubrir un mayor porcentaje de la demanda nacional de combustibles líquidos, integrando cadenas de

reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

La implementación de biorrefinerías en Colombia representa una oportunidad estratégica para fortalecer el desarrollo económico de las regiones mediante el aprovechamiento de la biomasa residual agrícola, forestal y agroindustrial. Este modelo industrial permitiría diversificar la matriz energética del país con combustibles líquidos y gaseosos de origen renovable, avanzar en la sustitución de derivados fósiles mediante bioproductos como biopolímeros, y dinamizar cadenas productivas locales. Además de su impacto positivo en la reducción de emisiones y la descarbonización del sector industrial, las biorrefinerías generarían empleo rural, mejorarían las condiciones sociales en zonas productoras de biomasa y contribuirían a una gestión más sostenible de los recursos naturales.

suministro con agricultores y forestales.

- Desarrollar clústeres regionales de biorrefinerías especializadas según tipo de biomasa (caña de azúcar en Valle, residuos forestales en Chocó, palma en Meta), con infraestructura logística compartida.
- Instalar y poner en operación biorrefinerías regionales multipropósito en zonas estratégicas con alta disponibilidad de biomasa residual (e.g. Caribe, Llanos, Eje Cafetero, Amazonía, Valle del Cauca), enfocadas en la producción de biocombustibles líquidos y gaseosos, biopolímeros y productos químicos de alto valor.
- Impulsar la producción masiva de bioproductos (bioplásticos, ácidos orgánicos) para reemplazar el 30% de los derivados del petróleo en industrias de empaques y químicos.
- Implementar sistemas de captura de CO₂ en biorrefinerías para garantizar balances negativos de emisiones, vinculándolos a mercados de carbono.
- Incorporar a pequeños y medianos productores rurales en cadenas de valor de biomasa, mediante esquemas asociativos y de contratación justa que garanticen ingresos sostenibles y generen desarrollo rural inclusivo.
- Crear un marco normativo para biocombustibles de 3^a generación (algas, residuos urbanos), con incentivos a I+D y estandarización de mezclas.

Largo plazo (20 - 30 años)

- Aumentar la producción nacional de combustibles renovables para transporte pesado (biogás licuado, hidrógeno bio-basado), para lograr una mayor cobertura de la demanda.
- Integrar biorrefinerías con energías renovables (eólica/solar) para operar plantas 100% descarbonizadas, usando excedentes en electrólisis o bombeo.
- Desarrollar la capacidad para exportar bioproductos de alto valor (nanocelulosas, enzimas) a mercados globales, posicionando a Colombia como hub bioindustrial.
- Adoptar economía circular en flujos de biomasa: Residuos de biorrefinerías como insumos para agricultura (biofertilizantes) o construcción (biomateriales).
- Establecer una red nacional de "biorrefinerías

	modulares" para zonas rurales, procesando biomasa local y generando empleo en economías regionales.
--	---

Apuesta estratégica 3

Promover la industria local orientada a la fabricación y ensamble de componentes integrados en tecnologías asociadas a la transición energética como por ejemplo ensamble de vehículos eléctricos, ensamble de sistemas fotovoltaicos, entre otros.

Descripción	Metas y Recomendaciones para su implementación
<p>La apuesta tiene un enfoque en el ensamble de vehículos eléctricos e híbridos, así como de sistemas fotovoltaicos y otras aplicaciones limpias, aprovechando componentes especializados del exterior e impulsando al mismo tiempo la participación de pequeñas y medianas empresas nacionales en la producción de partes y servicios complementarios, y garantizando la transferencia de conocimientos que fortalezca las capacidades nacionales.</p> <p>Además, representa una oportunidad para reconvertir gradualmente la infraestructura existente de ensamble de vehículos de combustión hacia plataformas sostenibles, generando empleo calificado, fortaleciendo capacidades tecnológicas locales y estimulando la competitividad industrial del país en los mercados emergentes de tecnologías limpias.</p> <p style="background-color: #90ee90;">Problemática por solucionar y justificación</p> <p>Colombia enfrenta múltiples desafíos que limitan su</p>	<p style="background-color: #90ee90;">Inicio estimado de implementación</p> <p>Inicio para el año 2025, con temporalidad de 20 años.</p> <p style="background-color: #90ee90;">Corto plazo (0-5 años)</p> <ul style="list-style-type: none"> Desarrollar un marco normativo habilitante que incluya incentivos tributarios, arancelarios y de financiamiento para proyectos de ensamble y fabricación local de tecnologías limpias, como paneles fotovoltaicos, partes para vehículos eléctricos, etc , en el marco de la política de reindustrialización que establezca competencias claras a las entidades públicas y subsane las actuales desventajas competitivas de las tecnologías importadas, en el marco de lo establecido en la ley 1715 y 2099. Establecer programas de formación técnica especializada en manufactura avanzada, electromovilidad, energías renovables e ingeniería de componentes, en alianza con universidades e institutos técnicos. Reconversión gradual de plantas de ensamblaje existentes orientadas a vehículos de combustión hacia la producción de vehículos eléctricos e híbridos, mediante incentivos y acompañamiento técnico. Establecer líneas de financiamiento preferencial para empresas dedicadas a la fabricación de partes y componentes, así como para aquellas involucradas en el ensamblaje de tecnologías de bajas emisiones. Fomentar la inversión extranjera directa en sectores clave mediante alianzas estratégicas con empresas tecnológicas globales que incluyan transferencia de conocimiento. <p style="background-color: #90ee90;">Mediano plazo (6 - 20 años)</p>

capacidad para avanzar en la transición hacia tecnologías de bajas emisiones, especialmente en el sector de movilidad y generación distribuida. La dependencia de importaciones de componentes críticos, la falta de infraestructura tecnológica, el acceso limitado a financiamiento y la escasa formación especializada han restringido el desarrollo de una industria nacional sólida en torno al ensamble de vehículos eléctricos, híbridos y sistemas energéticos limpios. Además, el marco regulatorio aún presenta vacíos para fomentar la innovación local, mientras que la competencia internacional y el bajo nivel de investigación y desarrollo limitan la capacidad del país para posicionarse en este mercado emergente de forma competitiva y sostenible. Impulsar la industria local de fabricación y ensamble permitiría revertir estas limitaciones estructurales, generando empleo de calidad, atrayendo inversión y fortaleciendo las cadenas productivas nacionales. El desarrollo de parques industriales especializados, redes logísticas y centros de I+D enfocados en movilidad eléctrica, eficiencia energética y manufactura avanzada, sentaría las bases para que Colombia no solo adopte tecnologías limpias, sino que también las produzca. Esto facilitaría una reconversión de la infraestructura actual, reduciría la dependencia de combustibles fósiles, y posicionaría al país como un referente regional en la producción de soluciones tecnológicas sostenibles, alineándose con los objetivos de

- Reconversión tecnológica del 100% de las plantas de ensamblaje existentes: Adaptar la infraestructura de manufactura vehicular del país para producir vehículos eléctricos e híbridos, permitiendo también la integración de componentes nacionales en al menos el 30% del valor del producto final.
- Consolidar clústeres regionales de manufactura y ensamble, promoviendo sinergias entre empresas, centros de investigación y gobiernos locales.
- Ampliar la infraestructura industrial con nuevos parques tecnológicos e industriales que integren generación de energías renovables, logística verde y capacidades de innovación.
- Modernizar las plantas industriales dedicadas a la fabricación de componentes para el transporte y la industria con tecnologías para la fabricación avanzada
- Desarrollar normas técnicas y ambientales específicas para la producción, ensamblaje y disposición final de tecnologías de bajas emisiones, armonizadas con estándares internacionales.
- Generar empleo formal y especializado en manufactura, diseño, ingeniería, logística e investigación vinculada al sector, con un enfoque regional que promueva el desarrollo económico en diferentes zonas del país.
- Consolidar a Colombia como proveedor regional de soluciones tecnológicas limpias ensambladas localmente, ampliando mercados de exportación en América Latina.

Largo plazo (20 - 30 años)

- Lograr autonomía tecnológica en al menos un conjunto de componentes críticos para vehículos eléctricos o sistemas de energía, como baterías, inversores o motores eléctricos.
- Asegurar que los componentes fabricados localmente cumplan con normativas internacionales de sostenibilidad y eficiencia energética.
- Asegurar una cadena de suministro nacional robusta y sostenible, basada en criterios de economía circular, eficiencia energética y generación de valor local.
- Desarrollar capacidades industriales para innovación propia mediante el fortalecimiento continuo de I+D, patentes locales y empresas tecnológicas nacionales.
- Establecer centros de investigación colaborativos para el desarrollo de nuevas tecnologías de componentes sostenibles.
- Participación nacional en cadenas de valor

<p>descarbonización y desarrollo industrial inclusivo.</p>	<p>internacionales: Lograr que Colombia exporte tecnologías de bajas emisiones ensambladas localmente a al menos cinco países de América Latina, con una industria nacional competitiva y conectada a redes globales de innovación.</p>
--	---

<h3 style="text-align: center;">Apuesta estratégica 4</h3>	
<p>Impulsar el desarrollo de industrias basadas en la economía circular para la separación, aprovechamiento y valorización de materiales provenientes de residuos de fuentes de energía renovable implementadas en el país (baterías, paneles solares, aspas y aerogeneradores).</p>	
Descripción	Recomendaciones para su implementación
<p>La disposición final de materiales provenientes de tecnologías de energías renovables en desuso representa un proceso de alto impacto ambiental, particularmente en lo relacionado con minerales críticos para la transición energética, como el litio. En este contexto, la recuperación de dichos materiales no solo permite extender su ciclo de vida y reducir su huella ambiental, sino que también impulsa la adopción de procesos productivos más sostenibles.</p> <p>Problemática por solucionar y justificación</p> <p>La disposición final de materiales provenientes de tecnologías de energías renovables en desuso representa un proceso de alto impacto ambiental, particularmente en lo relacionado con minerales críticos para la transición energética, como el litio. En este contexto, la recuperación de dichos materiales no solo permite extender su ciclo de vida y reducir su huella ambiental,</p>	<p>Inicio estimado de implementación</p> <p>Inicio para el año 2026, con temporalidad de 30 años.</p> <p>Corto plazo (0-10 años)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Diseñar una hoja de ruta nacional para el desarrollo de infraestructura de reciclaje de residuos provenientes de tecnologías de energías renovables (baterías, paneles, aspas, aerogeneradores), validada por al menos 5 entidades del sector público, privado y académico antes de diciembre de 2030. ● Implementar un marco normativo habilitante para la gestión diferenciada de residuos de energías renovables y la potenciación de Colombia como un eslabón clave en la cadena de suministro global de materiales críticos. ● Conformar una mesa técnica interinstitucional con participación activa de al menos 10 actores del sector privado, académico, gubernamental y de cooperación internacional, para guiar el diseño del sistema nacional de aprovechamiento de materiales, antes de diciembre de 2032. ● Realizar al menos 3 estudios de factibilidad técnico-económica y ambiental sobre el aprovechamiento de litio, grafito, cobre y níquel en residuos energéticos, en zonas estratégicas del país, finalizados y publicados antes de diciembre de 2033. Estos estudios deberán integrar dentro de sus análisis la ubicación geográfica de la infraestructura crítica para el proceso, de tal manera que promueva la descentralización y promueva la generación de empleo justo especialmente para poblaciones vulnerables.

sino que también impulsa la adopción de procesos productivos más sostenibles.

Sin embargo, Colombia aún carece de una infraestructura industrial adecuada y costo-efectiva para el procesamiento de estos materiales. Esta iniciativa busca precisamente promover su desarrollo, con el objetivo de capitalizar la creciente demanda y valorización de minerales estratégicos. Se estima que, para 2040, la demanda de litio podría aumentar más de 40 veces, mientras que otros minerales como el grafito, el cobre y el níquel también registrarán incrementos significativos.

En este escenario, Colombia tiene la oportunidad de integrarse a la cadena global de suministro mediante la recuperación y separación de estos materiales, reintroduciéndolos en el ciclo productivo y posicionándose como un actor relevante en la economía circular de la transición energética.

- Diseñar y adoptar el marco normativo habilitante para la gestión diferenciada de residuos de tecnologías renovables, articulado con MinAmbiente, MinEnergía y MinComercio, y presentado como proyecto de decreto antes de diciembre de 2037.
- Garantizar la recolección, procesamiento, y aprovechamiento de cierto porcentaje de los residuos de energías renovables producidos en el país, reduciendo así la contaminación y las emisiones de CO₂ a la atmósfera.
- Generar empleos remunerados de manera justa en el sector del reciclaje de partes y materiales de energías renovables, especialmente en poblaciones vulnerables.

Acciones mediano plazo (10 - 20 años)

- Generar la capacidad instalada para la recolección, el procesamiento y el aprovechamiento de por lo menos 100.000 toneladas anuales de residuos de energías renovables.
- Establecer y poner en operación una planta piloto nacional para el reciclaje de residuos de energías renovables, con recuperación efectiva de minerales estratégicos.
- Capacitar y certificar técnicos e ingenieros colombianos en tecnologías de separación, recuperación y valorización de materiales críticos provenientes de energías renovables, mediante alianzas con el SENA y universidades.
- Desarrollar una red de centros regionales de acopio y pre-procesamiento con al menos 3 centros operativos en regiones estratégicas (Andina, Caribe, Pacífica), conectados con la planta piloto, antes de diciembre de 2047.

Acciones largo plazo (20 - 30 años)

- Desarrollar una política de sustitución tecnológica progresiva, que asegure que al menos el 60% de las baterías eléctricas en desuso sean reemplazadas por nuevas unidades con componentes reciclados nacionales antes de 2050.
- Duplicar la capacidad instalada de procesamiento nacional de residuos de tecnologías renovables respecto al año 2028, con eficiencia superior al 70% en separación de materiales estratégicos.
- Integrar a Colombia como proveedor en al menos una cadena regional o global de suministro de materiales reciclados estratégicos para la transición energética

	(litio, cobre, níquel), mediante acuerdos comerciales o industriales.
--	---

Apuesta estratégica 5	
Promover la recuperación de componentes metálicos (cobre y aluminio) para su reintegración a la cadena de valor en la industria energética.	
Descripción	Recomendaciones para su implementación
<p>Actualmente, estos materiales, esenciales para la transición energética, están siendo descartados, desperdiciando su valor económico y generando impactos ambientales negativos. La reintegración eficiente al ciclo productivo del cobre y el aluminio, permitirá disminuir dependencia de la extracción de dichos materiales, reducir la dependencia de importaciones y fortalecer una economía circular. De igual forma propiciará la reducción de emisiones, menores costos productivos y una mayor sostenibilidad energética a nivel nacional.</p> <p>Problemática por solucionar y justificación</p> <p>En Colombia, la mayoría de los materiales utilizados en la fabricación de componentes metálicos, como el cobre, níquel, aluminio, silicio y acero, son de origen importado. A excepción del níquel, estos insumos presentan limitaciones significativas para atender de manera eficiente la demanda del sector industrial en el corto y mediano plazo, lo que representa un desafío estratégico para el</p>	<p>Inicio estimado de implementación</p> <p>Inicio para el año 2028, con temporalidad de 15 años.</p> <p>Corto plazo (0-10 años)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Articulación entre las industrias que generan residuos de cobre y aluminio. ● Incrementar el porcentaje de recuperación del cobre y aluminio. ● Desarrollar programas de formación técnica y profesional (cursos, carreras tecnológicas y maestrías) enfocados en reciclaje de metales, economía circular y minería urbana, en alianza con SENA, universidades y centros de investigación, para cubrir toda la cadena de valor (desde recolección hasta refinación secundaria). ● Diseñar e implementar una estrategia nacional de recuperación de cobre y aluminio. ● Consolidar una política pública específica de economía circular para metales estratégicos (como el cobre, níquel, aluminio, silicio y acero) en el sector energético, articulada con la Estrategia Nacional de Economía Circular y la transición energética justa. <p>Mediano plazo (10 - 20 años)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Desarrollar un marco normativo y estándares para la integración de cobre recuperado a líneas de transmisión dentro del sector energético y el aluminio recuperado a la producción de piezas para el ensamble de paneles fotovoltaicos, como parte de una estrategia de economía circular. ● Crear empleos en toda la cadena de recuperación de metales, desde centros de acopio y plantas de procesamiento hasta fabricantes de componentes energéticos, priorizando la inclusión de recicladores

desarrollo y fortalecimiento de la producción nacional.

En el marco del proceso de modernización del Sistema Eléctrico Colombiano, especialmente en lo relacionado con las redes del Sistema de Transmisión Nacional (STN), se ha identificado la necesidad de actualizar y fortalecer la infraestructura existente, atendiendo tanto requerimientos urgentes no resueltos como la obligación de planificar en función de la transición energética y los retos del cambio climático.

En este contexto, resulta prioritario promover la recuperación de componentes metálicos como el cobre, reconociendo su valor estratégico en la cadena de suministro de la industria energética. La proyección del aumento en la demanda de estos metales, impulsada por el crecimiento de la infraestructura eléctrica y la expansión de las redes de transmisión, exige una estrategia eficiente de aprovechamiento de materiales existentes, que contribuya a la sostenibilidad del sistema, la reducción de costos y el fortalecimiento de la economía circular en el sector eléctrico colombiano.

formales y la reconversión laboral de sectores tradicionales.

Largo plazo (20 - 30 años)

- Reducir la importación de cobre nuevo para uso en infraestructura eléctrica, gracias al aprovechamiento eficiente de cobre y aluminio recuperado.
- Reducir las emisiones de CO₂ mediante metas progresivas de uso de metales reciclados, regulación de residuos metálicos, integrando la recuperación de cobre y aluminio en los planes nacionales de descarbonización y economía circular.
- Desarrollar una economía diversificada, competitiva y sostenible en el marco de los siguientes enfoques:
 - Minimizar los impactos negativos de la minería primaria (uso de agua, energía y afectación ecosistémica).
 - Asegurar el abastecimiento de metales críticos para sectores como energía, transporte y manufactura, reduciendo costos e incertidumbres del mercado global.
 - Generar empleo y oportunidades locales en torno a nuevas cadenas de valor sostenibles.

Apuesta estratégica 6

Fomentar la incorporación del hidrógeno de bajas emisiones para la producción de energéticos y de sustancias químicas demandadas por la industria (PtoX).

Descripción

Actualmente la industria demanda hidrógeno para procesos como refinación y producción de fertilizantes y dicho hidrógeno es producido a partir de fuentes fósiles, puesto que para descarbonizar estos sectores, es pertinente implementar procesos de producción a partir de energías renovables o incorporar sistemas de captura de CO₂ a los procesos actuales, así como implementar nuevas rutas de producción de hidrógeno a partir de energías renovables. La adopción del hidrógeno de bajas emisiones en la industria contribuirá a aumentar la oferta de este no solo para usos energéticos, sino para sus usos convencionales y propicia su participación en la producción de combustibles avanzados o sintéticos, así como en otras sustancias químicas demandadas por la industria, para que Colombia sea un actor activo en el contexto internacional.

Problemática por solucionar y justificación

En Colombia actualmente la demanda de hidrógeno se cubre con hidrógeno gris, producido a partir de combustibles fósiles, para abastecer sectores clave como la refinación y la fabricación de fertilizantes. Este modelo no solo implica un alto consumo de recursos no renovables, sino que también

Recomendaciones para su implementación

Inicio estimado de implementación

Inicio para el año 2025, con temporalidad de 30 años.

- Metas específicas en revisión a publicarse en el Tomo II del PEN..

Corto plazo (0-10 años)

- Priorizar los derivados del hidrógeno con mayor demanda en el mercado y cuyos precios estén más cercanos de ser competitivos, para crear clusters según el tipo de derivado demandado, por ejemplo cluster de fertilizantes.
- Identificar los incentivos o estrategias de promoción de la demanda de hidrógeno de bajas emisiones en usos no energéticos de difícil descarbonización, y establecer competencias claras en las entidades públicas a cargo de su implementación.
- Establecer un marco regulatorio específico para el uso de hidrógeno en la producción de productos químicos y combustibles sintéticos (PtX).
- Diseñar esquemas de acceso a financiación asociada a la descarbonización tales como bonos verdes, ofrecidas por organismos nacionales e internacionales.
- Establecer criterios de sostenibilidad ambiental para evitar la competencia por el agua, uso del suelo y biodiversidad.
- Implementar en coordinación con el SENA y Universidades, programas de formación técnica en hidrógeno y productos derivados para operarios, técnicos e ingenieros en las zonas estratégicas para la implementación de hubs, como la costa caribe, el Valle del Cauca, entre otros.

Mediano plazo (10 - 20 años)

- Establecer metas graduales obligatorias de sustitución progresiva de H₂ gris por H₂ bajo en emisiones en fertilizantes y refinación.
- Establecer tratados de reconocimiento mutuo de certificación de origen del hidrógeno y sus derivados para exportación que incluyan requisitos de sostenibilidad social y ambiental.

genera emisiones significativas de CO₂, agravando la huella de carbono del país y contribuyendo al cambio climático. La implementación de tecnologías Power-to-X, basadas en hidrógeno verde, azul o blanco, surge como una alternativa estratégica para descarbonizar estos procesos, sustituyendo el hidrógeno contaminante y permitiendo la producción sostenible de combustibles líquidos, gaseosos y otros derivados químicos demandados por la industria.

- Adoptar y consolidar un marco normativo específico para la regulación de la producción, transporte, transformación y exportación de derivados de hidrógeno, incluyendo certificación de origen renovable, seguridad industrial y normas de calidad internacional.
- Fomentar cooperaciones público-privadas nacionales o extranjeras para escalamiento de proyectos de biorrefinerías e instalaciones PtX y para transferencia de tecnología.
- Consolidar 4 hubs regionales Power-to-X plenamente operativos (Costa Caribe, Valle del Cauca, Santander y altiplano cundiboyacense), integrando producción de hidrógeno de bajas emisiones con instalaciones para la síntesis de amoníaco, metanol, combustibles sintéticos y otros productos químicos industriales.
- Reducir al menos un 70% las emisiones de CO₂ asociadas al uso de hidrógeno en la industria nacional mediante la sustitución progresiva del hidrógeno gris por opciones de bajas emisiones en sectores como fertilizantes, refinerías, y químicos.
- Generar programas de inclusión laboral para personal en zonas rurales e industriales clave.

Largo plazo (20 - 30 años)

- Consolidar prácticas de economía circular en procesos PtX (captura de CO₂ biogénico, reutilización de agua, uso de residuos como insumos).
- Generar empleos con distinto grado de especialización en las distintas etapas de las cadenas de valor asociadas a la producción de derivados del hidrógeno de bajas emisiones, priorizando la formación técnica en regiones donde se ubiquen los hubs y promoviendo la participación de comunidades locales en proyectos industriales. En el tomo II del PEN 2024 - 2054 se buscará presentar una proyección de empleos que se podrían generar en corto, mediano y largo plazo.
- Se formularán metas de sustitución de demanda nacional de combustibles fósiles en revisión - Ver tomo II del PEN 2024-2054.

Apuesta estratégica 7

Incentivar la producción de fertilizantes a nivel nacional aprovechando los recursos minerales (fósforo) y otras materias primas fuentes de compuestos nitrogenados, para el fortalecimiento de la agroindustria aportando a la seguridad alimentaria.

Descripción	Metas y Recomendaciones para su implementación
<p>La apuesta se plantea a través del impulso y mejora tecnológica de los procesos de extracción local de roca fosfórica, transformación del mineral, granulación, acidulación y generación de productos finales, aprovechando el amplio potencial en la extracción de fosfato y potasio con el que cuenta el país y, buscando sustituir la importación de nitrógeno y amoníaco</p> <p>Problemática por solucionar y justificación</p> <p>El sector agrícola en Colombia enfrenta una alta vulnerabilidad al depender casi totalmente de fertilizantes importados, lo que expone a los productores a la volatilidad de los precios internacionales. Esta situación encarece los costos de producción y, en consecuencia, afecta el precio de los alimentos. Desarrollar una industria nacional de fertilizantes articulada con el sector minero-energético, permitiría estabilizar costos, fortalecer la soberanía productiva y mejorar la seguridad alimentaria del país.</p>	<p>Inicio estimado de implementación</p> <p>Producción de fertilizantes para el año 2030, con temporalidad de 20 años.</p> <p>Corto plazo (0-10 años)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Actualizar el marco regulatorio habilitante para la exploración, extracción y procesamiento de roca fosfórica y sales potásicas, incluyendo normas ambientales específicas. ● Realizar estudios de viabilidad técnica y económica para identificar zonas prioritarias de extracción y transformación de minerales. ● Establecer mecanismos de financiación y promoción de inversión en plantas de transformación de fertilizantes. ● Diseñar planes maestros regionales de infraestructura para transporte, agua y energía, enfocados en núcleos de desarrollo minero-agroindustrial. ● Integrar la industria nacional de fertilizantes en la planeación energética del país como sector estratégico para la seguridad alimentaria. ● Invertir en formación técnica en procesos industriales de producción de fertilizantes y operación de tecnologías limpias. <p>Mediano plazo (10 - 20 años)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Desarrollar e implementar mejoras tecnológicas en procesos de acidulación, granulación y transformación con eficiencia energética. ● Construir y poner en operación plantas industriales de escala regional para procesar fósforo y potasio. ● Establecer mecanismos de trazabilidad y certificación para fertilizantes nacionales, incentivando su uso mediante programas agrícolas oficiales. ● Establecer un marco normativo que incentive la producción local de fertilizantes, con políticas de financiamiento preferencial para plantas de procesamiento. ● Implementar prácticas de minería sostenible para la extracción de roca fosfórica, con estándares ambientales (cero vertimientos tóxicos, restauración

	<p>ecológica) y sociales (empleo formal, capacitación técnica en regiones mineras), asegurando que el 100% de los proyectos cumplan criterios de sostenibilidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lograr que el 50% del nitrógeno utilizado en fertilizantes provenga de procesos nacionales (ej.: amoniaco verde con hidrógeno renovable), aprovechando sinergias con la transición energética, mientras se optimiza el uso de minerales locales en cadenas circulares. • Crear esquemas de alianzas público-privadas para garantizar inversión sostenible en toda la cadena de valor de producción de fertilizantes. <p>Largo plazo (20 - 30 años)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ampliar y modernizar la red logística nacional para exportación y distribución de fertilizantes a nivel regional. • Fortalecimiento Agroindustrial y Seguridad Alimentaria. Alcanzar una capacidad de producción nacional de fertilizantes fosfatados que cubra un mayor porcentaje de la demanda agrícola del país, reduciendo la dependencia de importaciones y aumentando la productividad de cultivos estratégicos (maíz, arroz, café), contribuyendo a la seguridad alimentaria.
--	--

Apuesta estratégica 8	
<p>Promover el fortalecimiento de la industria siderúrgica nacional para habilitar sinergias en la producción de aceros de distintas calidades para los sectores de transporte (movilidad férrea y fluvial/marítimo) y construcción en el país que aumenten la competitividad frente a productos importados.</p>	
Descripción	Metas sugeridas y recomendaciones para su implementación
<p>El desarrollo de la industria siderúrgica es clave para: (1) cubrir la demanda futura de acero asociada a la expansión de la red férrea nacional —prioritaria para descarbonizar el transporte de carga—, reduciendo la dependencia de importaciones; (2) consolidar cadenas de valor locales que</p>	<p>Inicio estimado de implementación</p> <p>Inicio para el año 2026, con temporalidad de 20 años</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar una cadena de valor integrada entre la industria siderúrgica y la industria férrea, promoviendo alianzas entre productores de acero y fabricantes de rieles, vagones y componentes ferroviarios. • Impulsar inversiones en tecnología siderúrgica para producir acero de alto rendimiento, bajo en carbono y

agreguen empleo e innovación tecnológica; y (3) sentar las bases, a largo plazo, para modernizar la industria y producir aceros especializados requeridos en proyectos de energías renovables (como estructuras para parques eólicos o soportes solares), alineando la capacidad productiva con los objetivos de transición energética y economía circular.

Problemática por solucionar y justificación

La disponibilidad de acero es un factor estratégico para impulsar sectores clave como la construcción y el transporte, por lo que el fortalecimiento de la industria siderúrgica nacional resulta esencial para garantizar un suministro continuo de este insumo; además, potenciar la producción local de acero contribuye al crecimiento económico multisectorial.

En la actualidad no se cuenta con una industria siderúrgica de alta capacidad de producción, por lo que la materia prima (coque) es producida a partir del carbón metalúrgico de las minas en Colombia y exportada, con el fin de producir el acero en la industrias especializadas internacionales, requiriendo la posterior importación de acero como producto terminado.

El fortalecimiento de la industria siderúrgica nacional puede ampliar las oportunidades de nuevos desarrollos y nuevos esquemas de negocio para el sector y la participación de nuevos actores.

adaptado a estándares internacionales para vías férreas.

Corto plazo (0-10 años)

- Incrementar la capacidad productiva nacional en 50% Incrementar la capacidad de producción nacional de acero en un 50% en los próximos 5 años, priorizando aceros estructurales y especiales utilizados en la infraestructura ferroviaria.
- Identificar acciones de corto plazo para sustituir al menos el reducir importaciones en un 20% de las exportaciones con producción nacional, mediante la integración de nueva oferta nacional.
- Crear 3 clústeres siderúrgico-ferroviarios en zonas estratégicas (Por ejemplo, en la Costa Caribe, región Andina , y Magdalena Medio), mediante el fomento la formación de talento humano especializado en procesos siderúrgicos aplicados al sector ferroviario, a través de convenios entre el SENA, universidades y empresas.

Mediano plazo (10-20 años)

- Reducir en un 40% las importaciones de acero para el sector férreo mediante sustitución por producción nacional antes de 2040.
- Producir al menos 500 mil toneladas anuales de acero especializado (rieles, perfiles estructurales, componentes ferroviarios).
- Satisfacer el 60% de la demanda férrea con acero nacional.

Largo plazo (20-30 años)

- Cobertura del 90–100% de la demanda interna del sector férreo con producción nacional.
- Exportar hasta 1 millón de toneladas/año de acero especializado para infraestructura férrea en América Latina.
- Incorporar al menos 30% de tecnologías limpias o bajo carbono en los procesos de producción siderúrgica.

Apuesta estratégica 9

Potencializar el desarrollo de la industria astillera nacional en el marco de la reactivación/recuperación y expansión del transporte de carga/personas fluvial, marítima y aérea a través de la construcción de navíos.

Descripción

La apuesta busca reducir las distancias recorridas y diversificar los modos de transporte de mercancías, promoviendo el crecimiento de los encadenamientos productivos asociados al sector.

Problemática por solucionar y justificación

El desarrollo de la industria naval en Colombia enfrenta múltiples desafíos, entre ellos limitaciones tecnológicas, baja demanda, restricciones para la navegación, deficiencias en infraestructura, dependencia de importaciones, desaprovechamiento del potencial fluvial y marítimo, impacto ambiental del transporte tradicional, falta de talento capacitado, barreras regulatorias y financieras, y baja competitividad regional.

Colombia cuenta con acceso a dos océanos (Atlántico y Pacífico), 24 departamentos con conexión directa o indirecta al sistema fluvial, y ríos como el Magdalena y el Cauca, que facilitan el transporte de mercancías y personas. Este posicionamiento estratégico permite reducir costos logísticos y competir en mercados internacionales. El desarrollo de astilleros puede integrarse con estas infraestructuras para el mantenimiento, reparación y

Metas sugeridas y recomendaciones para su implementación

Inicio estimado de implementación

Inicio para el año 2030, con temporalidad de 20 años.

- Implementar mecanismos de viabilización para proyectos del sector astillero, mediante estrategias de financiamiento, incentivos fiscales y esquemas de asociatividad (alianzas público-privadas con universidades, gobiernos locales y operadores logísticos), con el fin de impulsar la modernización tecnológica, la construcción de embarcaciones adaptadas a las condiciones hidrográficas nacionales y el acceso a certificaciones internacionales.

Corto plazo (0-10 años)

- Desarrollar una política de sustitución de flota que permita reemplazar al menos el 50% de las embarcaciones obsoletas en operación fluvial y marítima por navíos construidos localmente antes del 2035.
- Incrementar la capacidad instalada de los astilleros en 30%. Renovar el 20% de la flota fluvial en operación.
- Incorporar criterios de sostenibilidad ambiental en los procesos de construcción naval, con la meta de que al menos el 25% de las nuevas embarcaciones utilicen tecnologías híbridas, eléctricas o con eficiencia energética mejorada.

Mediano plazo (10-20 años)

- Incrementar la capacidad instalada de producción de astilleros colombianos en al menos un 60% en los próximos 15 años, con énfasis en la producción de embarcaciones para transporte de carga y pasajeros en ríos (transporte de carga/pasajeros para ríos navegables Magdalena, Atrato, Meta).
- Aumentar la participación de embarcaciones construidas en Colombia en el transporte fluvial de tanto de carga como de pasajeros para el año 2040.
- Crear centros de formación técnica y profesional especializados en diseño, construcción y reparación

construcción de embarcaciones modernas. La industria naviera requiere una variedad de embarcaciones, desde barcazas fluviales hasta barcos pesqueros y de carga costera. Además, la renovación de flotas pesqueras y la diversificación de transporte en ríos presentan oportunidades para el sector.

naval, articulados con las regiones ribereñas y portuarias estratégicas (Caribe, Pacífico y cuencas del Magdalena, Atrato y Amazonas).

Largo plazo (20-30 años)

- Cubrir el 90% de la demanda de embarcaciones nacionales con producción interna.
- Exportar navíos a países de la región andina y Caribe.
- Implementar tecnologías limpias en el 30% de las nuevas embarcaciones (eléctricas, híbridas o con eficiencia energética mejorada).
- Modernizar el 100% de la flota fluvial de transporte público en las cuencas principales (Magdalena, Cauca, Atrato, Amazonas).

5. MAPEO DE ACTORES INVOLUCRADOS

Considerando que las apuestas propuestas implican cambios no solo en la demanda de energía sino también en el desarrollo industrial del país y su impacto en las regiones, su gobernanza involucra una interacción compleja entre múltiples actores públicos y privados. El Ministerio de Minas y Energía lidera los esfuerzos regulatorios y de planificación, con el apoyo de entidades clave como la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), encargada de analizar la oferta y demanda de energía. La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) regula las tarifas y condiciones del mercado, mientras que XM supervisa la operación del Sistema Interconectado Nacional. Estos actores juegan un rol crucial en garantizar una oferta energética diversificada y segura para las industrias con mayor consumo energético, como la siderúrgica, química y de transporte.

Las industrias de alto consumo energético, como la producción de acero especializado y la fabricación de fertilizantes a base de hidrógeno verde, son fundamentales en el escenario de transición energética en Colombia. Empresas que lideran el sector siderúrgico, son claves para la fabricación de componentes utilizados en tecnologías renovables, como turbinas eólicas y paneles solares. La modernización de sus procesos hacia tecnologías más eficientes, como hornos eléctricos alimentados por energías renovables, reduciría la dependencia de combustibles fósiles. En el sector de fertilizantes, existe un potencial en el uso de hidrógeno verde para la producción de fertilizantes sostenibles, contribuyendo a la descarbonización del sector agrícola y potenciando el uso de energías limpias.

Paralelamente, la política de transición energética también involucra el desarrollo de nuevas industrias sostenibles. La chatarrización de vehículos, impulsada por asociaciones como Asopartes, y el reciclaje químico, son sectores clave para avanzar hacia una economía circular, donde los materiales son reutilizados y los procesos productivos minimizan el impacto ambiental. Además, el desarrollo de la industria astillera, con actores como COTECMAR, busca promover el transporte marítimo más eficiente y sostenible, apoyando

la transición del sector hacia energías limpias. Este tipo de iniciativas también contribuirá a reducir la demanda energética del transporte tradicional, alineando a la industria con los objetivos de sostenibilidad.

En cuanto a la movilidad eléctrica, las empresas del sector automotriz, agremiaciones y gobierno están explorando la oportunidad de producir partes para el ensamblaje de vehículos eléctricos en Colombia. Se han identificado capacidades industriales ya existentes en el país con potencial para desarrollar mayores competencias en este campo, particularmente en componentes asociados a sistemas de energía renovable que podrían adaptarse a la cadena de valor de la movilidad sostenible. (MME, UPME, DEA & Emergente, 2025). Este esfuerzo es vital para satisfacer la creciente demanda de movilidad sostenible, que está alineada con la transición energética y la reducción de emisiones. La integración de estos sectores no solo afecta la oferta y demanda de energía, sino que también fortalece un ecosistema industrial más resiliente, donde la innovación tecnológica y la sostenibilidad se convierten en pilares del desarrollo industrial del país.

Tabla 5-1. Mapeo de actores involucrados en el Plan Estratégico de Industrialización

#	Apuesta	Actores	Roles
1	Desintegración de vehículos	MinTransporte, MinAmbiente	Diseño de políticas y normas
		Empresas autorizadas para la chatarrización de vehículos	Desarrollador/productor
		Gremios de transporte, Mineducación	Articulación y convergencia
		MinTransporte	Habilitadores técnicos
		Propietarios de vehículos, Banca Internacional con incentivos a programas de economía circular, cooperación internacional para desarrollo y para industria (PNUD, ONUDI), fondos de ascenso tecnológico	Inversionistas y fuentes de financiación
		MinCiencias, Universidades, centros de investigación	Investigación, innovación y difusión
		Propietarios de vehículos, industria que demanda metales que se pueden recuperar.	Usuarios y consumidores
	Min Transporte	Supervisión y control	
2	Bio refineras	MME, UPME, Min agricultura	Diseño de políticas y normas
		Empresas de biocombustibles, Ecopetrol	Desarrollador/productor
		Agremiaciones del sector biocombustibles, empresas hidrocarburos, Mineducación	Articulación y convergencia
		Icontec, ANH, SIC	Habilitadores técnicos

#	Apuesta	Actores	Roles
		BID, BM, Bancoldex, Finagro, Findeter y demás entidades de financiación de proyectos de energías renovables, bonos de sostenibilidad o bonos verdes	Inversionistas y fuentes de financiación
		Min Ciencias, Universidades, centros de investigación	Investigación, innovación y difusión
		Sector movilidad, industria	Usuarios y consumidores
		ANH, MME, MADS	Supervisión y control
3	Industria de Ensamblado y fabricación de componentes como paneles fotovoltaicos o Vehículos eléctricos	MinTransporte, Min. Comercio	Diseño de políticas y normas
		Empresas del sector automotriz	Desarrollador/productor
		Gremios de transporte, Mineducación	Articulación y convergencia
		SIC, Min Comercio	Habilitadores técnicos
		Banca Internacional (BID, BM) , banca de segundo nivel, cooperación internacional para desarrollo y para industria (PNUD, ONUDI)	Inversionistas y fuentes de financiación
		Min Ciencias, Universidades, centros de investigación	Investigación, innovación y difusión
		Empresas del sector automotriz	Usuarios y consumidores
MinTransporte, Min. Industria y comercio	Supervisión y control		
4	Recuperación de los residuos de infraestructura FNCER	Min Comercio, Min Ambiente, Secretarías distritales de ambiente	Diseño de políticas y normas
		Empresas de reciclaje	Desarrollador/productor
		Productores de vehículos eléctricos, de paneles solares y aerogeneradores	Inversionistas y fuentes de financiación
		SIC, Min Comercio, ICONTEC	Habilitadores técnicos
		Banca internacional, organizaciones de cooperación internacional	Inversionistas y fuentes de financiación
		Min Ciencias, Universidades, centros de investigación, Mineducación	Investigación, innovación y difusión
		Industria con demanda de materiales y minerales críticos	Usuarios y consumidores
		MADS, Min Comercio	Supervisión y control

#	Apuesta	Actores	Roles
5	Recuperación de componentes metálicos (cobre y aluminio)	ANM, MME, UPME, DNP	Diseño de políticas y normas
		Empresas de extracción de minerales	Desarrollador/productor
		Agremiaciones del sector minero, Mineducación	Articulación y convergencia
		ANM, MME, UPME	Habilitadores técnicos
		Banca Internacional (BID, BM) , banca de segundo nivel, cooperación internacional para desarrollo y para industria (PNUD, ONUDI)	Inversionistas y fuentes de financiación
		Min Ciencias, Universidades, centros de investigación	Investigación, innovación y difusión
		Industria	Usuarios y consumidores
		ANM; MADS	Supervisión y control
6	H2 - Power to X	MME, Min agricultura, Min Comercio, Min Ambiente	Diseño de políticas y normas
		Desarrolladores de proyectos de H2, empresas de productos químicos	Desarrollador/productor
		Asociaciones y cámaras de hidrógeno en el país, Mineducación	Articulación y convergencia
		UPME, UPRA	Habilitadores técnicos
		BID, BM, Bancoldex, Finagro, Findeter y demás entidades de financiación de proyectos de energías renovables, bonos de sostenibilidad o bonos verdes	Inversionistas y fuentes de financiación
		Min Ciencias, Universidades, centros de investigación	Investigación, innovación y difusión
		Industrias que utilizan hidrógeno en sus procesos (acerías, fertilizantes, refinerías). Empresas con interés en producción de combustibles sintéticos y SAF	Usuarios y consumidores
		MME, Min Comercio	Supervisión y control
7	Industria de Fertilizantes	MME, MinAgricultura, MinComercio	Diseño de políticas y normas
		Empresas de minería de fósforo, empresas de producción de fertilizantes, nuevas empresas de	Desarrollador/productor

#	Apuesta	Actores	Roles
		producción de hidrógeno y fertilizantes	
		Ministerios, agremiaciones minería y agro, Mineducación	Articulación y convergencia
		ICA	Habilitadores técnicos
		Finagro, Banco agrario, Banca internacional	Inversionistas y fuentes de financiación
		Min Ciencias, Universidades, centros de investigación	Investigación, innovación y difusión
		Agricultores, sociedad civil	Usuarios y consumidores
		SIC, ICA	Supervisión y control
8	Acero, siderurgia	MME, Min Comercio, Min Vivienda	Diseño de políticas y normas
		Empresas siderúrgicas	Desarrollador/productor
		ANDI, agremiaciones regionales, Mineducación	Articulación y convergencia
		Icontec	Habilitadores técnicos
		Banca multilateral de desarrollo, APP, fondos de capital de riesgo, cooperación internacional para desarrollo y para industria (PNUD, ONUDI)	Inversionistas y fuentes de financiación
		Min Ciencias, Universidades, centros de investigación	Investigación, innovación y difusión
		Implementadores de proyectos de FNCER, empresas producción de astilleros	Usuarios y consumidores
MME, Min Comercio, SIC	Supervisión y control		
9	Industria astillera	Min Transporte, Min Comercio, DIMAR	Diseño de políticas y normas
		COTECMAR	Desarrollador/productor
		Min Transporte, COTECMAR, Mineducación	Articulación y convergencia
		COTECMAR, INM, SIC	Habilitadores técnicos
		Banca multilateral de desarrollo, APP, fondos de capital de riesgo	Inversionistas y fuentes de financiación
		Invemar, Min Ciencias, Universidades, centros de investigación	Investigación, innovación y difusión

#	Apuesta	Actores	Roles
		Empresas de transporte de carga	Usuarios y consumidores
		DIMAR	Supervisión y control

Fuente: Elaboración propia, 2025

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Internacional de la Energía (IEA). (2024). *EV battery supply chain sustainability*. <https://www.iea.org/reports/ev-battery-supply-chain-sustainability>

Agencia Internacional de la Energía (IEA). (2024). *Global EV Outlook 2024: Outlook for battery and energy demand*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024/outlook-for-battery-and-energy-demand>

Agencia Internacional de la Energía (IEA). (2024). *Recycling of critical minerals*. <https://www.iea.org/reports/recycling-of-critical-minerals>

Agencia Nacional de Minería (ANM). (2023). *Fosfatos: Potencial minero en Colombia [Folleto técnico]*. <https://mineriaencolombia.anm.gov.co/sites/default/files/docupromocion/BrochureTecnico-FOSFATOS-ESP-15.10-VERSIONFINAL.pdf>

Altilium. (2025). *Process*. <https://altium.tech/process/>

Banco Mundial. (2025). *Manufacturing, value added (current US\$)*. Recuperado el 28 de mayo de 2025, de <https://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.MANF.CD>

Climate Portal MIT. (2023, septiembre 5). *How well can electric vehicle batteries be recycled?* <https://climate.mit.edu/ask-mit/how-well-can-electric-vehicle-batteries-be-recycled>

COTECMAR. (2024). *Informe de actividades de ciencia, tecnología e innovación – ACTI 2023* (Edición No. 15). Cartagena de Indias: Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial – COTECMAR. <https://www.cotecmar.com/sites/default/files/media/documentos/2024-04/Acti%202023%20digital.pdf>

Departamento Nacional de Planeación. (2016). *Política Nacional de Desarrollo Productivo* (CONPES 3866). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3866.pdf>

Departamento Nacional de Planeación. (2018). *Política de Crecimiento Verde* (CONPES 3934). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3934.pdf>

Departamento Nacional de Planeación. (2022). *Política de reindustrialización: hacia una economía productiva, sostenible y compartida* (CONPES 4129). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%3%B3micos/4129.pdf>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2023). Cuentas nacionales anuales: Valor agregado bruto por actividad económica. Bogotá, D.C.: DANE. <https://www.dane.gov.co>

Enerdata. (2025). World CO₂ intensity by region. Enerdata Yearbook. Recuperado el 28 de mayo de 2025, de <https://yearbook.enerdata.net/co2/world-CO2-intensity.html>

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. (2024). *Power-to-X Colombia – Green Hydrogen and Derivatives Production*. Federation of German Industries (BDI). <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/power-to-x-colombia.html>

Kalmanovitz, S. (2010). Nueva historia económica de Colombia. Taurus; Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

López Hernández, V., Hilbert, I., Gascón Castellero, L., Manhart, A., García, D., Nkongdem, B., Dumitrescu, R., Sucre, C., & Ferreira Herrera, C. (2025). Recycling and reuse of lithium batteries in Latin America and the Caribbean: Analytical review of global and regional practices. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 17, 200026. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2024.200026>

Mayor Mora, A. (2002). El nacimiento de la industria colombiana. *Credencial Historia*, (151). <https://www.banrepcultural.org/biblioteca-virtual/credencial-historia/numero-151/el-nacimiento-de-la-industria-colombiana>

Mazzucato, M. (2013). "The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Private Sector Myths", Anthem Press.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). *Estrategia Nacional de Economía Circular*. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/estrategia-nacional-de-economia-circular/>

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2019). Política Nacional para la Transformación Digital e Inteligencia Artificial (CONPES 3975). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Economicos/3975.pdf>

Ministerio de Transporte. (2022). Plan Maestro de Transporte Intermodal. Bogotá, D.C.: Ministerio de Transporte de Colombia. <https://www.mintransporte.gov.co>

MME, UPME, DEA & Emergente. (2025). Catálogo tecnológico colombiano para tecnologías de generación y almacenamiento de energía 2025. Disponible en: https://www.minenergia.gov.co/documents/13090/Catalogo_Tecnologico_Socializacion_clean_Final_ES.pdf

Ocampo, J. A. (2015). Historia económica de Colombia. Bogotá: Editorial Planeta / Fondo de Cultura Económica. (6.ª edición revisada y ampliada).

Organizacion De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo Industrial (ONUDI). (2023). Informe sobre el desarrollo industrial 2024: Transformar desafíos en soluciones sostenibles: La nueva era de la política industrial. UNIDO. <https://www.unido.org/sites/default/files/unido-publications/2024-02/IDR24-Overview-SP.pdf>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2024). The return of industrial policies: Policy considerations in the current context. OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/publications/the-return-of-industrial-policies_051ce36d-en.html

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). (2022). Observatorio del Mercado de Trabajo y la Formación: Informe de pertinencia y empleabilidad 2021–2022. Bogotá, D.C.: SENA. <https://www.sena.edu.co/es-co/ConozcaELSENA/Paginas/observatorio.aspx>

Stiglitz, J. E. & Lin, J. Y. (2013). "The Industrial Policy Revolution I: The Role of Government Beyond Ideology", Palgrave Macmillan.

The White House. (2025). *Executive Order 14257: Regulating imports with a reciprocal tariff to rectify trade practices that contribute to large and persistent annual United States goods trade deficits*. Federal Register, 90(67), 20645–20648. Recuperado el 28 de mayo de 2025, de <https://www.federalregister.gov/documents/2025/04/07/2025-06063/regulating-imports-with-a-reciprocal-tariff-to-rectify-trade-practices-that-contribute-to-large-and>

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2018.). Mercado nacional de roca fosfórica. https://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Datos/mercado-nal/MNAL_rocafosforica.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética. (2020). Aprovechamiento de minerales en Colombia: Diagnóstico de las cadenas de valor de la minería [Informe técnico]. https://www1.upme.gov.co/Documents/Aprovechamiento_minerales_en_Colombia.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) & Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2023). Caracterización de tipologías y componentes de residuos de instalaciones fotovoltaicas y vehículos eléctricos en Colombia. Capítulo 3. Estimación de Volúmenes. UPME. https://docs.upme.gov.co/Documents/Coop_internacional/1_BID/CO-T1501-P006_C3-Estimacion_de_volumenes.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética. (2025). Caracterización de aspectos sociales y ambientales proyectos mineros de cobre en Colombia [PDF]. https://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/EstudiosPublicaciones/Definitivo_Caracterizacion_de_aspectos_sociales_y_ambientales_pry_min_cobre_Colombia_2025.pdf

