

## Hidrógeno verde y descarbonización en Galicia: análisis multinivel de proyectos, motores y barreras para su desarrollo

Green hydrogen and decarbonization in Galicia: multilevel analysis of projects, drivers, and barriers to their development

Giannina Pinotti<sup>1, a</sup> , Xavier Vence<sup>2, b</sup> 

<sup>1</sup>Ministerio de Ambiente, Uruguay

<sup>2</sup>Grupo ICEDE, Departamento de Economía Aplicada. Universidade de Santiago de Compostela, Facultade de Ciencias Económicas e Empresariais, España

✉ <sup>a</sup> [gianninapinotti@gmail.com](mailto:gianninapinotti@gmail.com)

✉ <sup>b</sup> [xavier.vence@usc.es](mailto:xavier.vence@usc.es)

Recibido: 31/01/2025 ; Aceptado: 22/07/2025

### Resumen

El hidrógeno verde se perfila como una solución clave para descarbonizar sectores difíciles de electrificar, como la industria pesada y el transporte de larga distancia. Galicia, con abundantes recursos renovables, emerge como una región estratégica en la agenda española y europea del hidrógeno verde. Este estudio analiza los 28 proyectos vinculados al desarrollo de este vector energético, identificados hasta julio de 2024, evaluando su grado de avance y los factores que influyen en su desarrollo mediante un enfoque de transición multinivel aplicando la metodología PESTEL. Aunque el potencial es significativo, el sector aún está en fase inicial, con inversiones por debajo de lo proyectado y sin proyectos operativos. Entre las principales barreras destacan la dependencia tecnológica, la falta de infraestructura y la incertidumbre sobre la demanda. El estudio recomienda impulsar valles de hidrógeno, fortalecer la colaboración entre sectores y abordar brechas de infraestructura para acelerar la transición energética en Galicia.

**Palabras clave:** Hidrógeno verde; Energías renovables; Galicia; Descarbonización; Enfoque multinivel.

## Abstract

Green hydrogen is emerging as a key solution for decarbonizing hard-to-electrify sectors such as heavy industry and long-distance transport. Galicia, with abundant renewable resources, stands out as a strategic region in Spain's and Europe's green hydrogen agenda. This study analyzes 28 projects identified as of July 2024, assessing their progress and the factors influencing their development through a PESTEL and multi-level transition approach. Although the potential is significant, the sector remains in its early stages, with investments below initial projections and no operational projects yet. Key barriers include technological dependence, lack of infrastructure, and demand uncertainty. The study recommends promoting hydrogen valleys, strengthening collaboration across sectors, and addressing infrastructure gaps to accelerate Galicia's energy transition.

**Keywords:** Green hydrogen; Renewable energy; Galicia; Decarbonization; Multi-level approach.

**Clasificación JEL:** Q42; Q48; Q54; R11.

## 1. INTRODUCCIÓN

En 2024, el calentamiento global alcanzó un récord histórico al ser el primer año en que la temperatura media global superó los 1,5°C por encima de los niveles preindustriales, reflejando el impacto del uso insostenible de energía y los cambios en el uso de la tierra (Copernicus Climate Change Service, 2025; National Oceanic and Atmospheric Administration, 2025). La generación de eventos extremos asociados, con efectos en seguridad alimentaria, salud y economía (IPCC, 2023), ha obligado a adoptar estrategias de descarbonización y neutralidad de carbono a corto, medio y largo plazo. Estas estrategias incluyen la búsqueda de fuentes renovables no emisoras de CO<sub>2</sub>, como el hidrógeno verde, una tecnología emergente considerada clave para descarbonizar sectores difíciles de electrificar, aunque no exenta de cuestionamientos sobre su viabilidad económica, eficiencia energética y prioridades en la asignación de recursos.

La Unión Europea, una de las pioneras en su desarrollo, lo ha incorporado en su estrategia climática con iniciativas como el Pacto Verde, la estrategia del hidrógeno para una Europa neutra en carbono y el programa RePower EU, que aumentó su meta de producción a 10 millones de toneladas anuales para 2030, junto a la importación de cantidades similares (Dirección General de Energía de la Comisión Europea, 2020; Secretaría General de la Comisión Europea, 2022).

España avanza hacia los objetivos de descarbonización de la Unión Europea, que establecen un 42,5% de energías renovables para 2030, con la aprobación y desarrollo de la Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética. En 2022, más del 40% de la electricidad consumida provino de fuentes renovables, aunque el 70% de la energía primaria aún depende de fuentes fósiles, lo que genera emisiones de GEI y una elevada dependencia energética externa debido a la falta de reservas nacionales (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [MITECO], 2023a). La volatilidad energética, evidenciada tras la crisis derivada del conflicto Rusia-Ucrania, ha impulsado la producción de hidrógeno verde como alternativa para incrementar el autoabastecimiento energético nacional. También se considera un vector importante para el almacenamiento energético que contribuye a estabilizar el sistema eléctrico ante las posibles oscilaciones de la generación de renovables como la solar o la eólica. En este contexto, y considerando su alto potencial de renovables, España ha establecido un objetivo inicial de 4 GW de capacidad de electrólisis para 2030 (MITECO, 2020), ampliado a 12 GW en la actualización del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), aprobada el 24 de septiembre de 2024 (MITECO, 2024).

En ese contexto, Galicia es una de las regiones de España con mayor potencial de energías renovables. A pesar de ello, en 2022 seguía presentando una dependencia energética del 66,4%, con un 77,8%<sup>1</sup> de la energía primaria que consume proveniente de combustibles fósiles, un 21,9% de renovables y el resto de residuos no renovables (INEGA, 2024a). Es en su matriz eléctrica donde destaca el papel de las renovables, alcanzando en 2023 un 76,5% de la electricidad producida (INEGA, 2024a).

En línea con las tendencias nacionales e internacionales, la *Agenda energética de Galicia 2030* busca reducir esta dependencia y avanzar hacia un mix energético más sostenible, posicionando al hidrógeno verde como un pilar importante (Xunta de Galicia, 2022). La citada estrategia prevé el desarrollo de un hub de hidrógeno verde, aprovechando sus recursos

---

<sup>1</sup> El % de dependencia energética es inferior a la participación de combustibles fósiles como fuente primaria de energía dado que una porción de los combustibles que importan se procesan para exportación a otras regiones (gas licuado y refino de combustibles).

hídricos y renovables, con una capacidad de electrólisis estimada entre 0,5 y 1 GW para producir 105.000 tH<sub>2</sub> para 2030.

En este marco se han anunciado varios proyectos de producción de hidrógeno verde en Galicia. En este trabajo se procesa la información dispersa disponible en julio de 2024 sobre los proyectos anunciados. Esta información resulta confirmada por el Mapa de capacidades del hidrógeno verde en Galicia publicado a finales de ese año ([Alianza Industrial Gallega del Hidrógeno Verde \[AIGHV\], 2024](#)). Con base en toda esa información, este trabajo analiza, desde una perspectiva multidimensional, la cadena de valor regional del hidrógeno en Galicia, evaluando los proyectos anunciados, su grado de avance y los factores determinantes que actúan como motores o como barreras en su ejecución.

La literatura publicada sobre este tema es todavía escasa, especialmente sobre su dimensión regional. Sin embargo, algunas aportaciones recientes abordan tanto las dinámicas regionales como los factores estructurales que condicionan su desarrollo. [Schwabe \(2024\)](#) examina cómo los “nichos” regionales de hidrógeno en Alemania se integran en los regímenes energéticos existentes para impulsar la transición energética, subrayando la importancia de recursos renovables, redes institucionales y financiamiento en un marco multinivel, un enfoque particularmente relevante para el análisis de sistemas energéticos locales como el de Galicia. Por otro lado, [Spilleir et al. \(2024\)](#) aplican la herramienta PESTEL para explorar cómo los factores políticos, económicos, tecnológicos, ambientales y legales influyen en el desarrollo del hidrógeno en Brasil, aportando una perspectiva integral sobre las oportunidades y desafíos de este vector energético. Estas aproximaciones ofrecen un marco de referencia valioso para analizar las condiciones específicas que enfrentan los proyectos de hidrógeno verde en Galicia, los obstáculos y las potencialidades para contribuir a la transición energética de este territorio. Este enfoque combinado permite aportar conocimiento al desarrollo de una metodología para el análisis multidimensional y sistémico de las transiciones energéticas regionales.

En lo que sigue este trabajo se estructura de la siguiente forma: en el apartado 2 se esboza un breve marco conceptual para el análisis del surgimiento del hidrógeno verde en los sistemas energéticos regionales; en el apartado 3 se explica el enfoque metodológico de este trabajo y las fuentes de datos; en el apartado 4 se exponen los principales resultados; y en el apartado 5 se presentan las principales conclusiones.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

El análisis de transiciones hacia sistemas sostenibles de energía, como el hidrógeno verde, ha ganado relevancia en la literatura académica en las últimas décadas. Esta tecnología representa una innovación de proceso para producir, almacenar y transportar un vector energético que puede contribuir a definir una nueva matriz energética sostenible, en la medida en que el alto consumo energético necesario en ese proceso provenga también de fuentes renovables y sea técnica y económica viable. Su desarrollo y consolidación como fuente de energía de uso general requiere todavía de avances en el ámbito de la investigación y del desarrollo tecnológico y, sobre todo, de nuevas y costosas infraestructuras y de cambios técnicos y sociales entre los potenciales usuarios. Entre las principales barreras tecnológicas se encuentran los altos costos de inversión inicial (CAPEX), la eficiencia limitada de los procesos de electrólisis, la baja durabilidad de los materiales utilizados y la escasa disponibilidad de infraestructuras de almacenamiento y distribución ([International Renewable Energy Agency, 2020](#); [Clean Hydrogen Joint Undertaking, 2022](#); [Yang et al., 2023](#)).

Una de las perspectivas más pertinentes para abordar estas transiciones es el enfoque multinivel, que postula que las innovaciones surgen y se consolidan a través de la interacción

entre tres niveles: los nichos de innovación, los regímenes sociotécnicos dominantes y el marco o entorno sociotécnico más amplio (Geels, 2024). Según este marco, los nichos funcionan como espacios protegidos donde germinan y se desarrollan soluciones alternativas que pueden acabar convirtiéndose en tecnologías de uso general, mientras que los regímenes sociotécnicos dominantes representan las estructuras establecidas que tienden a resistir el cambio. Por otro lado, el marco o entorno incluye factores externos, como presiones regulatorias o eventos globales, que pueden impulsar o limitar las transiciones (Geels, 2024).

Desde esta perspectiva, las transiciones no solo dependen de los avances tecnológicos, sino también de la capacidad de los actores para alinear visiones, movilizar recursos y superar las barreras estructurales del régimen vigente. El enfoque multinivel proporciona una base teórica para analizar cómo innovaciones como el hidrógeno verde pueden evolucionar desde nichos hacia regímenes establecidos, permitiendo identificar dinámicas clave en su integración a sistemas energéticos existentes. Según este modelo, las transiciones ocurren cuando las presiones del entorno y los cambios en los nichos interactúan para desestabilizar los regímenes predominantes y permitir la adopción de nuevas configuraciones sociotécnicas (Geels, 2024).

En dicho marco conceptual, Schwabe (2024) analiza la evolución de nichos de hidrógeno verde a nivel regional en Alemania, destacando la importancia de condiciones como la disponibilidad de recursos renovables, el acceso a financiamiento y la construcción de alianzas entre actores locales e institucionales. Estos nichos han surgido como espacios protegidos que permiten superar barreras iniciales, como los altos costos de producción, y se benefician de una gobernanza descentralizada que promueve el aprendizaje colaborativo y la adaptación a contextos locales.

Aunque este trabajo no pretende incorporar una comparación directa con otros casos nacionales, se toma como referencia analítica el caso alemán por su aplicación del enfoque multinivel al estudio del hidrógeno verde en contextos regionales (Schwabe, 2024). El enfoque multinivel no solo permite identificar las dinámicas entre niveles, sino también el papel de los actores en la construcción de nichos. Schwabe (2024) subraya el papel de los "emprendedores institucionales", actores clave que impulsan la creación de nichos mediante la movilización de recursos y la formulación de visiones compartidas. Estos actores aprovechan presiones del entorno, como la necesidad de descarbonizar la economía, para introducir soluciones innovadoras en regímenes energéticos establecidos. Este enfoque resalta la importancia de integrar las dimensiones sociotécnicas y económicas en el diseño de estrategias de transición, considerando tanto factores internos como externos.

Desde una perspectiva metodológica, el análisis PESTEL (político, económico, social, tecnológico, ambiental y legal) complementa al enfoque multinivel al proporcionar un marco estructurado para identificar las oportunidades y barreras específicas de un contexto regional o nacional. La combinación de ambos enfoques permite articular el análisis de factores estructurales con las dinámicas sociotécnicas entre nichos tecnológicos, regímenes sociotécnicos y entorno sistémico (*landscape*), captando cómo las dinámicas del entorno global, como las políticas climáticas europeas o los avances tecnológicos, interactúan con factores locales, como la disponibilidad de fuentes renovables de electricidad o el marco normativo en Galicia, donde el hidrógeno verde representa un pilar inicial en una transición energética regional aún incipiente, y ofreciendo una visión integrada de sus múltiples dimensiones y escalas.

### 3. METODOLOGÍA

El presente estudio realiza un análisis exhaustivo del desarrollo de los proyectos de innovación y de creación de una cadena de valor/mercado del hidrógeno verde en Galicia. Dada la escasa información oficial o institucional detallada sobre las iniciativas relacionadas con el hidrógeno verde en esta comunidad, se optó por una metodología que incluyó una revisión crítica de la literatura científica, de documentos clave elaborados por instituciones relevantes en el sector energético y de los proyectos elaborados por diferentes empresas para su implantación en Galicia. Para ello, se llevó a cabo una recopilación de información durante el primer semestre de 2024, a partir de una revisión de documentos de instituciones relevantes como la Xunta de Galicia, fondos europeos (Next Generation y PERTE), así como de promotores, asociaciones del sector y fuentes de prensa. Esta información se organizó en una tabla con las 28 iniciativas vinculadas a la cadena de valor del hidrógeno (Ver material complementario).

Para analizar los factores que influyen en el desarrollo de este nicho/sector/mercado emergente en Galicia, se utilizó la herramienta PESTEL (Político, Económico, Social, Tecnológico, Ecológico y Legal). Este enfoque permite evaluar de manera integral los factores externos que afectan a la industria, considerando tanto los motores del desarrollo como las barreras existentes. El análisis PESTEL es ampliamente utilizado en estudios de planificación estratégica cuya difusión tiene ya un largo recorrido (Aguilar, 1967) y se ha utilizado en concreto para identificar las dinámicas que impactan en sectores emergentes como el del hidrógeno verde (Achinas et al., 2019; Aguilar, 1967). En el contexto energético, investigaciones previas han demostrado la utilidad de este enfoque para evaluar factores que condicionan la adopción de nuevas tecnologías, como en el caso del hidrógeno en Brasil (Spilleir et al., 2024) o en el análisis de biocombustibles en Europa (Achinas et al., 2019). En este estudio, el análisis PESTEL se centró en los aspectos clave del entorno político y económico, en las barreras sociales y legales, y también en las oportunidades tecnológicas y ambientales que condicionan el avance de la industria en Galicia.

El enfoque multinivel (Geels, 2010, 2024) permite complementar el análisis, tomando en cuenta tanto los factores globales como las particularidades del contexto regional.

Además, la recopilación de datos se enriqueció con entrevistas a expertos locales de la Asociación Gallega del Hidrógeno y de la Universidad de Santiago de Compostela, lo que permitió obtener una visión más profunda y contextualizada del sector.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Proyectos de la cadena de valor de hidrogeno planteados en Galicia

Las estimaciones de la *Consellería de Economía, Empresa e Industria* en 2022 sugerían que los proyectos de hidrogeno verde en Galicia podrían movilizar 3.800 millones de euros mediante 50 iniciativas aproximadamente (Blanco Silva & Sarmiento Díez, 2023). Sin embargo, el esfuerzo de sistematización de información realizado por el presente trabajo durante el primer semestre de 2024 permitió identificar de momento 28 proyectos o iniciativas en distinto grado de desarrollo, valor similar al del informe publicado por la Alianza Industrial Gallega del Hidrógeno Verde a finales de 2024 (AIGHV, 2024). No obstante, no se puede afirmar que sean las únicas iniciativas en desarrollo, ya que muchas empresas, por motivos estratégicos y de

competencia, prefieren mantener sus proyectos en reserva y aplican cláusulas de confidencialidad en sus comunicaciones con el Gobierno.

Entre las iniciativas identificadas se contabilizaron distintos tipos de proyectos: 10 de producción de hidrógeno, 7 de combustibles derivados (4 de metanol, 2 de amoníaco y 1 de combustibles sintéticos), 3 enfocados a la movilidad terrestre, 2 de fabricación de componentes, 1 de transporte de hidrógeno y 5 de I+D+i. Cabe señalar que, debido a la falta de información centralizada, no se incluyeron todas las iniciativas de I+D+i, sino que se han seleccionado aquellas de mayor escala aparente, aunque las tres universidades públicas y varios centros tecnológicos gallegos desarrollan diversidad de actividades relevantes en la cadena de valor del hidrógeno.

En función del grado de avance, los proyectos fueron clasificados, según se presenta en la [Tabla 1](#), en cuatro categorías: concretados (inversión realizada y/o en operación), en trámite (han iniciado trámites administrativos o ambientales para la ejecución del proyecto en la Xunta), planificados (datos concretos disponibles, declaración de proyecto estratégico de la Xunta, y/o fondos confirmados) y anunciados (aparecen en alguna nota pero no hay información actualizada de su evolución). Hasta el momento ningún proyecto de mediana o gran magnitud ha iniciado su construcción, y varios muestran un escaso progreso público.

**Tabla 1. Proyectos identificados clasificados por categoría y grado de avance**

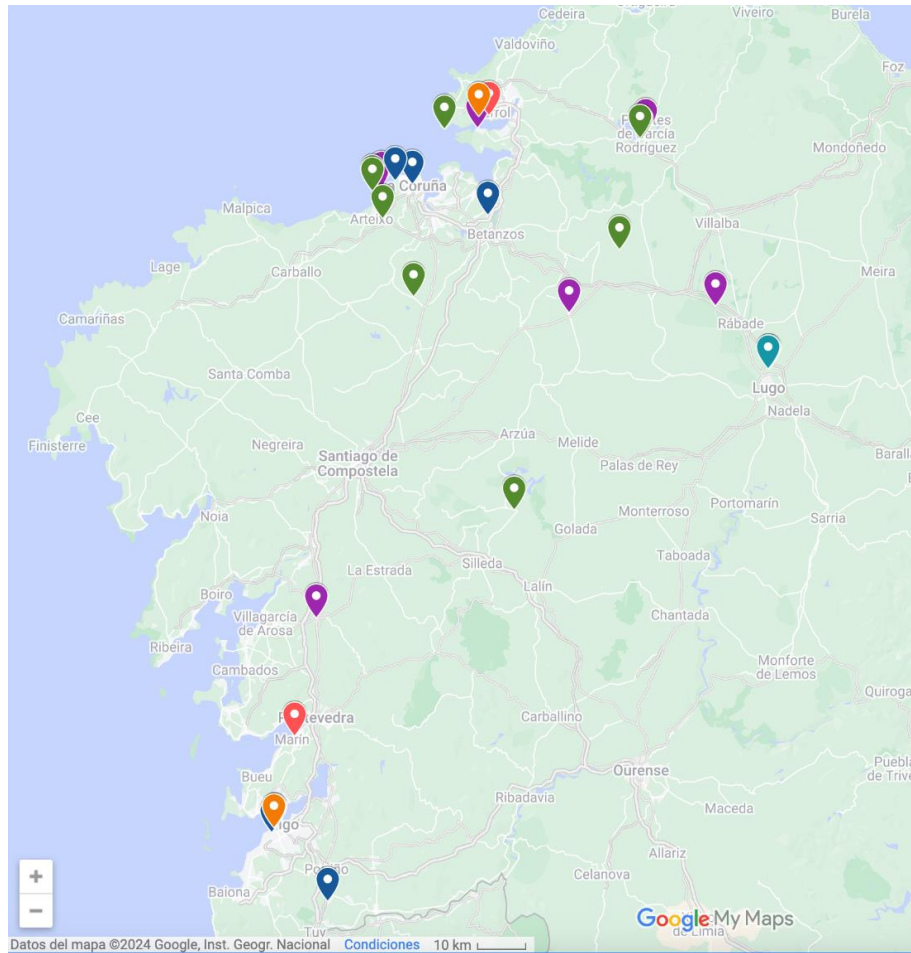
Categoría	Concretados (3)	En trámite (11)	Planificados (9)	Anunciados (5)
Producción H <sub>2</sub> (10)		Cine H2 H2 Verde Cruces H2 Pole GreenH2 Langosteira Eólica de Cordales Bis H2 Meirama	Faro de la energía verde Arteixo H2V	H2 Endesa Fisterra Energía <sup>a</sup>
Combustibles derivados (7)		Triskelion AHMON	Green Meiga Green Umia Proyecto Breogán GP H2 As Pontes	Maersk
Movilidad terrestre (3)		Julio Verne H2 Puerto de Ferrol	Puerto de Bouzas	
Transporte H <sub>2</sub> (1)		H2IDRÓXENO		
Fabricación componentes (2)			Gigafactory	H2 Tug Nodosa
I+D+i (5)	Zeppelin Unidad Mixta de Gas Renovables HiMov		Hydrogenset	Pila de hidrógeno astillero Freire

<sup>a</sup> Incluye también producción de amoníaco para una porción del H<sub>2</sub>.

En lo referente a la localización de los proyectos ([Figura 1](#)), los puertos de A Coruña, Ferrol y Vigo concentran gran parte de las iniciativas, seguidos de instalaciones industriales existentes y antiguas centrales térmicas (As Pontes y Meirama). La provincia de A Coruña concentra la

mayoría de los proyectos identificados, mientras que en Ourense no se ha anunciado ninguno. La mayoría de las iniciativas se ubican cerca de centros urbanos e industriales, con escasa presencia en áreas rurales, limitando su impacto en el desarrollo territorial y demográfico de Galicia.

**Figura 1. Mapa de localización aproximada de los proyectos identificados**



Código de colores: I+D+i, Producción H<sub>2</sub>, Movilidad terrestre, Combustibles derivados, Transporte de H<sub>2</sub>, Fabricación de componentes

La localización eficiente de los proyectos parece estar influenciada por la proximidad a la generación de energías renovables, los centros de consumo, o las infraestructuras de transporte, ya que esto podría ayudar a reducir costos asociados al proceso. En este contexto, los valles de hidrógeno son promovidos como zonas que integran toda la cadena de valor. En España, casi un tercio de los proyectos se sitúan en estos valles ([Asociación Española del Hidrógeno, 2023](#)). En Galicia no existen valles de hidrógeno que se ajusten a ese concepto integral<sup>2</sup>, que pudiesen generar sinergias y mayor valor a nivel local, aunque sí hay iniciativas que combinan más de una fase de la cadena de valor.

En ese sentido, algunos de los proyectos se ubican próximo a los consumidores de hidrógeno, como H<sub>2</sub> Meirama para Repsol o iniciativas como Green H<sub>2</sub> Langosteira y Julio Verne para transporte. Otros aprovechan instalaciones industriales existentes, como Green Meiga y Green

<sup>2</sup> En el censo de la Asociación Española del Hidrógeno se identifican los proyectos H<sub>2</sub> Pole y H<sub>2</sub> Meirama como Valles, pero con la información publicada al momento no parecen integrar más de una aplicación.

Umia junto a Finsa y Foresa o la iniciativa de Accionaplug ubicada en el polígono industrial de Morás (Arteixo). Por su parte, la localización en zonas de generación de energía renovable elegida por los proyectos de Tasga Renovables reduce la logística de transmisión. Proyectos orientados a la exportación de amoníaco y metanol, como Maersk, Triskelion y Ahmon se sitúan en los puertos. Un ejemplo de sinergia entre proyectos que se dio a conocer recientemente es la colaboración entre las empresas Reganosa y Forestal del Atlántico a través de sus proyectos H2 Pole y Triskelion, que estarían conectados por un hidroducto, siendo posible así la reducción de los costos y riesgos de ambos proyectos (Couce, 2024).

A partir de datos disponibles en fuentes públicas, se estimaron las principales variables del desarrollo de la economía del hidrógeno en Galicia (Tabla 2). Considerando los proyectos en trámite y planificados (excluyendo los anunciados por falta de información), la producción para finales de la década alcanzaría más de 50.000 toneladas anuales de hidrógeno verde y 400.000 toneladas de combustibles derivados (requiriendo aproximadamente 80.000 toneladas de H<sub>2</sub> verde). Estas cifras superarían los objetivos de la Xunta de Galicia para 2030, que plantean una capacidad instalada de 105.000 toneladas/año. La inversión total asciende a 2.000 millones de euros, aunque es inferior a los 3.800 millones previstos por la Xunta. Este valor podría aumentar conforme se revelen y avancen proyectos actualmente confidenciales, como el anunciado proyecto de Maersk.

En cuanto a la generación de empleo, se estima un mínimo de 2.000 puestos entre empleo directo e indirecto en la fase operativa, excluyendo construcción y proyectos de gran escala anunciados y con escaso grado de avance. La tasa de empleo que surge del análisis individual de algunos proyectos varía entre 0,6 y 6 empleos por millón de euros invertido, siendo cercana a 1 en aquellos de mayor envergadura. Estas cifras son significativamente menores a las estimadas para la cadena de valor del hidrógeno en la UE (10 empleos/millón invertido), probablemente porque no se plantea un desarrollo integrado de la cadena y no se consideran fases adicionales como el transporte y uso, que tienden a ser más intensivas en mano de obra.

**Tabla 2. Resumen de principales indicadores sobre los proyectos identificados**

Grado de avance	Concretados (cantidad: 3)	En trámite (cantidad: 11)	Planificados (cantidad: 9)	Anunciados (cantidad: 5)	Totales (cantidad: 28)
Inversión (millones €)	13,4	631	1.247 <sup>a</sup>	Más de 6 <sup>b</sup>	Más de 8
Total ayudas (millones €)	7,9 (Cantidad: 3)	81,2 (Cantidad: 4)	128,4 (Cantidad: 2)	-	217,6 (Cantidad: 9)
Empleos generados (directo + indirecto)	No aplica	518 (Cantidad: 4)	1271 (Cantidad: 6)	130 (Cantidad: 1)	1919 (Cantidad: 11)
Cantidad h2 (ton/a)	No aplica	26.551 (Cantidad: 8)	16.982 (Cantidad: 3)	10000 <sup>c</sup> (Cantidad: 2)	53.533 (Cantidad: 13)
Cantidad H2 derivados (ton/a)	No aplica	185.000 (Cantidad: 2)	221.450 (Cantidad: 4)	Más de 2 millones <sup>d</sup> (Cantidad: 2)	406.450 (Cantidad: 8)

<sup>a</sup> No considera el monto de inversión de Gigafactory por falta de información. / <sup>b</sup> No considera el monto de inversión de la pila de Astillero Freire por falta de información y para el proyecto de Maersk se asume la mitad del monto de 10 mil millones anunciado para Galicia y Andalucía. / <sup>c</sup> Solo el proyecto de Endesa define cantidad. / <sup>d</sup> La cantidad de metanol del proyecto de Maersk se estimó en función de la potencia de electrólisis anunciada y asumiendo operación continua.

El análisis de proyectos de mayor escala destinados a la producción de hidrógeno verde o combustibles derivados (excluyendo iniciativas de menor definición) destacan 11 iniciativas clave: Triskelion, Ahmon, Green Meiga, Green Umia, Proyecto Breogán, GP H2 As Pontes, H2 Pole, Arteixo H2V, Faro de la Energía Verde, H2 Meirama y Eólica de Cordales Bis. De estas, 6

iniciativas contemplan la producción de combustibles derivados, principalmente metanol (3), amoníaco (2) y e-fuels (1).

Los promotores de estos proyectos son, en su mayoría, empresas españolas del sector energético, como Acciona, Iberdrola, Naturgy y Repsol, junto a compañías con fuerte presencia gallega como Reganosa, Forestal del Atlántico (Grupo Gadisa), Foresa (Finsa) y Greenalia. Esto refleja la presencia de estrategias relativamente diferentes de los diferentes tipos de agentes, lo que dificulta la conformación de una estrategia de país para la configuración de una cadena o valle del hidrógeno que articule desde las capacidades de I+D en las Universidades y empresas, así como el entorno financiero y de mercado para dinamizarlo. En este sentido, resulta algo diferente a lo observado en Alemania, donde, como señala [Schwabe \(2024\)](#), la acción coordinada de actores locales e institucionales ha sido fundamental para la integración de tecnologías de hidrógeno en sistemas energéticos regionales. Siguiendo el enfoque multinivel de [Geels \(2024\)](#), estos proyectos en Galicia pueden interpretarse como nichos emergentes que buscan introducir innovaciones radicales dentro del régimen energético regional, pero sin una estrategia compartida. La combinación de acceso a fuentes renovables, el apoyo institucional de la Xunta de Galicia y los fondos europeos, gestionados por el Gobierno Central, definen el entorno para que estas iniciativas experimentales evolucionen hacia configuraciones más estables y competitivas, pero se requería un mayor alineamiento de las diferentes estrategias para conseguir una dinámica similar a la que ha sido documentada en regiones alemanas.

La energía de origen predominante será la eólica, con algunas menciones a la hidráulica, previendo abastecimiento mediante acuerdos de compra de energías renovables conectadas a la red para garantizar una mayor capacidad operativa. En cuanto a las tecnologías, se distribuyen de forma equitativa entre electrolizadores alcalinos y PEM, con un caso que menciona tecnología combinada PEM-SOEC.

Respecto al destino del hidrógeno, la mayoría de los proyectos prevén su uso in situ en refinerías y en aplicaciones de movilidad y usos térmicos, mientras que algunos contemplan su compresión para transporte o inyección en la red de gas natural. En el caso de combustibles derivados, el metanol se orienta a aplicaciones industriales en Galicia, especialmente en la industria de la madera y química, mientras que el amoníaco está principalmente destinado a la exportación a la UE para fertilizantes y combustibles.

El horizonte temporal de estos proyectos prevé su puesta en marcha entre 2026 y 2027, aunque es probable que solo los más viables logren iniciar operaciones hacia 2030 debido a retrasos en la construcción y en la confirmación de inversiones. Cinco proyectos han obtenido financiación de fondos europeos a través de programas como el Innovation Fund y el Next Generation (vía PERTE ERHA), que cubren entre el 10% y el 25% de la inversión total. Sin embargo, persiste incertidumbre sobre la obtención del resto del capital, lo que podría comprometer su viabilidad económica en el horizonte previsto.

La viabilidad y evolución de los proyectos dependen principalmente de acuerdos de compra y de la existencia de consumidores locales, como el caso del metanol producido por Foresa para Finsa o el hidrógeno de H2 Meirama destinado a la refinería de Repsol. Los promotores con plantas de energías renovables asociadas tienen ventajas competitivas, aunque algunos, a pesar de contar con fondos públicos, aún requieren confirmar financiación adicional para asegurar su viabilidad ([Roca, 2024](#)). La escasa información económica pública dificulta prever el futuro de estas iniciativas, pese a su potencial impacto en el desarrollo regional.

Por último, el apoyo de la Xunta de Galicia a estos proyectos, conforme a las declaraciones como Proyectos Industriales Estratégicos de tres de ellos (Triskelion, H2 Pole y H2 Meirama) y el reconocimiento como Iniciativas Empresariales Prioritarias de otros seis (AHMON, Arteixo

H2V, Green Meiga, Green Umia, GP H2 As Pontes y Proyecto Breogán), podría ser un factor relevante para agilizar los trámites y promover el desarrollo del sector.

## 4.2. Principales motores y barreras al desarrollo del hidrógeno en Galicia

Con el objetivo de sistematizar los motores y las barreras para el desarrollo del hidrógeno verde en Galicia, se aplica la herramienta PESTEL para el análisis de las seis dimensiones que la componen y, finalmente, se sintetizan los resultados en la [Tabla 3](#).

### 4.2.1. Político

Galicia, alineada con los planes de la UE y España, ha definido metas para desarrollar una industria de hidrógeno verde. Su Agenda energética 2030 promueve el hidrógeno como vector para aumentar el autoabastecimiento energético y descarbonizar sectores clave mediante la creación de un *hub* regional ([Xunta de Galicia, 2022](#)). Los usos del hidrógeno previstos en Galicia incluyen generación eléctrica en picos de demanda, sustitución del hidrógeno gris de procesos industriales, vehículos eléctricos de celda de combustible (FCEVs), e inyección en la red de gas para aplicaciones domésticas e industriales ([Xunta de Galicia, 2022](#)).

Para impulsar los planes de desarrollo, la Alianza Industrial Gallega del Hidrógeno Verde, creada en diciembre de 2022, reúne más de 700 entidades, incluidas empresas, clústeres, centros tecnológicos, universidades y autoridades portuarias ([Xunta de Galicia, s.f.a](#)). Sus objetivos incluyen mapear actores clave, fomentar colaboraciones, promover el hidrógeno en grandes consumidores y movilidad, impulsar su integración con la energía eólica, formar talento, apoyar la I+D+i, gestionar regulaciones, y facilitar financiación europea. Además, busca establecer el corredor atlántico de hidrógeno.

Además, existen algunas entidades privadas que concentran diversos actores de la cadena de valor del hidrógeno verde y que desarrollan actividades para promover el sector. Entre ellas destaca la Asociación Gallega del Hidrógeno (AGH2) por su rol de apoyo a la formación de trabajadores, desarrollo de normativas y estrategias, y promoción de actividades de I+D+i ([AGH2, s.f.](#)). Iniciativas como esta o la Alianza Industrial Gallega del Hidrógeno Verde pueden interpretarse como un paso hacia la creación de nichos regionales que buscan integrarse en el régimen energético establecido, una dinámica clave en transiciones sociotécnicas según el enfoque multinivel.

Sin embargo, desafíos políticos externos podrían afectar esta planificación. La exclusión de Galicia del proyecto H2Med, seleccionado como Proyecto de Interés Común de la UE, limita su conexión con el primer corredor europeo de hidrógeno que unirá España, Portugal, Francia y Alemania hacia 2030 ([Blanco Silva & Sarmiento Díez, 2023](#)). Pese a ello, Enagás ha declarado que continuará con el tramo Guitiriz-Zamora, con una inversión de 250 millones de euros, considerando que solo el 30% del hidrógeno producido en Galicia se consumiría localmente ([Rodríguez & Cuartas, 2024](#)). La extensión de redes internas conectadas a este ramal recaerá sobre la Xunta. Esto refleja que, aunque coexisten demandas local y externa, los proyectos mayores se orientan principalmente a la exportación, enfatizando la necesidad de conexión con H2Med, cuya ausencia limita su viabilidad.

La exclusión de Galicia del proyecto H2Med ilustra las dificultades de conectar los desarrollos regionales con regímenes más amplios, una barrera común en las transiciones sociotécnicas ([Geels, 2024](#)). Aunque el tramo Guitiriz-Zamora puede facilitar un grado de integración, su impacto dependerá de cómo se articule la demanda local y externa, reflejando

desafíos similares a los enfrentados por otras regiones en Europa, como destaca [Schwabe \(2024\)](#) en el caso alemán. En efecto, la relevancia de esa conexión europea dependerá del peso otorgado en la estrategia gallega de hidrógeno verde a la demanda externa, como una exportación más, o a la valorización interna del recurso generado, como elemento importante en la transición energética en el transporte y las actividades productivas.

Otro factor político radica en la evolución de la producción de energía renovable, como la eólica, cuya expansión depende de la evolución de las autorizaciones por parte de los diferentes gobiernos y, en particular, de los parques eólicos mayores a 50 MW u *offshore*, cuya competencia recae en el Gobierno estatal ([Blanco Silva & Sarmiento Díez, 2023](#)). Dado que el hidrógeno renovable depende de forma muy importante del potencial de la eólica, la cooperación entre administraciones juega un papel muy importante, así como la toma en consideración de sus efectos sobre el ecosistema marino y el sector pesquero.

#### 4.2.2. Económico

Desde una perspectiva económica, los proyectos de hidrógeno verde en Galicia enfrentan desafíos de competitividad similares a los globales. Una buena parte de los proyectos tiene escala entre mediana y grande<sup>3</sup> (100 MW), superiores a la mayoría en operación en Europa<sup>4</sup>, pero menores a las iniciativas de varios cientos de MW o incluso GW previstas para 2030 ([IEA, 2023](#)). Este factor podría limitar la competitividad frente a otras regiones, aunque varias propuestas incluyen fases para futuras ampliaciones, acorde con el desarrollo gradual de tecnologías para grandes escalas. Cabe tener en cuenta que en la actualidad el mayor proyecto global alcanza los 260 MW en China ([IEA, 2023](#)).

En cuanto al costo energético, correspondiente a más de la mitad del costo nivelado del hidrógeno (LCOH), Galicia posee un alto potencial para energías renovables, destacándose la eólica y la hidráulica. Igualmente, para proyectos de menor escala, sobre la región Sur se prevé también utilizar energía solar ya que, si bien presenta menor potencial respecto a otras CA, se proyecta como la fuente más económica de cara al futuro.

En lo que refiere a inversiones, si bien los proyectos que han avanzado totalizan apenas la mitad de las previsiones de la Xunta en 2022 para el desarrollo de este sector, los montos informados no contemplan en su mayoría las inversiones en proyectos de renovables asociados, lo que incrementa las necesidades financieras más allá de los presupuestos anunciados.

Además de la actividad de su propia cadena de valor, a raíz de los altos costos que implica el transporte de hidrógeno verde mientras no se desarrollan los hidroductos, la disponibilidad de hidrógeno puede estimular el desarrollo económico de la región mediante la atracción de nuevas industrias dependientes de este vector energético, como la producción de aluminio verde, la metalurgia avanzada, la fabricación de combustibles, fertilizantes y acero verde. Estos efectos de arrastre podrían generar encadenamientos productivos hacia adelante y hacia atrás en sectores estratégicos para la reindustrialización de Galicia, contribuyendo tanto a la diversificación de su estructura productiva como a su especialización en tecnologías limpias. En ese sentido, aunque algunas fuentes señalan su potencial para aumentar la contribución

<sup>3</sup> El censo de proyectos en España de la Asociación Española del Hidrógeno clasifica como proyectos medianos los de entre 10-100 MW y grandes entre 100-1000 MW.

<sup>4</sup> El de Iberdrola en Puertollano está entre los más grandes de Europa y tiene una capacidad de 20 MW ([Iberdrola, s.f.](#)). Actualmente la planta más grande es la de Yara en Noruega, recientemente inaugurada y con capacidad de 24 MW ([Yara International, 2024](#)).

industrial al PIB gallego y acercarlo al objetivo del 20% que establecen algunas estrategias macroeconómicas (Blanco Silva & Sarmiento Díez, 2023), la abundancia de energías por sí sola no suele ser un factor de peso para la localización de proyectos industriales (Varela & Sánchez, 2014). Otros factores, como disponibilidad de materias primas, mano de obra cualificada y estrategias empresariales, complementariedades intersectoriales (clústeres) son determinantes para la ubicación de proyectos.

Asimismo, fomentar la integración de empresas locales en la cadena de valor del hidrógeno (I+D, diseño, ingeniería, fabricación, operación y mantenimiento) maximizaría el valor agregado retenido en Galicia. Para ello, son necesarios esfuerzos de coordinación entre empresas, incentivos a alternativas locales, I+D+i y formación de personal adaptado al mercado. A pesar de ello, gran parte de los proyectos en Galicia está liderada por multinacionales, las cuales podrían priorizar proveedores o clientes externos, reduciendo el impacto económico local. Estas empresas buscan maximizar beneficios, por lo que su reinversión a nivel local no es prioritaria, limitando el beneficio de su actividad en el desarrollo de la comunidad local.

Por otra parte, el sector naval gallego, podría beneficiarse de este desarrollo gracias a su proximidad a puertos, potenciales hubs de hidrógeno, y por la experiencia en fabricación de equipamiento como base para abastecer la industria del hidrógeno y de las renovables. Casos como Gigafactory, H2 Tug Nodosa y Pila en Astillero Freire son ejemplos de la colaboración entre navieras y la industria del hidrógeno.

El acceso a financiación es crucial para la competitividad en esta industria. Varias iniciativas han recibido fondos europeos, como el PERTE ERHA financiado con Next Generation y el programa Invest EU del Banco Europeo de Inversiones. La Xunta de Galicia también ha implementado medidas como la estrategia de compra pública innovadora para la implementación del *Centro Gallego de Soluciones Innovadoras en torno a la cadena de valor del hidrógeno verde*, que movilizará entre 5 y 10 millones de euros para I+D+i (Xunta de Galicia, 2023), iniciativa que podría ser financiada por la línea FID del Ministerio de Ciencia e Innovación en el marco del FEDER 2021-27. Asimismo, el INEGA lanzó subvenciones de hasta 5,5 millones de euros para proyectos de gases renovables, con intensidades de ayuda de hasta 65% para pequeñas empresas, buscando movilizar inversión privada similar (INEGA, 2024b). Las intensidades de ayuda van desde un 65% del coste elegible para empresas pequeñas hasta un 45% para grandes empresas, además de otras ponderaciones para promover la participación de pequeñas empresas.

Otras fuentes de financiación incluyen líneas de sostenibilidad ofrecidas por bancos comerciales como Abanca, Santander y BBVA. Abanca, asociada a AGH2, se posiciona como entidad líder en renovables con inversiones anuales de 300-350 millones de euros y también una línea específica para energías renovables denominada Abanca Energy (ABANCA, 2023). Sin embargo, las empresas promotoras de proyectos aún no han divulgado información sobre el acceso a créditos o inversiones de capital externos.

Por otro lado, figuras del sector financiero como los fondos de capital riesgo y los "business angels", esenciales para apoyar proyectos innovadores, tienen una presencia limitada tanto en Galicia como en España, a pesar de los incentivos fiscales. En este contexto, XesGalicia, una sociedad gestora de entidades de inversión de fondos públicos desempeña un papel clave con un capital gestionado cercano a los 200 millones de euros (Xesgalicia, s.f.). Entre sus herramientas se incluyen Sodiga, dedicada a inversiones en empresas con alto potencial de crecimiento, y los fondos de inversión colectiva orientados al desarrollo industrial gallego, la innovación y el emprendimiento (XesGalicia, s.f.).

### 4.2.3. Social

La industria del hidrógeno verde es relativamente intensiva en capital. Con todo, su expansión en Galicia podría impulsar el desarrollo social mediante la creación de empleos cualificados, estimados en alrededor de 2000 puestos solo para los proyectos considerados en este estudio. Sin embargo, la tasa de generación de empleo, cercana a 1 por cada millón de euros invertido, es modesta y está por debajo de las expectativas de la UE para el sector, que es de 10 puestos de trabajo por millón de euros de inversión considerando empleos directos e indirectos en toda la cadena de valor del hidrógeno verde ([European Commission: Directorate-General for Energy, et al., 2021](#)).

Galicia cuenta con una base sólida en términos de centros universitarios y personal técnico cualificado, pero la falta de experiencia en la industria química y de gases plantea la necesidad de formación específica y de recualificación en toda la cadena de valor. En respuesta, la Xunta de Galicia, junto con asociaciones como AGH2 y el Clúster de Energías Renovables, lleva algunos años desarrollando cursos de especialización para trabajadores, autónomos y desempleados. Además, es crucial adaptar los programas de formación superior en química e ingenierías para que los futuros profesionales estén preparados para integrarse rápidamente en los próximos 3 o 4 años en este mercado emergente.

Por otra parte, la localización de proyectos en zonas rurales podría contribuir a revitalizar estas áreas al generar empleo y frenar la despoblación. No obstante, la mayoría de los proyectos actuales se concentran en áreas urbanas y portuarias, lo que limita su impacto en el ámbito rural. Para contrarrestar esta tendencia se requiere de la intervención de la Xunta mediante planes de ordenación que promuevan instalaciones en sectores más despoblados, contribuyendo a la fijación de la población por medio de la generación de oportunidades de empleo.

De lo contrario, este asunto podría verse aún más agravado por la intensificación de la instalación de energías renovables en las zonas rurales, que constituyen en muchos casos un factor adicional para promover la despoblación. Si bien los aerogeneradores normalmente no ocupan áreas productivas, la energía fotovoltaica que se plantea como complementaria para algunos sitios sí suele competir con la actividad agrícola (al igual que la eólica marina en proceso de planificación puede afectar a las actividades pesqueras). Las plantas de producción de hidrógeno, aunque no parecen amenazar los recursos hídricos en Galicia, podrían competir con otros usos del agua.

Estos asuntos constituyen el impacto social de estos proyectos y requieren atención en las evaluaciones ambientales, atendiendo especialmente a las controversias y diversidad de opiniones al respecto de la instalación de renovables ([Regueiro-Ferreira & Doldán-García, 2020](#); [Regueiro Ferreira et al., 2024](#)). Los conflictos relacionados con los parques eólicos en Galicia son un ejemplo relevante. Como señalan [Paz Aldrey y Cortés Vázquez \(2024\)](#), estos proyectos, presentados como ecológicos y beneficiosos, han generado elevados niveles de conflictividad social en contextos rurales gallegos, al transformar el uso del suelo y afectar las dinámicas comunitarias. Recientemente, el Tribunal Superior de Justicia paralizó medio centenar de proyectos, reflejando la creciente oposición de comunidades locales ([Muñoz, 2024](#)). Mientras colectivos sociales y ambientalistas apoyan estas decisiones, los promotores y la Xunta expresan preocupación por las repercusiones económicas, que podrían afectar también a los proyectos de hidrógeno.

Otro desafío son las posibles consecuencias de los parques eólicos marinos sobre la pesca, sector clave en Galicia. Los planes de ordenación marítima asignaron más del 50% de las áreas de alto potencial eólico marino en la demarcación noratlántica a zonas con alta actividad pesquera, generando objeciones por parte de las cofradías de pescadores ([MITECO, 2023b](#)). A

través del "Manifiesto de Burela", los pescadores han expresado su rechazo, argumentando impactos en los caladeros y en la biodiversidad a causa de la contaminación acústica, los cambios en la velocidad y dirección de las olas y la alteración de las corrientes marinas ([Economía Digital Galicia, 2024](#)). Estas preocupaciones son relevantes, ya que no existen precedentes de parques eólicos en las condiciones particulares de las costas gallegas.

Estos casos ilustran que la planificación territorial del hidrógeno verde en Galicia ya enfrenta desafíos sociales significativos, similares a los observados en otras tecnologías energéticas como la eólica. Los conflictos expuestos evidencian la necesidad de mejorar la planificación y gestión de proyectos para minimizar impactos negativos y maximizar beneficios sociales y ambientales. La planificación del hidrógeno verde en Galicia debe priorizar las necesidades locales, promoviendo una cadena de valor con fuerte contribución regional, desde la investigación al consumo. Esto permitiría que los beneficios económicos no se concentren solo en grandes empresas, sino que también impulsen el desarrollo de la comunidad autónoma. Además, es necesario desarrollar estrategias que fomenten la participación temprana de la sociedad, la atención a sus preocupaciones, la transparencia en la información y una planificación territorial equitativa, incluyendo mecanismos de compensación ambiental o social, que contribuyan a generar legitimidad y respaldo ciudadano.

#### 4.2.4. Tecnológico

El desarrollo del hidrógeno verde debe enfocarse como una innovación que requiere de la configuración y colaboración de toda una cadena de agentes, desde la investigación, la innovación, la producción, el almacenamiento y la distribución hasta el consumo. La viabilidad de los proyectos de producción de hidrógeno en Galicia depende de los avances tecnológicos que reduzcan el CAPEX de las instalaciones y de contar con energía eléctrica de bajo costo para operar con OPEX reducidos. En este sentido, el proceso de difusión y aceleración de la tecnología de hidrógeno se vuelve crucial. Para ello, según señala [Geels \(2024\)](#), la evolución tecnológica, la reducción de costos, la mejora en la percepción del consumidor, los debates sociales y el apoyo gubernamental son factores clave que impulsan la adopción de tecnologías, como ocurre con las energías renovables.

Las tecnologías de electrólisis y las aplicaciones finales del hidrógeno están en fase de maduración, lo que presenta oportunidades para el sector I+D+i gallego. Según el reciente mapa de capacidades industriales y de equipos de I+D+i en Galicia publicado por la Alianza Industrial Gallega del Hidrógeno Verde, se han identificado 91 entidades con capacidades en distintos eslabones de la cadena de valor del hidrógeno verde. La mayoría de estas entidades se concentran en los ámbitos de servicios tecnológicos y profesionales (36%) e I+D+i (18%), mientras que actividades como la fabricación de componentes y la producción de hidrógeno también cuentan con representación significativa ([AIGHV, 2024](#)). Estas capacidades identificadas se concentran principalmente en las provincias de A Coruña (52%) y Pontevedra (40%), mientras que Lugo y Ourense reúnen solo el 8% restante.

En el ámbito de la investigación, Galicia cuenta con universidades y centros tecnológicos de relevancia, como EnergyLab, CETIM, AIMEN, CTAG y CETAQUA. Proyectos destacados incluyen investigaciones en materiales avanzados para almacenamiento y compresión, así como técnicas innovadoras para la producción de hidrógeno, como la fermentación oscura y el uso de agua de mar. También se han identificado importantes infraestructuras de I+D+i específicas, entre ellas laboratorios de análisis y ensayos, reactores de fermentación, plantas piloto para electrólisis, y herramientas avanzadas para simulación y gestión energética ([Alianza Industrial Gallega del Hidrógeno Verde, 2024](#)). Destaca el proyecto Hi\_mov, una colaboración entre España y Portugal

en la Euroregión sobre aplicaciones de movilidad, con la participación de USC, CTAG y EnergyLab.

Aunque en la fabricación de electrolizadores China tiene un papel dominante y ofrece los costos más bajos, obligando a muchos proyectos europeos a depender de importaciones ([Hydrogen Europe, 2024](#)), el tejido industrial gallego cuenta con un notable potencial de adaptación, especialmente en sectores como la automoción y el naval, que pueden desempeñar un papel clave en la consolidación de la cadena de valor local del hidrógeno. A pesar de que la UE lidera en patentes relacionadas con esta tecnología, las innovaciones que se concentran en Alemania, Francia y los Países Bajos ([IEA, 2023](#)), siguen enfrentando desafíos debido a su dependencia de fuentes externas para minerales esenciales en la fabricación de componentes, como el platino y el iridio utilizados en electrolizadores. En este contexto, se espera que el número de agentes con capacidades en torno al hidrógeno aumente en Galicia a medida que avancen los proyectos y se desarrolle infraestructura clave, como hidrolineras y microrredes integradas con generación renovable.

En cuanto a la provisión de energía renovable, Galicia tiene uno de los mejores recursos energéticos de la Península Ibérica ([Blanco Silva & Sarmiento Díez, 2023](#)), pero se requiere un gran despliegue de nuevas instalaciones. Para alcanzar el objetivo de 100.000 toneladas de hidrógeno en 2030, se necesitarían aproximadamente 2 GW, lo que representa más de la mitad de la capacidad eólica instalada hasta 2023 ([Red Eléctrica, 2024](#)). Este aspecto podría retrasar los proyectos, especialmente por el requisito de adicionalidad impuesto por la UE y por las dificultades legales y sociales que afectan a la instalación de parques eólicos.

Una alternativa clave sería la repotenciación de parques eólicos al final de su vida útil, mejorando la eficiencia sin aumentar el área ocupada. Además, se espera que la tecnología de eólica marina flotante permita instalar parques en las costas, aunque será necesario desarrollar estrategias que faciliten su convivencia con la actividad pesquera, sector clave en Galicia. Finalmente, la falta de infraestructura para la distribución del hidrógeno, como hidrolineras, representa una barrera importante. Actualmente, Galicia carece de estas estaciones, en contraste con las más de 100 de Alemania ([AGH2, 2023](#)). También se señala la insuficiente capacidad de las instalaciones eléctricas para soportar la demanda de la transición energética, lo que requiere duplicar las instalaciones en los núcleos urbanos ([Caruncho, 2024](#)). Superar estas limitaciones requerirá inversiones públicas en infraestructura que faciliten la atracción de actividad industrial.

#### 4.2.5. Ambiental

El desarrollo del hidrógeno verde en Galicia enfrenta factores ambientales tanto impulsores como restrictivos. Entre los primeros destaca la abundancia de recursos hídricos y el significativo potencial en energías renovables, especialmente eólica e hidráulica, fundamentales para la producción mediante electrólisis, un método que genera emisiones casi nulas de gases de efecto invernadero (GEI) durante la fase operativa ([Wilkinson et al., 2023](#)). Asimismo, las políticas públicas enfocadas en la transición energética y en la descarbonización refuerzan este desarrollo.

Sin embargo, persisten importantes desafíos ambientales. La construcción de infraestructuras renovables, como parques eólicos y plantas fotovoltaicas, puede competir con tierras productivas y áreas protegidas, generando conflictos con las comunidades rurales. Además, aunque Galicia dispone de abundantes recursos hídricos, la creciente presión sobre este recurso, agravada por períodos recientes de escasez en ciertas áreas ([Pérez, 2023](#)), podría limitar su disponibilidad para la producción de hidrógeno. La huella hídrica de esta tecnología,

que puede superar los 30 kg de agua por kg de hidrógeno cuando se consideran procesos adicionales, subraya la necesidad de explorar fuentes alternativas como la desalinización y el reciclaje de aguas residuales (Arrigoni et al., 2024).

Por otra parte, el análisis del ciclo de vida (LCA) evidencia que, aunque el hidrógeno verde tiene un menor potencial de calentamiento global (GWP) frente a métodos convencionales, la producción intensiva de infraestructuras renovables aumenta las emisiones asociadas a la minería y a la fabricación de materiales críticos, como el iridio para los electrolizadores, cuya demanda podría superar la capacidad global de producción en las próximas décadas (Wilkinson et al., 2023; Moreira & Laing, 2022).

Asimismo, otro factor importante a considerar es el impacto ambiental aún no completamente cuantificado de la energía eólica marina, uno de los desarrollos asociados a la producción de hidrógeno. La falta de estudios detallados sobre los efectos de estas instalaciones en el ecosistema marino genera incertidumbre y puede provocar resistencia por parte de la población local, el sector pesquero y los ambientalistas. Aunque no existen parques eólicos marinos instalados en la costa gallega, los estudios realizados en otras regiones indican que las turbinas pueden afectar a especies comerciales debido a las vibraciones, destellos visuales, emisiones electromagnéticas de los cables y ruido generado durante su instalación y operación (Executive Agency for Small and Medium-sized Enterprises et al., 2020).

Si bien estas alteraciones pueden ahuyentar a peces y mamíferos marinos o afectar a crustáceos, las estructuras también pueden actuar como arrecifes artificiales, atrayendo especies y aumentando la biodiversidad, aunque podrían favorecer la introducción de especies invasoras y generar impactos ecosistémicos inciertos (European Commission: European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency et al., 2021). Además, la exclusión de la pesca en estos parques podría ofrecer refugio para algunas especies, pero sus beneficios prácticos aún requieren mayor investigación, especialmente en Galicia.

#### 4.2.6. Legal

La falta de un marco normativo claro y armonizado representa un desafío clave para el desarrollo del hidrógeno verde. La certificación de las emisiones asociadas a su ciclo de vida es fundamental para evitar la comercialización de combustibles con alto contenido de carbono como sostenibles (IEA, 2023). La Unión Europea aplica un enfoque integral a lo largo de la cadena de valor, estableciendo un límite de 3.38 kgCO<sub>2</sub>/kg H<sub>2</sub> (incluyendo transporte y uso final) bajo el acto delegado (UE) 2023/1185, mientras que en Estados Unidos se fija un umbral de 4 kgCO<sub>2</sub>/kgH<sub>2</sub> solo hasta la salida de producción, según la Ley de reducción de la inflación (Ley de reducción de la inflación (IRA), 2022; Comisión Europea, 2023). Estas discrepancias generan incertidumbre en el mercado global y reflejan prioridades nacionales divergentes.

La Unión Europea, además, ha complementado estas regulaciones con requisitos de sostenibilidad para la producción de hidrógeno verde, como la correlación geográfica y temporal con las fuentes renovables, para garantizar su integración en los sectores industrial y del transporte (Stones, 2023).

En Galicia, donde se prevé que el hidrógeno producido se comercialice mayoritariamente dentro del mercado europeo, resultan aplicables las restricciones legales establecidas por esta para la categorización del hidrógeno verde. Entre estas, destaca el requisito de adicionalidad, que limita el uso de energía hidráulica existente para compensar períodos de baja generación eólica. Este criterio exige un mayor despliegue de nuevas instalaciones de energías renovables para garantizar la sostenibilidad de la producción. Asimismo, algunos proyectos de energías renovables requieren la aprobación del gobierno central en lugar de la Xunta de Galicia, lo que

subraya la necesidad de herramientas de coordinación interinstitucional para agilizar los trámites administrativos (Blanco Silva & Sarmiento Díez, 2023).

Algunos expertos del sector del hidrógeno en Galicia consideran que la falta de seguridad jurídica es la principal barrera para el desarrollo de proyectos en la región (Caruncho, 2024). Estos señalan que, aunque la legislación europea es uniforme, su implementación local enfrenta obstáculos debido a la influencia de grupos opositores y a la lentitud administrativa, lo que genera incertidumbre y podría desincentivar la inversión. En este contexto, cobra especial relevancia el cumplimiento de la Ley 21/2013, de evaluación ambiental, que regula los procedimientos de autorización ambiental aplicables a muchos de estos proyectos, que viene experimentando recurrentes reformas en cuanto a su aplicación, lo que puede añadir complejidad y tiempos adicionales al proceso de tramitación.

Sin embargo, algunos proyectos de hidrógeno ya han recibido autorización ambiental sin mayores oposiciones ni retrasos significativos, aunque la mayoría están vinculados a nuevas instalaciones energéticas, principalmente eólicas, lo que podría generar conflictos con este sector. En algunos casos, como el proyecto de Tasga en Guitiriz y Aranga, grupos como la Sociedade Galega de Historia Natural han expresado su oposición debido al impacto ambiental relacionado con el consumo de agua y la biodiversidad (Brión Insua, 2024).

Para facilitar la implantación de proyectos, la Xunta promueve las declaraciones de Proyectos Industriales Estratégicos (PIE) e de Iniciativas Empresariales Prioritarias (IEP). Estas designaciones buscan atraer inversiones, fomentar la competitividad y simplificar los procedimientos administrativos. Los proyectos PIE requieren una inversión mínima de 20 millones de euros y la creación de 100 empleos directos, aunque pueden obtener esta declaración proyectos con una inversión de 2 millones de euros y 25 empleos directos si justifican su impacto significativo para el desarrollo industrial de la región (Xunta de Galicia, s.f.b). Estos requisitos son similares a los exigidos para las IEP<sup>5</sup>.

En ambos casos los beneficios otorgan carácter prioritario y reconocen el interés público de los proyectos, reduciendo a la mitad los plazos administrativos. Además, en el caso de los PIE otorgan acceso a subvenciones sin concurrencia competitiva y prevalencia sobre el planeamiento urbanístico vigente, obviando los procedimientos de control y licencia municipales (Xunta de Galicia, s.f.b). También pueden recibir la declaración de utilidad pública e interés social, facilitando procesos expropiatorios y la imposición de servidumbres necesarias para su ejecución. Sin embargo, las IEP requieren la tramitación municipal para obtener las licencias necesarias, mayor diferencial respecto de los PIE (Xunta de Galicia, s.f.b).

La mayoría de los proyectos de hidrógeno podrían alinearse con estos requisitos, representando una herramienta clave para su promoción. De los proyectos identificados en este estudio, tres cuentan con la declaración de PIE y cinco con la de IEP, de los cuales tres ya tienen autorizaciones ambientales aprobadas.

Otro aspecto que podría beneficiar la economía regional sería establecer una estructura jurídica que asegure que una parte significativa de los beneficios derivados de los proyectos industriales permanezca en Galicia (Blanco Silva & Sarmiento Díez, 2023). La Administración autonómica debería liderar esta iniciativa, promoviendo la participación de empresas locales en el desarrollo y ejecución de los proyectos, lo que fortalecería la economía regional.

---

<sup>5</sup> Los requisitos para las IEP fueron consultados del procedimiento IN230B - Declaración de iniciativa empresarial prioritaria. Sede Electrónica de la Xunta de Galicia, el 7 de julio de 2024, en: [https://sede.xunta.gal/detalle-procedemento?langId=es\\_ES&codtram=IN230B&ano=2023&numpub=1](https://sede.xunta.gal/detalle-procedemento?langId=es_ES&codtram=IN230B&ano=2023&numpub=1)

**Tabla 3. Resumen de análisis PESTEL sobre el desarrollo de hidrógeno en Galicia**

	Político	Económico	Social	Tecnológico	Ecológico	Legal
Motores	<p>- Marco estratégico de la UE y España. - Objetivo Axenda Enerxética 2030: 105.000 ton H2. - Alianza Industrial Gallega del H2V colaboración público-privada. - Asociaciones como AGH2 y Cluergal.</p>	<p>- Recurso renovable abundante, menor LCOE. - Apoyo económico como Next Generation (PERTE ERHA), Innovation Fund, FEDER. - Potencial desarrollo industrial asociado. - Posible exportación por hidroductos y puertos. - Demanda interna en refinerías e industria química. - Integración de empresas gallegas en CV. - Apoyo económico de la Xunta mediante CPI, subvenciones INEGA. - Bancos comerciales con líneas de apoyo a renovables.</p>	<p>- Creación de empleo en áreas especializadas. - Presencia de universidades y algunos cursos técnicos en H2 recientes. - Potencial de fijar población en el rural con proyectos.</p>	<p>- Oportunidades de I+D+i. - Centros tecnológicos y universidades con líneas de desarrollo en H2. - Experiencia en instalaciones de renovables. - Infraestructura portuaria disponible. - Combinación de eólica e hidráulica en la matriz, con 76% de renovables.</p>	<p>- Abundancia de recursos hídricos y energéticos en Galicia. - Objetivos de descarbonización de la CA.</p>	<p>- Aplican requisitos de RED III y ETS de la UE. - Declaraciones de la Xunta de PIE e IEP para simplificar trámites administrativos.</p>
Barreras	<p>- Exclusión del H2Med por parte de la UE, Enagás igualmente conectaría. - Competencias compartidas en proyectos de eólica con el MITECO.</p>	<p>- Escala de los proyectos planteados podría comprometer competitividad. - Falta de competitividad del H2V. - Limitaciones en la demanda y falta de <i>offtakers</i> confirmados. - Alto riesgo limita acceso a financiación de largo plazo. - Escasa presencia de capital riesgo.</p>	<p>- El personal requiere recualificación para industria química y H2. - Interferencia de instalaciones de renovables con actividades tradicionales. - Conflictos que han paralizado proyectos de eólica. - Rechazo de pescadores a la eólica marina.</p>	<p>- Falta de competitividad tecnológica de Europa respecto a China. - Ausencia de tecnología de electrólisis y FCEVs producidos en Galicia. - Bajo nivel de desarrollo tecnológico traducido en patentes en España. - Eólica marina flotante aún en etapa de maduración comercial. - Ausencia de infraestructura de distribución de H2. - Insuficiente capacidad en redes eléctricas.</p>	<p>- Competencia de instalaciones de renovables con áreas protegidas Red Natura 2000. - Eventos de escasez de agua recientes en algunas regiones. - Impacto de eólica marina en ecosistemas no del todo estudiado.</p>	<p>- Restricciones de adicionalidad y correlación de la UE para renovables. - Procesos jurídicos de aprobación de proyectos comprometen garantías de proponentes y sociedad civil.</p>

## 5. Conclusiones

El hidrógeno verde es un nuevo vector energético sustentable que se encuentra en una fase de arranque y desarrollo en diferentes partes del mundo y que empieza a configurarse como un nicho tecnológico que va abriéndose paso con dificultades en el marco del régimen energético dominante. Galicia cuenta con potencial para el desarrollo del hidrógeno verde gracias a su disponibilidad de recursos renovables y a un marco político que ha comenzado a favorecer la transición energética. Sin embargo, el sector permanece en una fase inicial, con 28 proyectos identificados, pero ninguno operativo. Además, la inversión anunciada hasta ahora es inferior a lo inicialmente proyectado, lo que subraya la complejidad del proceso de arranque, la dificultad para reunir recursos y la necesidad de una mayor coordinación y transparencia.

El carácter incipiente de este nuevo nicho energético refleja un conjunto de dinámicas parcialmente coincidentes con las observadas en otros territorios europeos. Tal como muestran los estudios realizados con un enfoque multinivel, las iniciativas en que están en proceso pueden interpretarse como nichos en formación que enfrentan barreras estructurales del régimen sociotécnico establecido. Conforme evidencian otros estudios ([Schwabe, 2024](#)), la integración de la cadena de valor y la construcción de estructuras legales y organizativas son factores críticos para la consolidación de estos nichos.

Entre las barreras principales identificadas se encuentran la falta de competitividad frente a alternativas energéticas, la incertidumbre de la demanda y la insuficiencia de infraestructura para el almacenamiento y la distribución. Además, la alta dependencia de tecnología importada representa un obstáculo tanto tecnológico como económico. Estas limitaciones también dificultan el desarrollo de un ecosistema más inclusivo que promueva la participación de áreas rurales y fomente la sostenibilidad social y ambiental.

Un aspecto notorio del enfoque español, reflejado en Galicia, es la proyección del hidrógeno verde como vector de exportación. Esto se evidencia en la concentración geográfica de los proyectos en zonas urbanas e industriales, como los puertos de A Coruña, Ferrol y Vigo. Dicha estrategia parece fundamentarse en la disponibilidad de infraestructuras existentes, en la proximidad a consumidores locales, y, especialmente, en el acceso directo a los puntos de salida hacia el mercado europeo a través de los puertos. Este enfoque contrasta con modelos más integradores (e.g. el caso de Alemania descrito por [Schwabe \(2024\)](#)), donde el hidrógeno verde se concibe como un componente de una transición energética descentralizada que busca equilibrar el desarrollo urbano y rural mediante valles de hidrógeno.

Esta tendencia plantea un doble desafío para Galicia: primero, garantizar una distribución más equitativa de los beneficios económicos y sociales; y segundo, fomentar una transición energética que contribuya al desarrollo sostenible y distribuido en el territorio, incluidas las áreas rurales.

Nuestro análisis y la experiencia comparada sugieren la importancia de fomentar valles de hidrógeno como una estrategia para diversificar proyectos, reducir costos y distribuir los beneficios económicos y sociales de manera equitativa. Asimismo, esta transición energética puede y debe contribuir al desarrollo económico y demográfico de las áreas rurales, para lo cual deben clarificarse los objetivos centrales que orientan la estrategia pública y privada de modo que eviten la supeditación a la dinámica de los mercados externos de hidrógeno. Igualmente, es fundamental promover la colaboración entre empresas, centros de investigación y universidades para fortalecer la I+D+i y construir un sector competitivo a nivel regional e internacional.

Las políticas públicas han tenido un papel relevante al simplificar procedimientos administrativos mediante figuras como los PIE y las IEP. No obstante, estas medidas no han logrado superar barreras clave como la falta de acuerdos de compra a largo plazo ni las

limitaciones en infraestructura para almacenamiento y distribución, que requieren una visión estratégica más clara y compartida. Además, el sector enfrenta retos específicos derivados de las preocupaciones ambientales asociadas con la expansión de la energía eólica y la ausencia de un ecosistema colaborativo que integre actores de la sociedad civil, centros de investigación y universidades. Superar estos desafíos también requiere fortalecer la legitimidad social de los proyectos mediante estrategias ligadas al tejido productivo local y sus necesidades de cara a la sustentabilidad así como mecanismos participativos adecuados al contexto territorial.

La experiencia internacional y los estudios previos sugieren que para superar estas barreras estructurales se requiere una combinación de medidas: acceso a financiamiento, alianzas público-privadas y el diseño de estrategias que consideren tanto las especificidades locales como las dinámicas globales. En este contexto, el enfoque multinivel destaca la importancia de alinear visiones entre actores y movilizar recursos para facilitar la transición desde los nichos hacia un régimen sociotécnico más sostenible.

Desde una perspectiva teórica, el enfoque multinivel ofrece una herramienta útil para analizar las transiciones energéticas en contextos específicos como Galicia. Sin embargo, el estudio revela la necesidad de integrar metodologías complementarias, como el análisis del ciclo de vida, para evaluar los impactos ambientales y sociales de los proyectos. Además, sería relevante contar con información más detallada sobre los proveedores de tecnología y los usuarios finales comprometidos, así como cuantificar los apoyos económicos disponibles.

En conclusión, el desarrollo del hidrógeno verde en Galicia requiere superar barreras estructurales y de mercado a través de una planificación estratégica que considere los recursos locales y las necesidades de la transición energética del tejido productivo gallego sin supeditarse a las dinámicas foráneas o globales. Un enfoque más coordinado, transparente y sostenible podría posicionar a Galicia como un referente en transiciones energéticas, maximizando el impacto positivo en términos económicos, sociales y ambientales.

## Agradecimientos

Esta investigación ha contado con el apoyo de la Secretaría General de Migración de la Xunta de Galicia, a través de una beca BEME concedida a Giannina Pinotti; del grupo de investigación ICEDE, al que pertenece Xavier Vence, reconocido como Grupo de Investigación de Referencia Competitiva ED431C 2022/15 y financiado por la Xunta de Galicia; y del proyecto “REVALEC” (PID2022-141162NB-I00), financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033/EFDR, UE.

## Contribución de los autores

Conceptualización, G.P. e X.V.; Metodología, G.P. e X.V.; Adquisición de datos, G.P.; Análisis e interpretación, G.P. e X.V.; Redacción- Preparación del borrador, G.P.; Visualización, G.P.; Redacción-Revisión & Edición, G.P. e X.V.; Supervisión, X.V.

Todos los autores han leído y están de acuerdo con la versión publicada del manuscrito.

## Referencias

ABANCA. (2023, 1 junio) *Nace ABANCA energy para apoyar a empresas y familias en la transición energética*. ABANCA Comunicación. Recuperado el 4 de julio de 2024 de <https://comunicacion.abanca.com/es/noticias/nace-abanca-energy-para-apoyar-a-empresas-y-familias-en-el-proceso-de-transicion-energetica>

- Achinas, S., Horjus, J., Achinas, V., & Euverink, G. (2019). A PESTLE analysis of biofuels energy industry in Europe. *Sustainability*, 11, 5981. <https://doi.org/10.3390/su11215981>
- Asociación Gallega del Hidrógeno [AGH2] (2023, 26 de abril). Entrevista Luis Moreno, director del CTAG - AGH2. Asociación Gallega del Hidrógeno. Recuperado el 7 de julio de 2024 de <https://agh2.org/luis-moreno-director-del-centro-tecnologico-de-automocion-de-galicia-ctag-es-necesario-desarrollar-las-capacidades-industriales-en-hidrogeno-para-evitar-la-dependencia-tecnologica-del-ext/>
- Asociación Gallega del Hidrógeno [AGH2] (s.f.). Proyectos - asociación gallega del hidrógeno-AGH2. Asociación Gallega del Hidrógeno-AGH2. Recuperado el 6 de julio de 2024 de <https://agh2.org/proyectos-asociacion-gallega-del-hidrogeno-agh2/>
- Aguilar, F. J. (1967). *Scanning the business environment*. Macmillan.
- Alianza Industrial Gallega del Hidrógeno Verde [AIGHV] (2024). Mapa de capacidades industriales de Galicia en torno al H2 verde. Informe de resultados. [https://agh2.org/wp-content/uploads/2024/12/MapaCapacidades\\_Informe\\_Rev2024.pdf](https://agh2.org/wp-content/uploads/2024/12/MapaCapacidades_Informe_Rev2024.pdf)
- Arrigoni, A., Dolci, F., Ortiz Cebolla, R., Weidner, E., D'Agostini, T., Eynard, U., Santucci, V., & Mathieux, F. (2024). Environmental life cycle assessment (LCA) comparison of hydrogen delivery options within Europe. Publications Office of the European Union, JRC137953. <https://doi.org/10.2760/5459>
- Asociación Española del Hidrógeno (2023). Análisis del censo de proyectos. [https://aeh2.org/wp-content/uploads/2023/07/AeH2\\_Informe-Censo-de-Proyectos-1.pdf](https://aeh2.org/wp-content/uploads/2023/07/AeH2_Informe-Censo-de-Proyectos-1.pdf)
- Blanco Silva, F. & Sarmiento Díez, O. (2023). O hidróxeno como oportunidade estratéxica para a economía galega. *Documentos de Traballo. Análise Económica*, (75), 1–31. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=9065291>
- Brión Insua, R. (2024, 16 de xuño). La SGHN se opone a la localización de la planta de hidrógeno planteada en Guitiriz y Aranga. *Galicia Press*. Recuperado el 5 de julio de 2024 de <https://www.galiciapress.es/articulo/empresas/2024-06-16/4871694-sghn-e-opone-localizacion-planta-hidrogeno-planteada-guitiriz-aranga>
- Caruncho, J. (2024, 27 de marzo). Seguridad, independencia e infraestructuras, claves del futuro energético e industrial gallego. *La Opinión A Coruña*. Recuperado el 2 de junio de 2024 de <https://www.laopinioncoruna.es/galicia/2024/03/27/seguridad-independencia-infraestructuras-claves-futuro-100010939.html>
- Clean Hydrogen Joint Undertaking. (2022). *Annex to GB decision no. clean hydrogen-GB-2022-02. strategic research and innovation agenda 2021-2027*. Clean Hydrogen Partnership. <https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2022-02/Clean%20Hydrogen%20JU%20SRIA%20-%20approved%20by%20GB%20-%20clean%20for%20publication%20%28ID%2013246486%29.pdf>
- Comisión Europea (2023). Acto delegado (UE) 2023/1185 de la comisión, de 27 de abril de 2023, que complementa la directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo y del Consejo en lo que respecta a la aplicación de métodos adicionales de cálculo y los límites de emisión de gases de efecto invernadero para combustibles alternativos.
- Copernicus Climate Change Service (2025, 10 de xaneiro). Copernicus: 2024 is the first year to exceed 1.5°C above pre-industrial level. *Climate Copernicus*. Recuperado el 16 de enero de 2025 de <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2024-first-year-exceed-15degc-above-pre-industrial-level>
- Couce, B. (2024, 27 de novembro). Reganosa y forestal se unen para crear un valle del hidrógeno verde en Galicia. *La Voz De Galicia*. Recuperado el 16 de enero de 2025 de

[https://www.lavozdegalicia.es/noticia/somosmar/2024/11/27/reganosa-forestal-unen-crear-valle-hidrogeno-verde-galicia/0003\\_202411G27P2991.htm](https://www.lavozdegalicia.es/noticia/somosmar/2024/11/27/reganosa-forestal-unen-crear-valle-hidrogeno-verde-galicia/0003_202411G27P2991.htm)

- Dirección General de Energía de la Comisión Europea (2020). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Una estrategia del hidrógeno para una Europa climáticamente neutra. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX:52020DC0301>
- Economía Digital Galicia. (2024, 6 de abril). El sector pesquero protesta en Burela contra la eólica marina: “Es incompatible con la biodiversidad”.
- European Commission: Directorate-General for Energy, Cihlar, J., Villar Lejarreta, A., Wang, A., Melgar, F., Jens, J., Rio, P. & Leun, K. (2021). *Hydrogen generation in europe – overview of costs and key benefits*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2833/122757>
- European Commission: European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency, Van Hoey, G., Bastardie, F., Birchenough, S., De Backer, A., Gill, A., de Koning, S., Hodgson, S., Mangi Chai, S., Steenbergen, J., Termeer, E., van den Burg, S., & Hintzen, N. (2021). Overview of the effects of offshore wind farms on fisheries and aquaculture. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2826/63640>
- Executive Agency for Small and Medium-sized Enterprises, Dupont, C., Herpers, F. & Le Visage, C. (2020). *Recommendations for positive interactions between offshore wind farms and fisheries – short background study*, Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2826/017304>
- Geels, F. (2010). Ontologies, socio-technical transitions (to sustainability), and the multi-level perspective. *Research Policy*, 39(4), 495–510. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.01.022>
- Geels, F. (2024). The multi-level perspective on sustainability transitions: Background, overview, and current research topics [pre-print]. <https://doi.org/10.33774/coe-2024-c15gb>
- Hydrogen Europe (2024). Clean hydrogen production pathways report 2024. [https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2024/06/2024\\_H2E\\_CleanH2ProductionPathwaysReport.pdf](https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2024/06/2024_H2E_CleanH2ProductionPathwaysReport.pdf)
- Iberdrola (s.d.). Iberdrola construye la mayor planta de hidrógeno verde para uso industrial en europa. Iberdrola. Recuperado el 20 de junio de 2024 de <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/hidrogeno-verde/puertollano-planta-hidrogeno-verde>
- IEA (2023). Global hydrogen review 2023. IEA. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ecdfc3bb-d212-4a4c-9ff7-6ce5b1e19cef/GlobalHydrogenReview2023.pdf>
- INEGA (2024a). Evolución de la energía en Galicia. Inega: Instituto Enerxético de Galicia. Recuperado el 4 de julio de 2024 de <https://www.inega.gal/es/publicaciones/energia-en-galicia/evolucion-de-la-energia-en-galicia>
- INEGA (2024b). Subvenciones para proyectos de gases renovables para el año 2024 - IN421Z. Inega: Instituto Enerxético de Galicia. Recuperado el 6 de julio de 2024 de <https://www.inega.gal/es/ayudas/subvenciones-para-proyectos-de-gases-renovables-para-el-ano-2024-in421z#acceso-rapido-1>
- International Renewable Energy Agency (2020). *Green hydrogen cost reduction: Scaling up electrolyzers to meet the 1.5°C climate goal*. Abu Dhabi: Autor [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA\\_Green\\_hydrogen\\_cost\\_2020.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf)

- Ley de reducción de la inflación (IRA) (2022). <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/5376>
- Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 121, de 21 de mayo de 2021, pp. 63082–63162. <https://www.boe.es/eli/es/l/2021/05/20/7>
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 296, de 11 de diciembre de 2013, pp. 97943–97998. <https://www.boe.es/eli/es/l/2013/12/09/21>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2020). Hoja de ruta del hidrógeno: Una apuesta por el hidrógeno renovable.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2023a). Balance energético de España 2021-2022. <https://www.miteco.gob.es/es/energia/estrategia-normativa/balances/balances.html>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2023b). Planes de ordenación del espacio marítimo. III. diagnóstico. los sectores marítimos: Situación actual y previsiones de desarrollo futuro o potencial. A. demarcación marina noratlántica. [https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/costas/participacion-publica/anexoior\\_r\\_tcm30-528998.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/costas/participacion-publica/anexoior_r_tcm30-528998.pdf)
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2024, 24 setiembre). El gobierno aprueba la actualización del plan nacional integrado de energía y clima 2023-2030, eje de la oportunidad económica, social y ambiental de España, por su contribución a la modernización y transformación del modelo productivo. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/2024/septiembre/el-gobierno-aprueba-la-actualizacion-del-plan-nacional-integrado.html>
- Moreira, S., & Laing, T. J. (2022). *Sufficiency, sustainability, and circularity of critical materials for clean hydrogen*. World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/38413>
- Muñoz, B. (2024, 21 de junio). Freno judicial a 49 parques eólicos en Galicia: "Poco cuidado" de la Xunta en la revisión ambiental y activismo ecologista. *elDiario.Es* [https://www.eldiario.es/galicia/freno-judicial-49-parques-eolicos-galicia-cuidado-xunta-revision-ambiental-activismo-ecologista\\_1\\_11463721.html](https://www.eldiario.es/galicia/freno-judicial-49-parques-eolicos-galicia-cuidado-xunta-revision-ambiental-activismo-ecologista_1_11463721.html)
- National Oceanic and Atmospheric Administration (2025, 10 de enero). 2024 was the world's warmest year on record. National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://www.noaa.gov/news/2024-was-worlds-warmest-year-on-record>
- Paz Aldrey, L. & Cortés Vázquez, J. A. (2024). Transición energética y crisis rural. La conflictividad social del 'boom eólico' en Galicia. *Gazeta de antropología*, 40.
- Pérez, S. (2023, 7 de agosto). La Xunta declara la sequía prolongada en el norte de A coruña y en A mariña. *La Voz De Galicia*. <https://www.lavozdegalicia.es/noticia/galicia/2023/08/07/xunta-declara-sequia-prolongada-norte-coruna-marina/00031691410528340595567.htm>
- Red Eléctrica (2024). Potencia instalada. Red eléctrica | Informes del sistema. Recuperado el 7 de julio de 2024 de <https://www.sistemaelectrico-ree.es/informe-del-sistema-electrico/generacion/potencia-instalada>
- Regueiro-Ferreira, R. M. & Doldán-García, X. R. (2020). The Network of Dominant Owners of Wind Development in Galicia (Spain) (1995–2017): An Approach Using Power Structure Analysis. *Energies*, 13(22), 6080. <https://doi.org/10.3390/en13226080>
- Regueiro Ferreira, R., Alonso Fernández, P., Nande Fernández, I. (2024). "El futuro desarrollo de la eólica marina en España: Evidencias económicas preliminares y controversia sobre los

impactos energéticos y medioambientales” en *Las fronteras del conocimiento: perspectivas y aplicaciones en la era digital*, Manuel Bermúdez Vázquez *et al.* (coords.). Dykinson, pp. 895-919.

- Roca, R. (2024, 24 de febrero). Así es Triskelion, el proyecto de metanol verde que revolucionaría Galicia. *El Periódico De La Energía* <https://elperiodicodelaenergia.com/asi-es-triskelion-el-proyecto-de-metanol-verde-que-revolucionaria-galicia/>
- Rodríguez, M. & Cuartas, J. (2024, 12 de abril). La red de hidrógeno a la que se conectará A coruña logra la validación final de la UE. *La Opinión A Coruña* <https://www.laopinioncoruna.es/economia/2024/04/12/red-hidrogeno-conectara-coruna-logra-100948688.html>
- Schwabe, J. (2024). Regime-driven niches and institutional entrepreneurs: Adding hydrogen to regional energy systems in Germany. *Energy Research & Social Science*, 108, 103357. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103357>
- Secretaría General de la Comisión Europea (2022). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité Europeo de las Regiones. Plan REPowerEU.
- Spilleir, D., Castañeda-Ayarza, J., Mello-Ayres, R., & Brucieri, A. (2024). Characteristics and influence of macroenvironment in the brazilian hydrogen energy sector. *Cleaner Production Letters*, 6, 100059. <https://doi.org/10.1016/j.clpl.2024.100059>
- Stones, J. (2023, 13 de septiembre). ICIS EXPLAINS: RED III and its implications for hydrogen. ICIS: Independent Commodity Intelligence Services. Recuperado el 2 de julio de 2024 de <https://www.icis.com/explore/resources/news/2023/09/13/10924662/icis-explains-red-iii-and-its-implications-for-hydrogen/>
- Varela Vázquez, P., & Sánchez Carreira, M. del C. (2015). Estado de desenvolvemento do sector da enerxía eólica en Galicia desde unha perspectiva de clúster. *Revista Galega De Economía*, 23(1). <https://doi.org/10.15304/rge.23.1.2447>
- Wilkinson, J., Mays, T. & McManus, M. (2023). Review and meta-analysis of recent life cycle assessments of hydrogen production. *Cleaner Environmental Systems*, 9, 100116. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2023.100116>
- Xesgalicia (s.f.). Vehículos de inversión. Xesgalicia. Recuperado el 7 de julio de 2024 de [https://www.xesgalicia.org/es/content/vehiculos-de-inversion?\\_gl=1\\*ynm7r8\\*\\_up\\*MQ..\\*\\_ga\\*NjA2MjQxNDUxLjE3MjAzNTI4NDA.\\*\\_ga\\_0WT3GPPDEJ\\*MTcyMDM1Mjg0MC4xLjEuMTcyMDM1MzEwOS4wLjAuMA](https://www.xesgalicia.org/es/content/vehiculos-de-inversion?_gl=1*ynm7r8*_up*MQ..*_ga*NjA2MjQxNDUxLjE3MjAzNTI4NDA.*_ga_0WT3GPPDEJ*MTcyMDM1Mjg0MC4xLjEuMTcyMDM1MzEwOS4wLjAuMA)
- Xunta de Galicia (2022). Axenda Enerxética de Galicia 2030.
- Xunta de Galicia (2023, de diciembre). Programa de CPI de la industria y de la energía de Galicia. Consellería de Economía e Industria - Xunta de Galicia. Recuperado el 6 de julio de 2024 de <https://economia.xunta.gal/alianzaindustrialh2-cpi>
- Xunta de Galicia (s.f.a). Alianza industrial gallega del hidrógeno verde. Consellería de Economía e Industria, Xunta de Galicia. Recuperado el 6 de julio de 2024 de [https://economia.xunta.gal/alianzaindustrialh2?langId=es\\_ES](https://economia.xunta.gal/alianzaindustrialh2?langId=es_ES)
- Xunta de Galicia (s.f.b). Proyectos industriales estratégicos. Oficina Económica de Galicia - Xunta de Galicia. Recuperado el 7 de julio de 2024 de <https://oficinaeconomicagalicia.xunta.gal/es/proyectos-industriais-estratexicos>
- Yang, M., Hunger, R., Berrettoni, S., Sprecher, B., & Wang, B. (2023). A review of hydrogen storage and transport technologies. *Clean Energy*, 7(1), 190-216. <https://doi.org/10.1093/ce/zkad021>

Yara International (2024, 10 de junio). Yara opens renewable hydrogen plant: “A major milestone”. *Yara International*. Recuperado el 11 de julio de 2024 de <https://www.yara.com/corporate-releases/yara-opens-renewable-hydrogen-plant-a-major-milestone/>