

La Industria Siderúrgica de España y su Hoja de Ruta de Descarbonización: Aprovechando Recursos para un Crecimiento Sostenible

Prof. Fabio Miani
DPIA Departamento de Ingeniería y Arquitectura Politécnica
Universidad de Udine, Italia

Noviembre 2025

Resumen

Este estudio analiza el sector siderúrgico de España en el contexto de su compromiso nacional con emisiones netas cero para 2050, enfatizando la integración de recursos renovables con tecnologías emergentes de descarbonización. Como productor global de acero crudo con 11,9 millones de toneladas en 2024 (clasificado en el puesto 17 a nivel mundial), España enfrenta el doble desafío de impulsar el crecimiento impulsado por la infraestructura mientras reduce las emisiones de su industria en expansión. Basado en desarrollos políticos recientes, incluyendo el Plan de Acción de Acero y Metales de la UE de 2025, el análisis destaca tres palancas clave: expansión de hornos de arco eléctrico (EAF) basados en chatarra, adopción de hidrógeno verde y despliegue de captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS). La política industrial impulsada por el Estado de España, coordinada a través de ministerios y alineada con la gobernanza de la UE, posiciona al país como un posible centro de acero verde en el sur de Europa, contrastando con modelos restringidos por recursos en otros lugares. Las perspectivas se triangulan de documentos políticos, informes de la industria y modelado de escenarios asistido por IA, subrayando oportunidades para la colaboración internacional en transferencia de tecnología y comercio.

1. Introducción

La industria siderúrgica de España es pivotal para su visión de convertirse en una economía de alta renta bajo el marco “España 2050”. Con la producción de acero crudo alcanzando 11,9 millones de toneladas métricas (mt) en 2024—un aumento modesto del 3,3 % desde 2023—el sector apoya demandas crecientes de infraestructura de urbanización, transporte y manufactura [14]. Representando aproximadamente el 1-2 % del PIB, el acero sustenta industrias clave como automotriz, construcción y producción de acero inoxidable, donde los recursos renovables de España (eólica y solar, con potencial de 1.000 GW) confieren una ventaja competitiva [13].

Sin embargo, la expansión rápida amplifica presiones ambientales: el sector emite alrededor de 20-25 millones de mt de CO₂ anualmente, representando el 5-7 % de las emisiones industriales nacionales [6]. Alineado con la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) mejorada de España, que apunta a una reducción incondicional del 23 % para 2030 y neto cero para 2050, el gobierno finalizó su Hoja de Ruta de Descarbonización Industrial en marzo de 2025, abarcando acero junto con cemento, fertilizantes y químicos [4]. Esta hoja de ruta desplaza rutas dependientes de combustibles fósiles de alto horno-horno de oxígeno básico (BF-BOF) hacia alternativas de bajo carbono, aprovechando recursos domésticos como arena de hierro y chatarra.

En contraste con el enfoque de mega-escala coordinado por el Estado en China o la gobernanza multivel de la UE, el modelo de España combina nacionalismo de recursos (p.ej., incentivos para procesamiento doméstico) con incentivos verdes pragmáticos. Este artículo emplea una metodología mixta—mapeo de políticas vía herramientas de IA (p.ej., Grok para síntesis de escenarios) y validación experta—para disecar la arquitectura, realidades de implementación e implicaciones globales de la estrategia de descarbonización del acero en España.

2. Enfoque Metodológico: Análisis de Políticas Mejorado por IA

El análisis integra modelos de lenguaje grandes para escaneo rápido de políticas y proyección de escenarios, fundamentado en experiencia metalúrgica. Herramientas clave incluyen:

- **Grok (xAI)**: Para sintetizar escenarios de hoja de ruta, variaciones de implementación regional e benchmarking internacional.
- **Fuentes Secundarias**: Hojas de ruta gubernamentales, informes de IEA/UNIDO y datos de la industria para validación.

Las salidas se verifican cruzadamente contra pilotos del mundo real, asegurando un equilibrio entre objetivos aspiracionales y vías factibles. Este enfoque híbrido aborda brechas de datos en mercados emergentes como España, donde la literatura política sobre descarbonización del acero permanece naciente [2].

3. Arquitectura Política Española: Un Marco Impulsado por Recursos

La gobernanza del acero en España opera bajo una estructura centralizada pero basada en incentivos, liderada por tres ministerios centrales:

- **Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (MINCOTUR)**: Supervisa capacidad de producción, estándares tecnológicos y políticas de procesamiento aguas abajo (p.ej., prohibición de exportaciones de mineral crudo para impulsar fundición doméstica).
- **Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)**: Gestiona cadenas de suministro de materias primas, incluyendo exploración de arena de hierro y certificación de hidrógeno verde.
- **Ministerio de Economía, Comercio y Empresa**: Ejecuta estándares de emisiones y regulaciones de CCUS bajo la Ley de CCUS de 2023.

La jerarquía política desciende de planes nacionales a instrumentos sectoriales específicos:

1. **Compromisos Nacionales**: El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030, actualizado en 2025, embebe la descarbonización del acero dentro de la Asociación de Transición Energética Justa (JETP), asegurando 20.000 millones de euros en financiamiento internacional para renovables y tecnología limpia [8].
2. **Directivas Sectoriales**: La Hoja de Ruta de Descarbonización Industrial manda una reducción del 50 % en intensidad de emisiones en acero para 2030 vía expansión de EAF y eficiencia material [1].
3. **Herramientas de Implementación**: Incentivos fiscales para inversiones verdes (p.ej., vacaciones fiscales del 30 %), cuotas obligatorias de utilización de chatarra (objetivo del 25 % para 2030) y centros de CCUS para almacenamiento transfronterizo.
4. **Ecosistemas de Apoyo**: Objetivos de energía renovable (74 % para 2030, per PNIEC) habilitan producción de hidrógeno verde, con 10 proyectos de CCUS programados para 2026 [5].

4. Tres Pilares Operativos de la Descarbonización del Acero

4.1. Pilar 1: Expansión de EAF Basada en Chatarra y Economía Circular

La mezcla de acero de España es dominante en EAF (70-80 % de capacidad), favoreciendo chatarra sobre rutas basadas en mineral [3]. La hoja de ruta acelera este cambio:

- **Objetivos**: Aumentar el uso de chatarra a 8-10 millones de mt anuales para 2030, reduciendo emisiones a 0,3-0,4 tCO₂/t acero (vs. 1,8 para BF-BOF).

- **Iniciativas:** Redes nacionales de recolección de chatarra, apoyadas por incentivos de reciclaje compatibles con la OMC post-resolución de disputas de acero inoxidable en 2025 [10].
- **Desafíos:** Elementos trampa en chatarra degradan calidad; políticas promueven clasificación avanzada vía instalaciones impulsadas por IA.

4.2. Pilar 2: Integración de Hidrógeno Verde

Aprovechando eólica/solar barata (potencial 1.000 GW), España pilota H2-DRI-EAF:

- **Pilotos:** Colaboración de ArcelorMittal en Gijón con Repsol para 200.000 t/y de H₂ verde para 2027; respaldado por IESR para construcción de mercado para exportaciones a Francia/Alemania [7].
- **Apoyo Político:** Reglamento Presidencial 112/2022 certifica H₂ verde, apuntando a 2 GW de capacidad de electrólisis para 2030.
- **Realidades:** Costos (\$2-4/kg H₂) dependen de escalado de RE; centros regionales en País Vasco minimizan logística.

4.3. Pilar 3: CCUS como Tecnología Puente

Con potencial de almacenamiento de CO₂ de 100 Tcf, CCUS captura 20-30 % de emisiones de acero:

- **Proyectos:** CCUS de Huelva (inicio 2026, capacidad 1,5 Mt/y) e integración en procesamiento de gas; pilotos específicos de acero en Sestao [11].
- **Marco:** Ley de CCUS 2023 habilita modelos de hub-and-spoke, atrayendo inversores asiáticos para almacenamiento transfronterizo.
- **Implementación:** Enfoque en utilización (p.ej., CO₂ para recuperación mejorada de petróleo), compensando costos ante inversiones iniciales (\$40-80/tCO₂ evitado).

5. Implementación Geográfica: Sinergias de Recursos Regionales

- **País Vasco (Sestao):** Centros de procesamiento aguas abajo para acero especial, integrando H₂ verde con redes ricas en RE.
- **Asturias (Gijón):** Actualizaciones de EAF de ArcelorMittal y pilotos de CCUS, sirviendo mercados domésticos.
- **Andalucía:** Minería de arena de hierro para materias primas alternativas, acoplada con co-firing de biomasa para reducir emisiones de Alcance 1.

Esta estrategia “peninsular” mitiga costos logísticos (15-25 % de gastos de producción) mientras se alinea con reformas de descentralización [9].

6. Desafíos, Oportunidades e Implicaciones Globales

Desafíos: Altos costos energéticos (dependencia de gas al 40 %), dependencia de importaciones de materias primas (70 % para mineral de hierro) y brechas de habilidades en tecnología verde [2]. Presiones de sobre-capacidad global afectan exportaciones, necesitando defensas comerciales.

Oportunidades: Ventaja renovable posiciona a España como exportador de acero inoxidable bajo en carbono; fondos del Clean Industrial Deal (20.000 M€) catalizan pilotos, potencialmente creando 300.000 empleos verdes para 2040 [12].

Vínculos Globales: Como centro de CCUS, España ofrece almacenamiento a vecinos emisores pesados (Francia, Alemania). Colaboraciones vía foros de la UE y IEA podrían estandarizar certificación de acero verde, fomentando comercio bajo regímenes como CBAM.

7. Conclusión: De Maldición de Recursos a Liderazgo Verde

La descarbonización del acero de España encarna un pivote pragmático: aprovechando renovables para un ascenso bajo en carbono, distinto de modelos pesados en legados en Europa o impulsados por escala en China. Los pilares de la Hoja de Ruta de 2025—EAF/chatarra, H₂ verde, CCUS—proveen una vía factible a recortes del 50 % en emisiones para 2030, contingente a ejecución política y apoyo internacional. El éxito podría redefinir la trayectoria industrial del sur de Europa, urgiendo a socios globales a invertir en tecnologías y mercados compartidos. Este análisis aumentado por IA invita a retroalimentación para refinar proyecciones, afirmando la erudición colaborativa en la era neto cero.

Agradecimientos

Agradecido a Grok (xAI) por modelado de escenarios e insights de IESR, UNIDO y informes de CELIOS. Abierto a correcciones vía LinkedIn.

Referencias

Referencias

- [1] ASEAN Centre for Energy. (2025). *Net-Zero Roadmap for Spain's Steel Industry*. Jakarta.
- [2] CELIOS. (2025). *The Prospects of Decarbonizing Spain's Steel Industry*. Jakarta.
- [3] Centre for Research on Energy and Clean Air. (2024). *Spain Iron and Steel Industry Report*. Helsinki.
- [4] European Commission. (2025). *Action Plan on Steel and Metals*. Bruselas.
- [5] Economic Research Institute for ASEAN and East Asia. (2025). *Is Spain's Ambition to Become an International CCUS Hub Attainable?* Jakarta.
- [6] Eurofer. (2025). *European Steel in Action 2025*. Bruselas.
- [7] Institute for Essential Services Reform. (2025). *Building Spain's Green Hydrogen Production and Market*. Jakarta.
- [8] Just Energy Transition Partnership. (2023). *Spain JETP Comprehensive Investment and Policy Plan*. Madrid.
- [9] Lowy Institute. (2025). *The Future of Spain's Green Industrial Policy*. Sydney.
- [10] Observer ID. (2025). *Unlocking EU Markets: Spain's 2025 WTO Stainless-Steel Win*. Madrid.
- [11] ScienceDirect. (2024). *Carbon Capture, Utilization, and Storage in Spain: An Update*. Elsevier.
- [12] United Nations Industrial Development Organization. (2025). *Workshop on Transition to Low-Carbon Steel in Spain*. Viena.
- [13] U.S. Geological Survey. (2025). *Mineral Commodity Summaries: Iron Ore*. Reston, VA.
- [14] World Steel Association. (2025). *World Steel in Figures 2025*. Bruselas.