

## Hidróxeno verde e descarbonización en Galicia: análise multinivel de proxectos, motores e barreiras para o seu desenvolvemento

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

### Resumo

O hidróxeno verde perfílase como unha solución clave para descarbonizar sectores difíciles de electrificar, como a industria pesada e o transporte de longa distancia. Galicia, con abundantes recursos renovables, emerxe como unha rexión estratéxica na axenda española e europea do hidróxeno verde. Este estudo analiza os 28 proxectos vinculados ao desenvolvemento deste vector enerxético, identificados ata xullo de 2024, avaliando o seu grao de avance e os factores que inflúen no seu desenvolvemento mediante un enfoque de transición multinivel coa aplicación da metodoloxía PESTEL. Malia que o potencial é significativo, o sector aínda está en fase inicial, con investimentos por baixo do proxectado e sen proxectos operativos. Entre as principais barreiras destacan a dependencia tecnolóxica, a falta de infraestrutura e a incerteza sobre a demanda. O estudo recomenda impulsar vales de hidróxeno, fortalecer a colaboración entre sectores e abordar brechas de infraestrutura para acelerar a transición enerxética en Galicia.

**Palabras chave:** Hidróxeno verde; Enerxías 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, o quecemento global alcanzou un récord histórico ao ser o primeiro ano en que a temperatura media global superou os 1,5 °C por encima dos niveis preindus ([Copernicus Climate Change Service, 2025](#); [National Oceanic and Atmospheric Administration, 2025](#)) triais, reflectindo o impacto do uso insostible de enerxía e os cambios no uso da terra. A xeración de eventos extremos asociados, con efectos en seguridade alimentaria, saúde e economía (IPCC, 2023), obrigou a adoptar estratexias de descarbonización e neutralidade de carbono a curto, medio e longo prazo. Estas estratexias inclúen a procura de fontes renovables non emisoras de CO<sub>2</sub>, como o hidróxeno verde, unha tecnoloxía emerxente considerada clave para descarbonizar sectores difíciles de electrificar, aínda que non exenta de cuestionamentos sobre a súa viabilidade económica, eficiencia enerxética e prioridades na asignación de recursos.

A Unión Europea, unha das pioneiras no seu desenvolvemento, incorporouno na súa estratexia climática con iniciativas como o Pacto Verde, a estratexia do hidróxeno para unha Europa neutra en carbono e o programa RePower EU, que aumentou a súa meta de produción a 10 millóns de toneladas anuais para 2030, xunto á importación de cantidades similares ([Dirección Xeral de Enerxía da Comisión Europea, 2020](#); [Secretaría Xeral da Comisión Europea, 2022](#)).

España avanza cara aos obxectivos de descarbonización da Unión Europea, que establecen un 42,5% de enerxías renovables para 2030, coa aprobación e desenvolvemento da [Lei 7/2021](#) de cambio climático e transición enerxética. En 2022, máis do 40% da electricidade consumida proveu de fontes renovables, a pesar de que o 70% da enerxía primaria aínda depende de fontes fósiles, o que xera emisións de GEI e mais unha elevada dependencia enerxética externa debido á falta de reservas nacionais ([Ministerio para a Transición Ecolóxica e o Reto Demográfico \[MITECO\], 2023a](#)). A volatilidade enerxética, evidenciada tras a crise derivada do conflito Rusia-Ucráina, impulsou a produción de hidróxeno verde como alternativa para incrementar o autoabastecemento enerxético nacional. Tamén se considera un vector importante para o almacenamento enerxético que contribúe a estabilizar o sistema eléctrico ante as posibles oscilacións da xeración de renovables como a solar ou a eólica. Neste contexto, e considerando o seu alto potencial de renovables, España estableceu un obxectivo inicial de 4 GW de capacidade de electrólise para 2030 ([MITECO, 2020](#)), ampliado a 12 GW na actualización do Plan Nacional Integrado de Enerxía e Clima (PNIEC) aprobada o 24 de setembro de 2024 ([MITECO, 2024](#)).

Nese contexto, Galicia é unha das rexións de España con maior potencial de enerxías renovables. A pesar diso, en 2022 seguía presentando unha dependencia enerxética do 66,4%, cun 77,8%<sup>1</sup> da enerxía primaria que consome proveniente de combustibles fósiles, un 21,9% de renovables e o resto de residuos non renovables ([INEGA, 2024a](#)). É na súa matriz eléctrica onde destaca o papel das renovables, alcanzando en 2023 un 76,5% da electricidade producida ([INEGA, 2024a](#)).

En liña coas tendencias nacionais e internacionais, a *Axenda enerxética de Galicia 2030* busca reducir esta dependencia e avanzar cara a un *míx* enerxético máis sostible, situando o hidróxeno verde como un pilar importante ([Xunta de Galicia, 2022](#)). A citada estratexia prevé o desenvolvemento dun *hub* de hidróxeno verde, aproveitando os seus recursos hídricos e

---

<sup>1</sup> O % de dependencia enerxética é inferior á participación de combustibles fósiles como fonte primaria de enerxía, dado que unha porción dos combustibles que importa se procesan para a exportación a outras rexións (gas licuado e refino de combustibles).

renovables, cunha capacidade de electrólise estimada entre 0,5 e 1 GW para producir 105.000 tH<sub>2</sub> para 2030.

Neste marco anunciáronse varios proxectos de produción de hidróxeno verde en Galicia. Neste traballo procésase a información dispersa dispoñible en xullo de 2024 sobre os proxectos anunciados. Esta información resulta confirmada polo Mapa de capacidades do hidróxeno verde en Galicia publicado a finais dese ano ([Alianza Industrial Galega do Hidróxeno Verde \[AIGHV\], 2024](#)). Con base en toda esa información, este traballo analiza, desde unha perspectiva multidimensional, a cadea de valor rexional do hidróxeno en Galicia, avaliando os proxectos anunciados, o seu grao de avance e os factores determinantes que actúan como motores ou ben como barreiras na súa execución.

A literatura publicada sobre este tema é aínda escasa, especialmente sobre a súa dimensión rexional. Con todo, algunhas achegas recentes abordan tanto as dinámicas rexionais como os factores estruturais que condicionan o seu desenvolvemento. [Schwabe \(2024\)](#) examina como os “nichos” rexionais de hidróxeno en Alemaña se integran nos réximes enerxéticos existentes para impulsar a transición enerxética, subliñando a importancia de recursos renovables, redes institucionais e financiamento nun marco multinivel, un enfoque particularmente relevante para a análise de sistemas enerxéticos locais como o de Galicia. Doutra banda, [Spilleir et al. \(2024\)](#) aplican a ferramenta PESTEL para explorar como os factores políticos, económicos, tecnolóxicos, ambientais e legais inflúen no desenvolvemento do hidróxeno no Brasil, achegando unha perspectiva integral sobre as oportunidades e desafíos deste vector enerxético. Estas aproximacións ofrecen un marco de referencia valioso para analizar as condicións específicas que afrontan os proxectos de hidróxeno verde en Galicia, os obstáculos e as potencialidades para contribuír á transición enerxética deste territorio. Este enfoque combinado permite achegar coñecemento ao desenvolvemento dunha metodoloxía para a análise multidimensional e sistémica das transicións enerxéticas rexionais.

No que segue, este traballo estrutúrase da seguinte forma: no apartado 2 esbózase un breve marco conceptual para a análise do xurdimiento do hidróxeno verde nos sistemas enerxéticos rexionais; no apartado 3 explícase o enfoque metodolóxico deste traballo e as fontes de datos; no apartado 4 expóñense os principais resultados; e no apartado 5 preséntanse as principais conclusións.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

A análise de transicións cara a sistemas sostibles de enerxía, como o hidróxeno verde, gañou relevancia na literatura académica nas últimas décadas. Esta tecnoloxía representa unha innovación do proceso para producir, almacenar e transportar un vector enerxético que pode contribuír a definir unha nova matriz enerxética sostible, na medida en que o alto consumo enerxético necesario nese proceso proveña tamén de fontes renovables e sexa técnica e economicamente viable. O seu desenvolvemento e consolidación como fonte de enerxía de uso xeral require aínda de avances no ámbito da investigación e do desenvolvemento tecnolóxico e, sobre todo, de novas e custosas infraestruturas e de cambios técnicos e sociais entre os potenciais usuarios. Entre as principais barreiras tecnolóxicas atópanse os altos custos de investimento inicial (CAPEX), a eficiencia limitada dos procesos de electrólise, a baixa durabilidade dos materiais utilizados e a escasa dispoñibilidade de infraestruturas de almacenamento e distribución ([International Renewable Energy Agency, 2020](#); [Clean Hydrogen Joint Undertaking, 2022](#); [Yang et al., 2023](#)).

Unha das perspectivas máis pertinentes para abordar estas transicións é o enfoque multinivel, que postula que as innovacións xorden e se consolidan a través da interacción entre

tres niveis: os nichos de innovación, os réximes sociotécnicos dominantes e o marco ou contorno sociotécnico máis amplo (Geels, 2024). Segundo este marco, os nichos funcionan como espazos protexidos onde xerminan e se desenvolven solucións alternativas que poden acabar converténdose en tecnoloxías de uso xeral, mentres que os réximes sociotécnicos dominantes representan as estruturas establecidas que tenden a resistir o cambio. Doutra banda, o marco ou contorno inclúe factores externos, como presións reguladoras ou eventos globais, que poden impulsar ou limitar as transicións (Geels, 2024).

Desde esta perspectiva, as transicións non só dependen dos avances tecnolóxicos, senón tamén da capacidade dos actores para aliñar visións, mobilizar recursos e superar as barreiras estruturais do réxime vixente. O enfoque multinivel proporciona unha base teórica para analizar cómo innovacións como o hidróxeno verde poden evolucionar desde nichos cara a réximes establecidos, permitindo identificar dinámicas clave na súa integración a sistemas enerxéticos existentes. Segundo este modelo, as transicións ocorren cando as presións do contorno e os cambios nos nichos interactúan para desestabilizar os réximes predominantes e permitir a adopción de novas configuracións sociotécnicas (Geels, 2024).

No devandito marco conceptual, Schwabe (2024) analiza a evolución de nichos de hidróxeno verde a nivel rexional en Alemaña, destacando a importancia de condicións como a dispoñibilidade de recursos renovables, o acceso a financiamento e a construción de alianzas entre actores locais e institucionais. Estes nichos xurdiron como espazos protexidos que permiten superar barreiras iniciais, como os altos custos de produción, e beneficianse dunha gobernanza descentralizada que promove a aprendizaxe colaborativa e a adaptación a contextos locais.

Aínda que este traballo non pretende incorporar unha comparación directa con outros casos nacionais, tómase como referencia analítica o caso alemán pola súa aplicación do enfoque multinivel ao estudo do hidróxeno verde en contextos rexionais (Schwabe, 2024). O enfoque multinivel non só permite identificar as dinámicas entre niveis, senón tamén o papel dos actores na construción de nichos. Schwabe (2024) subliña o papel dos "empresarios institucionais", actores chave que impulsan a creación de nichos mediante a mobilización de recursos e a formulación de visións compartidas. Estes actores aproveitan presións da contorna, como a necesidade de descarbonizar a economía, para introducir solucións innovadoras en réximes enerxéticos establecidos. Este enfoque resalta a importancia de integrar as dimensións sociotécnicas e económicas no deseño de estratexias de transición, considerando tanto factores internos como externos.

Desde unha perspectiva metodolóxica, a análise PESTEL (política, económica, social, tecnolóxica, ambiental e legal) complementa o enfoque multinivel ao proporcionar un marco estruturado para identificar as oportunidades e as barreiras específicas dun contexto rexional ou nacional. A combinación de ambos os enfoques permite articular a análise dos factores estruturais coas dinámicas sociotécnicas entre nichos tecnolóxicos, réximes sociotécnicos e contorno sistémico (*landscape*), captando como as dinámicas da contorna global, como as políticas climáticas europeas ou os avances tecnolóxicos, interactúan con factores locais, como a dispoñibilidade de fontes renovables de electricidade ou o marco normativo en Galicia, onde o hidróxeno verde representa un piar inicial nunha transición enerxética rexional aínda incipiente, e ofrecendo unha visión integrada das súas múltiples dimensións e escalas.

### 3. METODOLOXÍA

O presente estudo realiza unha análise exhaustiva do desenvolvemento dos proxectos de innovación e de creación dunha cadea de valor/mercado do hidróxeno verde en Galicia. Dada a

escasa información oficial ou institucional detallada sobre as iniciativas relacionadas co hidróxeno verde nesta comunidade, optouse por unha metodoloxía que incluíu unha revisión crítica da literatura científica, dos documentos clave elaborados por institucións relevantes no sector enerxético e dos proxectos elaborados por diferentes empresas para a súa implantación en Galicia. Para iso, levouse a cabo unha recompilación de información, durante o primeiro semestre de 2024, a partir dunha revisión de documentos de institucións relevantes como a Xunta de Galicia, os fondos europeos (Next Generation e PERTE), así como de promotores, asociacións do sector e fontes de prensa. Esta información organizouse nunha táboa coas 28 iniciativas vinculadas á cadea de valor do hidróxeno (ver material complementario).

Para analizar os factores que inflúen no desenvolvemento deste nicho/sector/mercado emerxente en Galicia, utilizouse a ferramenta PESTEL (análise política, económica, social, tecnolóxica, ecolóxica e legal). Este enfoque permite avaliar de maneira integral os factores externos que lle afectan á industria, considerando tanto os motores do desenvolvemento como as barreiras existentes. A análise PESTEL é amplamente utilizada en estudos de planificación estratéxica, cuxa difusión ten xa un longo percorrido ([Aguilar, 1967](#)), e utilizouse en concreto para identificar as dinámicas que impactan en sectores emerxentes como o do hidróxeno verde ([Achinas et al., 2019](#); [Aguilar, 1967](#)). No contexto enerxético, investigacións previas demostraron a utilidade deste enfoque para avaliar factores que condicionan a adopción de novas tecnoloxías, como no caso do hidróxeno no Brasil ([Spilleir et al., 2024](#)) ou na análise de biocombustibles en Europa ([Achinas et al., 2019](#)). Neste estudo, a análise PESTEL centrouse nos aspectos clave da contorna política e económica, nas barreiras sociais e legais e mais nas oportunidades tecnolóxicas e ambientais que condicionan o avance da industria en Galicia.

O enfoque multinivel (Geels, [2010, 2024](#)) permite complementar a análise, tomando en conta tanto os factores globais como as particularidades do contexto rexional.

Ademais, a recompilación de datos enriqueceuse con entrevistas a expertos locais da Asociación Galega do Hidróxeno e da Universidade de Santiago de Compostela, o que permitiu obter unha visión máis profunda e contextualizada do sector.

## 4. RESULTADOS E DISCUSIÓN

### 4.1. Proxectos da cadea de valor de hidróxeno expostos en Galicia

As estimacións da Consellería de Economía, Empresa e Industria en 2022 suxerían que os proxectos de hidróxeno verde en Galicia poderían mobilizar 3.800 millóns de euros mediante 50 iniciativas, aproximadamente ([Blanco Silva & Sarmiento Díez, 2023](#)). Non obstante, o esforzo de sistematización de información realizado polo presente traballo durante o primeiro semestre de 2024 permitiu identificar, de momento, 28 proxectos ou iniciativas en distinto grao de desenvolvemento, valor similar ao do informe publicado pola Alianza Industrial Galega do Hidróxeno Verde a finais de 2024 ([AIGHV, 2024](#)). Con todo, non se pode afirmar que sexan as únicas iniciativas en desenvolvemento, xa que moitas empresas, por motivos estratéxicos e de competencia, prefiren manter os seus proxectos en reserva e aplican cláusulas de confidencialidade nas súas comunicacións co Goberno.

Entre as iniciativas identificadas contabilizáronse distintos tipos de proxectos: 10 de produción de hidróxeno, 7 de combustibles derivados (4 de metanol, 2 de amoníaco e 1 de combustíbeis sintéticos), 3 enfocados á mobilidade terrestre, 2 de fabricación de compoñentes, 1 de transporte de hidróxeno e 5 de I+D+i. Cabe sinalar que, debido á falta de información centralizada, non se incluíron todas as iniciativas de I+D+i, senón que se seleccionaron aquelas



de maior escala aparente, aínda que as tres universidades públicas e varios centros tecnolóxicos galegos desenvolven diversas actividades relevantes na cadea de valor do hidróxeno.

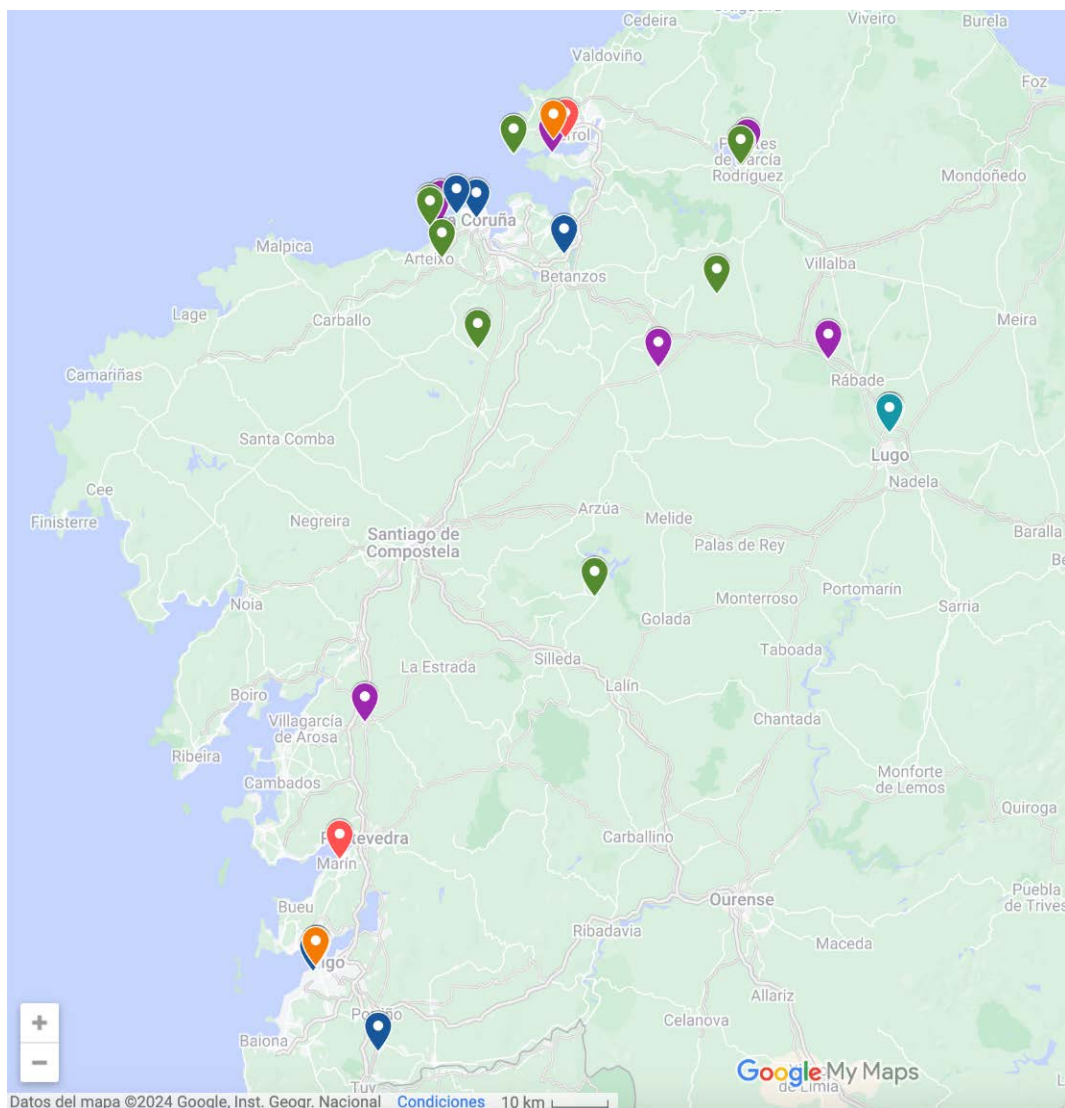
En función do grao de avance os proxectos foron clasificados, segundo se presenta na [Táboa 1](#), en catro categorías: concretados (investimento realizado e/ou en operación), en trámite (iniciaron trámites administrativos ou ambientais para a execución do proxecto na Xunta), planificados (datos concretos dispoñibles, declaración de proxecto estratéxico da Xunta e/ou fondos confirmados) e anunciados (aparecen nalgunha nota pero non hai información actualizada da súa evolución). Ata o momento ningún proxecto de mediana ou gran magnitude iniciou a súa construción e varios mostran un escaso progreso público.

**Táboa 1. Proxectos identificados clasificados por categoría e grao de avance**

| Categoría                     | Concretados (3)                                         | En trámite (11)                                                                                      | Planificados (9)                                                 | Anunciados (5)                             |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Produción H <sub>2</sub> (10) |                                                         | CIne H2 H2 Verde<br>Cruces H2 Pole<br>GreenH2<br>Langosteira Eólica<br>de Cordales Bis H2<br>Meirama | Faro da enerxía<br>verde Arteixo<br>H2V                          | H2 Endesa<br>Fisterra Enerxía <sup>a</sup> |
| Combustibles derivados (7)    |                                                         | Triskelion AHMON                                                                                     | Green Meiga<br>Green Umia<br>Proxecto Breogán<br>GP H2 As Pontes | Maersk                                     |
| Mobilidade terrestre (3)      |                                                         | Julio Verne H2 Porto<br>de Ferrol                                                                    | Porto de Bouzas                                                  |                                            |
| Transporte H2 (1)             |                                                         | H2IDRÓXENO                                                                                           |                                                                  |                                            |
| Fabricación compoñentes (2)   |                                                         |                                                                                                      | Gigafactory                                                      | H2 Tug Nodosa                              |
| I+D+i (5)                     | Zeppelin<br>Unidade Mixta de<br>Gas Renovables<br>HiMov |                                                                                                      | Hydrogenset                                                      | Pila de<br>hidróxeno<br>estaleiro Freire   |

<sup>a</sup> Inclúe tamén produción de amoníaco para unha porción do H2.

No tocante á localización dos proxectos ([Figura 1](#)), os portos da Coruña, Ferrol e Vigo concentran gran parte das iniciativas, seguidos de instalacións industriais existentes e antigas centrais térmicas (As Pontes e Meirama). A provincia da Coruña concentra a maioría dos proxectos identificados, mentres que en Ourense non se anunciou ningún. A maioría das iniciativas sitúanse preto de centros urbanos e industriais, con escasa presenza en áreas rurais, limitando o seu impacto no desenvolvemento territorial e demográfico de Galicia.

**Figura 1. Mapa de localización aproximada dos proxectos identificados**

Código de cores: l+D+i , Producción H<sub>2</sub> , Mobilidade terrestre, Combustibles derivados, Transporte de H<sub>2</sub>, Fabricación de compoñentes

A localización eficiente dos proxectos parece estar condicionada pola proximidade á xeración de enerxías renovables, aos centros de consumo ou ás infraestruturas de transporte, xa que isto podería axudar a reducir custos asociados ao proceso. Neste contexto, os vales de hidróxeno son promovidos como zonas que integran toda a cadea de valor. En España, case un terzo dos proxectos se sitúan nestes vales ([Asociación Española do Hidróxeno, 2023](#)). En Galicia non existen vales de hidróxeno que se axusten a ese concepto integral<sup>2</sup>, que poidan xerar sinerxías e maior valor a nivel local, aínda que si hai iniciativas que combinan máis dunha fase da cadea de valor.

Nese sentido, algúns dos proxectos sitúanse próximos aos consumidores de hidróxeno, como H2 Meirama para Repsol ou iniciativas como Green H2 Langosteira e Julio Verne para transporte. Outros aproveitan instalacións industriais existentes, como Green Meiga e Green Umia ao lado de Finsa e Foresa ou a iniciativa de Accionaplug situada no polígono industrial de

<sup>2</sup> No censo da Asociación Española do Hidróxeno identifícanse os proxectos H2 Pole e H2 Meirama como vales, pero coa información publicada ata o momento non parecen integrar máis dunha aplicación.



Morás (Arteixo). Pola súa banda, a localización en zonas de xeración de enerxía renovable elixida polos proxectos de Tasga Renovables reduce a loxística de transmisión. Proxectos orientados á exportación de amoníaco e metanol, como Maersk, Triskelion e Ahmon, sitúanse nos portos. Un exemplo de sinerxía entre proxectos que se deu a coñecer recentemente é a colaboración entre as empresas Reganosa e Forestal del Atlántico a través dos seus proxectos H2 Pole e Triskelion, que estarían conectados por un hidroduto, sendo posible así a redución de custos e riscos de ambos os proxectos (Couce, 2024).

A partir de datos dispoñibles en fontes públicas, estimáronse as principais variables do desenvolvemento da economía do hidróxeno en Galicia (Táboa 2). Considerando os proxectos en trámite e planificados (excluindo os anunciados por falta de información), a produción para finais da década alcanzaría máis de 50.000 toneladas anuais de hidróxeno verde e 400.000 toneladas de combustibles derivados (requirindo aproximadamente 80.000 toneladas de H<sub>2</sub> verde). Estas cifras superarían os obxectivos da Xunta de Galicia para 2030, que expoñen unha capacidade instalada de 105.000 toneladas/ano. O investimento total ascende a 2.000 millóns de euros, aínda que é inferior aos 3.800 millóns previstos pola Xunta. Este valor podería aumentar conforme se revelen e avancen proxectos actualmente confidenciais, como o anunciado proxecto de Maersk.

En canto á xeración de emprego, estímase un mínimo de 2.000 postos entre emprego directo e indirecto na fase operativa, excluindo construción e proxectos de grande escala anunciados e con escaso grao de avance. A taxa de emprego que xorde da análise individual dalgúns proxectos varía entre 0,6 e 6 empregos por millón de euros investido, sendo próxima a 1 naqueles de maior envergadura. Estas cifras son significativamente menores ás estimadas para a cadea de valor do hidróxeno na UE (10 empregos/millón investido), probablemente porque non se expón un desenvolvemento integrado da cadea e non se consideran fases adicionais como o transporte e uso, que tenden a ser máis intensivas en man de obra.

**Táboa 2. Resumo dos principais indicadores sobre os proxectos identificados**

| Grao de avance                               | Concretados<br>(cantidade: 3) | En tramite<br>(cantidade: 11) | Planificados<br>(cantidade: 9) | Anunciados<br>(cantidade: 5)                        | Totais<br>(cantidade: 28) |
|----------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------|
| Investimento<br>(millóns €)                  | 13,4                          | 631                           | 1.247 <sup>a</sup>             | Máis de 6 <sup>b</sup>                              | Máis de 8                 |
| Total axudas<br>(millóns €)                  | 7,9 (Cantidade: 3)            | 81,2 (Cantidade: 4)           | 128,4 (Cantidade: 2)           | -                                                   | 217,6 (Cantidade: 9)      |
| Empregos<br>xerados (directo<br>+ indirecto) | Non aplica                    | 518<br>(Cantidade: 4)         | 1271<br>(Cantidade: 6)         | 130 (Cantidade: 1)                                  | 1919<br>(Cantidade: 11)   |
| Cantidade h2<br>(ton/a)                      | Non aplica                    | 26.551<br>(Cantidade: 8)      | 16.982<br>(Cantidade: 3)       | 10000 <sup>c</sup><br>(Cantidade: 2)                | 53.533<br>(Cantidade: 13) |
| Cantidade H2<br>derivados<br>(ton/a)         | Non aplica                    | 185.000<br>(Cantidade: 2)     | 221.450<br>(Cantidade: 4)      | Máis de 2<br>millóns <sup>d</sup><br>(Cantidade: 2) | 406.450<br>(Cantidade: 8) |

<sup>a</sup> Non se considera o importe de investimento de Gigafactory por falta de información. / <sup>b</sup> Non se considera o importe de investimento da pila de Estaleiro Freire por falta de información e para o proxecto de Maersk asúmese a metade do importe de 10 mil millóns anunciado para Galicia e Andalucía. / <sup>c</sup> Só o proxecto de Endesa define cantidade. / <sup>d</sup> A cantidade de metanol do proxecto de Maersk estimouse en función da potencia de electrólise anunciada e asumindo operación continua.

Na análise de proxectos de maior escala destinados á produción de hidróxeno verde ou combustibles derivados (excluindo iniciativas de menor definición) destacan 11 iniciativas clave: Triskelion, Ahmon, Green Meiga, Green Umia, Proxecto Breogán, GP H2 As Pontes, H2

Pole, Arteixo H2V, Faro da Enerxía Verde, H2 Meirama e Eólica de Cordales Bis. Destas, 6 iniciativas contemplan a produción de combustibles derivados, principalmente metanol (3), amoníaco (2) e e-fueis (1).

Os promotores destes proxectos son, na súa maioría, empresas españolas do sector enerxético, como Acciona, Iberdrola, Naturgy e Repsol, xunto a compañías con forte presenza galega como Reganosa, Forestal del Atlántico (Grupo Gadisa), Foresa (Finsa) e Greenalia. Isto reflicte a presenza de estratexias relativamente diferentes dos diferentes tipos de axentes, o que dificulta a conformación dunha estratexia de país para a configuración dunha cadea ou val do hidróxeno que articule desde as capacidades de I+D nas Universidades e empresas, así como o contorno financeiro e de mercado para dinamizalo. Neste sentido, resulta algo diferente ao observado en Alemaña, onde, como sinala [Schwabe \(2024\)](#), a acción coordinada de actores locais e institucionais foi fundamental para a integración de tecnoloxías de hidróxeno en sistemas enerxéticos rexionais. Seguindo o enfoque multinivel de [Geels \(2024\)](#), estes proxectos en Galicia poden interpretarse como nichos emerxentes que buscan introducir innovacións radicais dentro do réxime enerxético rexional, pero sen unha estratexia compartida. A combinación de acceso a fontes renovables, o apoio institucional da Xunta de Galicia e os fondos europeos, xestionados polo Goberno Central, definen a contorna para que estas iniciativas experimentais evolucionen cara a configuracións máis estables e competitivas, pero requiriríase un maior aliñamento das diferentes estratexias para conseguir unha dinámica similar á que foi documentada en rexións alemás.

A enerxía de orixe predominante será a eólica, con algunhas mencións á hidráulica, prevendo abastecemento mediante acordos de compra de enerxías renovables conectadas á rede para garantir unha maior capacidade operativa. En canto ás tecnoloxías, distribúense de forma equitativa entre electrolizadores alcalinos e PEM, cun caso que menciona tecnoloxía combinada PEM-SOEC.

Respecto ao destino do hidróxeno, a maioría dos proxectos prevén o seu uso in situ en refinerías e en aplicacións de mobilidade e usos térmicos, mentres que algúns inclúen a súa compresión para transporte ou inxección na rede de gas natural. No caso de combustibles derivados, o metanol oríéntase a aplicacións industriais en Galicia, especialmente na industria da madeira e química, mentres que o amoníaco está principalmente destinado á exportación á UE para fertilizantes e combustibles.

O horizonte temporal destes proxectos prevé a súa posta en marcha entre 2026 e 2027, aínda que é probable que só os máis viables logren iniciar operacións cara a 2030 debido a atrasos na construción e na confirmación de investimentos. Cinco proxectos obtiveron financiamento de fondos europeos a través de programas como o Innovation Fund e o Next Generation (vía PERTE ERHA), que cobren entre o 10% e o 25% do investimento total. Con todo, persiste incerteza sobre a obtención do resto do capital, o que podería comprometer a súa viabilidade económica no horizonte previsto.

A viabilidade e evolución dos proxectos dependen principalmente de acordos de compra e da existencia de consumidores locais, como o caso do metanol producido por Foresa para Finsa ou o hidróxeno de H2 Meirama destinado á refinería de Repsol. Os promotores con plantas de enerxías renovables teñen vantaxes competitivas, malia que algúns, a pesar de contar con fondos públicos, aínda requiren confirmar financiamento adicional para asegurar a súa viabilidade ([Roca, 2024](#)). A escasa información económica pública dificulta prever o futuro destas iniciativas, a pesar do seu potencial impacto no desenvolvemento rexional.

Por último, o apoio da Xunta de Galicia a estes proxectos, conforme ás declaracións como Proxectos Industriais Estratéxicos de tres deles (Triskelion, H2 Pole e H2 Meirama) e ao recoñecemento como Iniciativas Empresariais Prioritarias doutros seis (AHMON, Arteixo H2V,

Green Meiga, Green Umia, GP H2 As Pontes e Proxecto Breogán), podería ser un factor relevante para axilizar os trámites e promover o desenvolvemento do sector.

## 4.2. Principais motores e barreiras ao desenvolvemento do hidróxeno en Galicia

Co obxectivo de sistematizar os motores e as barreiras para o desenvolvemento do hidróxeno verde en Galicia, aplícase a ferramenta PESTEL para a análise das seis dimensións que a compoñen e, finalmente, sintetízanse os resultados na [Táboa 3](#).

### 4.2.1. Político

Galicia, aliñada cos plans da UE e España, definiu metas para desenvolver unha industria de hidróxeno verde. A súa Axenda enerxética 2030 promove o hidróxeno como vector para aumentar o autoabastecemento enerxético e descarbonizar sectores chave mediante a creación dun *hub* rexional ([Xunta de Galicia, 2022](#)). Os usos do hidróxeno previstos en Galicia inclúen xeración eléctrica en picos de demanda, substitución do hidróxeno gris de procesos industriais, vehículos eléctricos de cela de combustible (FCEVs) e inxección na rede de gas para aplicacións domésticas e industriais ([Xunta de Galicia, 2022](#)).

Para impulsar os plans de desenvolvemento, a Alianza Industrial Galega do Hidróxeno Verde, creada en decembro de 2022, reúne máis de 700 entidades, incluídas empresas, agrupacións industriais, centros tecnolóxicos, universidades e autoridades portuarias ([Xunta de Galicia, s.d.a](#)). Os seus obxectivos inclúen mapear actores clave, fomentar colaboracións, promover o hidróxeno en grandes consumidores e mobilidade, impulsar a súa integración coa enerxía eólica, formar talento, apoiar a I+D+i, xestionar regulacións e facilitar financiamento europeo. Ademais, busca establecer o corredor atlántico de hidróxeno.

Ademais, existen algunhas entidades privadas que concentran diversos actores da cadea de valor do hidróxeno verde e que desenvolven actividades para promover o sector. Entre elas destaca a Asociación Galega do Hidróxeno (AGH2) polo seu rol de apoio á formación de traballadores, desenvolvemento de normativas e estratexias, e promoción de actividades de I+D+i ([AGH2, s.d.](#)). Iniciativas como esta ou a Alianza Industrial Galega do Hidróxeno Verde poden interpretarse como un paso cara á creación de nichos rexionais que buscan integrarse no réxime enerxético establecido, unha dinámica clave en transicións sociotécnicas segundo o enfoque multinivel.

Non obstante, desafíos políticos externos poderían afectar esta planificación. A exclusión de Galicia do proxecto H2Med, seleccionado como Proxecto de Interese Común da UE, limita a súa conexión co primeiro corredor europeo de hidróxeno que unirá España, Portugal, Francia e Alemaña cara a 2030 ([Blanco Silva & Sarmiento Díez, 2023](#)). A pesar diso, Enagás declarou que continuará co tramo Guitiriz-Zamora, cun investimento de 250 millóns de euros, considerando que só o 30% do hidróxeno producido en Galicia se consumiría localmente ([Rodríguez & Cuartas, 2024](#)). A extensión de redes internas conectadas a este ramal recaerá sobre a Xunta. Isto reflicte que, aínda que coexisten demandas locais e externas, os proxectos maiores se orientan principalmente á exportación, salientando a necesidade de conexión con H2Med, cuxa ausencia limita a súa viabilidade.

A exclusión de Galicia do proxecto H2Med ilustra as dificultades de conectar os desenvolvementos rexionais con réximes máis amplos, unha barreira común nas transicións sociotécnicas ([Geels, 2024](#)). Aínda que o tramo Guitiriz-Zamora pode facilitar un grao de integración, o seu impacto dependerá de como se articule a demanda local e externa, reflectindo

desafíos similares aos afrontados por outras rexións en Europa, como destaca [Schwabe \(2024\)](#) no caso alemán. En efecto, a relevancia desa conexión europea dependerá do peso outorgado na estratexia galega de hidróxeno verde á demanda externa, como unha exportación máis, ou á valorización interna do recurso xerado, como elemento importante na transición enerxética no transporte e nas actividades produtivas.

Outro factor político radica na evolución da produción de enerxía renovable, como a eólica, cuxa expansión depende da evolución das autorizacións por parte dos diferentes gobernos e, en particular, dos parques eólicos maiores a 50 MW ou *offshore*, cuxa competencia recae no Goberno estatal ([Blanco Silva & Sarmiento Díez, 2023](#)). Dado que o hidróxeno renovable depende de forma moi importante do potencial da eólica, a cooperación entre administracións desempeña un papel moi importante, así como a toma en consideración dos seus efectos sobre o ecosistema mariño e o sector pesqueiro.

#### 4.2.2. Económico

Desde unha perspectiva económica, os proxectos de hidróxeno verde en Galicia afrontan desafíos de competitividade similares aos globais. Unha boa parte dos proxectos ten escala entre mediana e grande<sup>3</sup>(100 MW), superiores á maioría en operación en Europa<sup>4</sup>, pero menores ás iniciativas de varios centos de MW ou mesmo GW previstas para 2030 ([IEA, 2023](#)). Este factor podería limitar a competitividade fronte a outras rexións, aínda que varias propostas inclúen fases para futuras ampliacións, acorde co desenvolvemento gradual de tecnoloxías para grandes escalas. Cómpre ter en conta que na actualidade o maior proxecto global alcanza os 260 MW na China ([IEA, 2023](#)).

En canto ao custo enerxético, correspondente a máis da metade do custo nivelado do hidróxeno (LCOH), Galicia posúe un alto potencial para enerxías renovables, destacando a eólica e a hidráulica. Igualmente, para proxectos de menor escala, sobre a rexión Sur prevese tamén utilizar enerxía solar xa que, aínda que presenta menor potencial respecto a outras CA, se proxecta como a fonte máis económica de cara ao futuro.

No que se refire a investimentos, aínda que os proxectos que avanzaron totalizan apenas a metade das previsións da Xunta en 2022 para o desenvolvemento deste sector, os importes informados non inclúen na súa maioría os investimentos en proxectos de renovables asociados, o que incrementa as necesidades financeiras máis aló dos orzamentos anunciados.

Ademais da actividade da súa propia cadea de valor, a raíz dos altos custos que implica o transporte de hidróxeno verde mentres non se desenvolven os hidrodutos, a dispoñibilidade de hidróxeno pode estimular o desenvolvemento económico da rexión mediante a atracción de novas industrias dependentes deste vector enerxético, como a produción de aluminio verde, a metalurxia avanzada, a fabricación de combustibles, fertilizantes e aceiro verde. Estes efectos de arrastre poderían xerar encadeamentos produtivos cara adiante e cara atrás en sectores estratéxicos para a reindustrialización de Galicia, contribuíndo tanto á diversificación da súa estrutura produtiva como á súa especialización en tecnoloxías limpas. Nese sentido, aínda que algunhas fontes sinalan o seu potencial para aumentar a contribución industrial ao PIB galego e achegalo ao obxectivo do 20% que establecen algunhas estratexias macroeconómicas ([Blanco](#)

<sup>3</sup> O censo de proxectos en España da Asociación Española do Hidróxeno clasifica como proxectos medianos os de entre 10-100 MW e como grandes os de entre 100-1000 MW.

<sup>4</sup> O de Iberdrola en Puertollano está entre os máis grandes de Europa e ten unha capacidade de 20 MW ([Iberdrola, s.d.](#)). Actualmente a planta máis grande é a de Yara en Noruega, recentemente inaugurada e con capacidade de 24 MW ([Yara International, 2024](#)).

[Silva & Sarmiento Díez, 2023](#)), a abundancia de enerxías por si soa non adoita ser un factor de peso para a localización de proxectos industriais ([Varela & Sánchez, 2014](#)). Outros factores, como dispoñibilidade de materias primas, man de obra cualificada e estratexias empresariais ou complementariedades intersectoriais (agrupacións industriais), son determinantes para a localización de proxectos.

Así mesmo, fomentar a integración de empresas locais na cadea de valor do hidróxeno (I+D, deseño, enxeñería, fabricación, operación e mantemento) maximizaría o valor agregado retido en Galicia. Para iso, son necesarios esforzos de coordinación entre empresas, incentivos a alternativas locais, I+D+i e formación de persoal adaptado ao mercado. A pesar diso, gran parte dos proxectos en Galicia está liderada por multinacionais, as cales poderían priorizar provedores ou clientes externos, reducindo o impacto económico local. Estas empresas buscan maximizar beneficios, polo que o seu reinvestimento a nivel local non é prioritario, limitando o beneficio da súa actividade no desenvolvemento da comunidade local.

Por outra banda, o sector naval galego podería beneficiarse deste desenvolvemento grazas á súa proximidade a portos, potenciais *hubs* de hidróxeno, e pola experiencia en fabricación de equipamento como base para abastecer a industria do hidróxeno e das renovables. Casos como Gigafactory, H2 Tug Nodosa e Pila en Estaleiro Freire son exemplos da colaboración entre navieiras e a industria do hidróxeno.

O acceso a financiamento é crucial para a competitividade nesta industria. Varias iniciativas recibiron fondos europeos, como o PERTE ERHA financiado con Next Generation e o programa Invest EU do Banco Europeo de Investimentos. A Xunta de Galicia tamén implementou medidas como a estratexia de compra pública innovadora para a posta en funcionamento do *Centro Galego de Solucións Innovadoras ao redor da cadea de valor do hidróxeno verde*, que mobilizará entre 5 e 10 millóns de euros para I+D+i ([Xunta de Galicia, 2023](#)), iniciativa que podería ser financiada pola liña FID do Ministerio de Ciencia e Innovación no marco do FEDER 2021-27. Así mesmo, o INEGA lanzou subvencións de ata 5,5 millóns de euros para proxectos de gases renovables, con intensidades de axuda de ata o 65% para pequenas empresas, buscando mobilizar investimento privado similar ([INEGA, 2024b](#)). As intensidades de axuda van desde un 65% do custo elixible para empresas pequenas ata un 45% para grandes empresas, ademais doutras ponderacións de cara a promover a participación de pequenas empresas.

Outras fontes de financiamento inclúen liñas de sustentabilidade ofrecidas por bancos comerciais como Abanca, Santander e BBVA. Abanca, asociada a AGH2, posiciónase como entidade líder en renovables con investimentos anuais de 300-350 millóns de euros e mais unha liña específica para enerxías renovables denominada Abanca Energy ([ABANCA, 2023](#)). Con todo, as empresas promotoras de proxectos aínda non divulgaron información sobre o acceso a créditos ou investimentos de capital externos.

Doutra banda, figuras do sector financeiro como os fondos de capital risco e os "business angels", esenciais para apoiar proxectos innovadores, teñen unha presenza limitada tanto en Galicia como en España, a pesar dos incentivos fiscais. Neste contexto, XesGalicia, unha sociedade xestora de entidades de investimento de fondos públicos, desempeña un papel fundamental cun capital xestionado próximo aos 200 millóns de euros ([Xesgalicia, s.d.](#)). Entre as súas ferramentas inclúense Sodiga, dedicada a investimentos en empresas con alto potencial de crecemento, e os fondos de investimento colectivo orientados ao desenvolvemento industrial galego, a innovación e o emprendemento ([XesGalicia, s.d.](#)).



### 4.2.3. Social

A industria do hidróxeno verde é relativamente intensiva en capital. Non obstante, a súa expansión en Galicia podería impulsar o desenvolvemento social mediante a creación de empregos cualificados, estimados en arredor de 2000 postos só para os proxectos considerados neste estudo. Con todo, a taxa de xeración de emprego, próxima a 1 por cada millón de euros investido, é modesta e está por baixo das expectativas da UE para o sector, que é de 10 postos de traballo por millón de euros de investimento considerando empregos directos e indirectos en toda a cadea de valor do hidróxeno verde ([European Commission: Directorate-General for Energy, et al., 2021](#)).

Galicia conta cunha base sólida en termos de centros universitarios e de persoal técnico cualificado, pero a falta de experiencia na industria química e de gases expón a necesidade de formación específica e de recualificación en toda a cadea de valor. En resposta, a Xunta de Galicia, xunto con asociacións como AGH2 e a Agrupación industrial de Enerxías Renovables, leva algúns anos desenvolvendo cursos de especialización para traballadores, autónomos e desempregados. Ademais, é crucial adaptar os programas de formación superior en química e enxeñerías para que os futuros profesionais estean preparados para integrarse rapidamente nos próximos 3 ou 4 anos neste mercado emerxente.

Por outra banda, a localización de proxectos en zonas rurais podería contribuír a revitalizar estas áreas ao xerar emprego e frear o despoboamento. No entanto, a maioría dos proxectos actuais concéntranse en áreas urbanas e portuarias, o que limita o seu impacto no ámbito rural. Para contrarrestar esta tendencia requírese da intervención da Xunta mediante plans de ordenación que promovan instalacións en sectores máis despoboados, contribuíndo á fixación da poboación por medio da xeración de oportunidades de emprego.

En caso contrario, este asunto podería verse aínda máis agravado pola intensificación da instalación de enerxías renovables nas zonas rurais, que constitúen en moito casos un factor adicional para promover o despoboamento. Aínda que os aeróxeradores normalmente non ocupan áreas produtivas, a enerxía fotovoltaica que se expón como complementaria para algúns sitios si adoita competir coa actividade agrícola (do mesmo xeito que a eólica mariña en proceso de planificación pode afectar as actividades pesqueiras). As plantas de produción de hidróxeno, aínda que non parecen ameazar os recursos hídricos en Galicia, poderían competir con outros usos da auga.

Estes asuntos constitúen o impacto social destes proxectos e requiren atención nas avaliacións ambientais, atendendo especialmente ás controversias e á diversidade de opinións respecto da instalación de renovables ([Regueiro-Ferreira & Doldán-García, 2020](#); [Regueiro Ferreira et al., 2024](#)). Os conflitos relacionados cos parques eólicos en Galicia son un exemplo relevante. Como sinalan [Paz Aldrey e Cortés Vázquez \(2024\)](#), estes proxectos, presentados como ecolóxicos e beneficiosos, xeraron elevados niveis de conflictividade social en contextos rurais galegos, ao transformar o uso do chan e afectar as dinámicas comunitarias. Recentemente, o Tribunal Superior de Xustiza paralizou medio centenar de proxectos, reflectindo a crecente oposición de comunidades locais ([Muñoz, 2024](#)). Mentres colectivos sociais e ambientalistas apoian estas decisións, os promotores e a Xunta expresan preocupación polas repercusións económicas, que poderían prexudicar tamén os proxectos de hidróxeno.

Outro desafío son as posibles consecuencias dos parques eólicos mariños sobre a pesca, sector clave en Galicia. Os plans de ordenación marítima asignaron máis do 50% das áreas de alto potencial eólico mariño na demarcación noratlántica a zonas con alta actividade pesqueira, xerando obxeccións por parte das confrarías de pescadores ([MITECO, 2023b](#)). A través do "Manifesto de Burela", os pescadores expresaron o seu rexeitamento, argumentando impactos nos caladoiros e na biodiversidade a causa da contaminación acústica, os cambios na velocidade



e dirección das ondas e a alteración das correntes mariñas ([Economía Dixital Galicia, 2024](#)). Estas preocupacións son relevantes, xa que non existen precedentes de parques eólicos nas condicións particulares das costas galegas.

Estes casos ilustran que a planificación territorial do hidróxeno verde en Galicia xa afronta desafíos sociais significativos, similares aos observados noutras tecnoloxías enerxéticas como a eólica. Os conflitos expostos evidencian a necesidade de mellorar a planificación e xestión de proxectos para minimizar impactos negativos e maximizar beneficios sociais e ambientais. A planificación do hidróxeno verde en Galicia debe priorizar as necesidades locais, promovendo unha cadea de valor con forte contribución rexional, desde a investigación ao consumo. Isto permitiría que os beneficios económicos non se concentren só en grandes empresas, senón que tamén impulsen o desenvolvemento da comunidade autónoma. Ademais, é preciso desenvolver estratexias que fomenten a participación temperá da sociedade, a atención ás súas preocupacións, a transparencia na información e unha planificación territorial equitativa, incluíndo mecanismos de compensación ambiental ou social, que contribúan a xerar lexitimidade e apoio cidadán.

#### 4.2.4. Tecnolóxico

O desenvolvemento do hidróxeno verde debe enfocarse como unha innovación que require da configuración e colaboración de toda unha cadea de axentes, desde a investigación, a innovación, a produción, o almacenamento e a distribución ata o consumo. A viabilidade dos proxectos de produción de hidróxeno en Galicia depende dos avances tecnolóxicos que reduzan o CAPEX das instalacións e de contar con enerxía eléctrica de baixo custo para operar con OPEX reducidos. Neste sentido, o proceso de difusión e aceleración da tecnoloxía de hidróxeno vólvese crucial. Para iso, segundo sinala [Geels \(2024\)](#), a evolución tecnolóxica, a redución de custos, a mellora na percepción do consumidor, os debates sociais e o apoio gobernamental son factores clave que impulsan a adopción de tecnoloxías, como ocorre coas enerxías renovables.

As tecnoloxías de electrólise e as aplicacións finais do hidróxeno están en fase de maduración, o que presenta oportunidades para o sector I+D+i galego. Segundo o recente mapa de capacidades industriais e de equipos de I+D+i en Galicia publicado pola Alianza Industrial Galega do Hidróxeno Verde, identificáronse 91 entidades con capacidades en distintos elos da cadea de valor do hidróxeno verde. A maioría destas entidades concéntranse nos ámbitos de servizos tecnolóxicos e profesionais (36%) e I+D+i (18%), mentres que actividades como a fabricación de compoñentes e a produción de hidróxeno tamén contan con representación significativa ([AIGHV, 2024](#)). Estas capacidades identificadas concéntranse principalmente nas provincias da Coruña (52%) e Pontevedra (40%), mentres que Lugo e Ourense reúnen só o 8% restante.

No ámbito da investigación, Galicia conta con universidades e centros tecnolóxicos de relevancia, como EnergyLab, CETIM, AIMEN, CTAG e CETAQUA. Proxectos destacados inclúen investigacións en materiais avanzados para almacenamento e compresión, así como técnicas innovadoras para a produción de hidróxeno, como a fermentación escura e o uso de auga de mar. Tamén se identificaron importantes infraestruturas de I+D+i específicas, entre elas laboratorios de análises e ensaios, reactores de fermentación, plantas piloto para electrólise e ferramentas avanzadas para simulación e xestión enerxética ([Alianza Industrial Galega do Hidróxeno Verde, 2024](#)). Destaca o proxecto Hi\_mov, unha colaboración entre España e Portugal na Eurorrexión sobre aplicacións de mobilidade, coa participación de USC, CTAG e EnergyLab.

Aínda que na fabricación de electrolizadores a China ten un papel dominante e ofrece os custos máis baixos, obrigando a moitos proxectos europeos a depender de importacións ([Hydrogen Europe, 2024](#)), o tecido industrial galego conta cun notable potencial de adaptación, especialmente en sectores como a automoción e o naval, que poden desempeñar un papel clave na consolidación da cadea de valor local do hidróxeno. A pesar de que a UE lidera en patentes relacionadas con esta tecnoloxía, as innovacións, que se concentran en Alemaña, Francia e os Países Baixos ([IEA, 2023](#)), seguen afrontando desafíos debido á súa dependencia de fontes externas para minerais esenciais na fabricación de compoñentes, como o platino e o iridio utilizados nos electrolizadores. Neste contexto, espérase que o número de axentes con capacidades ao redor do hidróxeno aumente en Galicia a medida que avancen os proxectos e se desenvolvan infraestruturas clave, como hidrolineiras e microrredes integradas con xeración renovable.

En canto á provisión de enerxía renovable, Galicia ten un dos mellores recursos enerxéticos da Península Ibérica ([Blanco Silva & Sarmiento Díez, 2023](#)), pero requírese un gran despregamento de novas instalacións. Para alcanzar o obxectivo de 100.000 toneladas de hidróxeno en 2030, necesitaríanse aproximadamente 2 GW, o que representa máis da metade da capacidade eólica instalada ata 2023 ([Rede Eléctrica, 2024](#)). Este aspecto podería atrasar os proxectos, especialmente polo requisito de adicionalidade imposto pola UE e polas dificultades legais e sociais que lle afectan á instalación de parques eólicos.

Unha alternativa clave sería a repotenciación de parques eólicos ao final da súa vida útil, mellorando a eficiencia sen aumentar a área ocupada. Ademais, agárdase que a tecnoloxía de eólica mariña flotante permita instalar parques nas costas, aínda que será necesario desenvolver estratexias que faciliten a súa convivencia coa actividade pesqueira, sector fundamental en Galicia.

Finalmente, a falta de infraestrutura para a distribución do hidróxeno, como hidrolineiras, representa unha barreira importante. Actualmente, Galicia carece destas estacións, en contraste coas máis de 100 de Alemaña ([AGH2, 2023](#)). Tamén se sinala a insuficiente capacidade das instalacións eléctricas para soportar a demanda da transición enerxética, o que require duplicar as instalacións nos núcleos urbanos ([Caruncho, 2024](#)). Superar estas limitacións requirirá investimentos públicos en infraestrutura que faciliten a atracción de actividade industrial.

#### 4.2.5. Ambiental

O desenvolvemento do hidróxeno verde en Galicia afronta factores ambientais tanto impulsores como restritivos. Entre os primeiros destaca a abundancia de recursos hídricos e o significativo potencial en enerxías renovables, especialmente eólica e hidráulica, fundamentais para a produción mediante electrólise, un método que xera emisións case nulas de gases de efecto invernadoiro (GEI) durante a fase operativa ([Wilkinson et al., 2023](#)). Así mesmo, as políticas públicas enfocadas na transición enerxética e na descarbonización reforzan este desenvolvemento.

Con todo, persisten importantes desafíos ambientais. A construción de infraestruturas renovables, como parques eólicos e plantas fotovoltaicas, pode competir con terras produtivas e áreas protexidas, xerando conflitos coas comunidades rurais. Ademais, aínda que Galicia dispón de abundantes recursos hídricos, a crecente presión sobre este recurso, agravada por períodos recentes de escaseza en certas áreas ([Pérez, 2023](#)), podería limitar a súa dispoñibilidade para a produción de hidróxeno. A pegada hídrica desta tecnoloxía, que pode superar os 30 kg de auga por kg de hidróxeno cando se consideran procesos adicionais, subliña

a necesidade de explorar fontes alternativas como a desalinización e a reciclaxe de augas residuais (Arrigoni et al., 2024).

Por outra banda, a análise do ciclo de vida (LCA) evidencia que, aínda que o hidróxeno verde ten un menor potencial de quecemento global (GWP) fronte a métodos convencionais, a produción intensiva de infraestruturas renovables aumenta as emisións asociadas á minería e á fabricación de materiais críticos, como o iridio para os electrolizadores, cuxa demanda podería superar a capacidade global de produción nas próximas décadas (Wilkinson et al., 2023; Moreira & Laing, 2022).

Así mesmo, outro factor importante que considerar é o impacto ambiental aínda non completamente cuantificado da enerxía eólica mariña, un dos desenvolvementos asociados á produción de hidróxeno. A inexistencia de estudos detallados sobre os efectos destas instalacións no ecosistema mariño xera incerteza e pode provocar resistencia por parte da poboación local, do sector pesqueiro e dos ambientalistas. Malia que non existen parques eólicos mariños instalados na costa galega, os estudos realizados noutras rexións indican que as turbinas poden afectar a especies comerciais debido ás vibracións, a escintileos visuais, a emisións electromagnéticas dos cables e ao ruído xerado durante a súa instalación e operación (Executive Agency for Small and Medium-sized Enterprises et al., 2020).

A pesar de que estas alteracións poden escorrenar peixes e mamíferos mariños ou afectar a crustáceos, as estruturas tamén poden actuar como arrecifes artificiais, atraendo especies e aumentando a biodiversidade, aínda que tamén poderían favorecer a introdución de especies invasoras e xerar impactos ecosistémicos incertos (European Commission: European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency et al., 2021). Ademais, a exclusión da pesca nestes parques podería ofrecer refuxio para algunhas especies, pero os seus beneficios prácticos aínda requiren maior investigación, especialmente en Galicia.

#### 4.2.6. Legal

A falta dun marco normativo claro e harmonizado representa un desafío clave para o desenvolvemento do hidróxeno verde. A certificación das emisións asociadas ao seu ciclo de vida é fundamental para evitar a comercialización de combustibles con alto contido de carbono como sostibles (IEA, 2023). A Unión Europea aplica un enfoque integral ao longo da cadea de valor, establecendo un límite de 3,38 kgCO<sub>2</sub>/kg H<sub>2</sub> (incluíndo transporte e uso final) baixo o acto delegado (UE) 2023/1185, mentres que en Estados Unidos se fixa un limiar de 4 kgCO<sub>2</sub>/kg H<sub>2</sub> só ata a saída de produción, segundo a Lei de redución da inflación (Lei de redución da inflación (IRA), 2022; Comisión Europea, 2023). Estas discrepancias xeran incerteza no mercado global e reflicten prioridades nacionais diverxentes.

A Unión Europea, ademais, complementou estas regulacións con requisitos de sustentabilidade para a produción de hidróxeno verde, como a correlación xeográfica e temporal coas fontes renovables, para garantir a súa integración nos sectores industrial e do transporte (Stones, 2023).

En Galicia, onde se prevé que o hidróxeno producido se comercialice maioritariamente dentro do mercado europeo, resultan aplicables as restricións legais establecidas pola UE para a categorización do hidróxeno verde. Entre estas, destaca o requisito de adicionalidade, que limita o uso de enerxía hidráulica existente para compensar períodos de baixa xeración eólica. Este criterio esixe un maior despregamento de novas instalacións de enerxías renovables para garantir a sustentabilidade da produción. Así mesmo, algúns proxectos de enerxías renovables requiren a aprobación do Goberno central en lugar da Xunta de Galicia, o que subliña a

necesidade de ferramentas de coordinación interinstitucional para axilizar os trámites administrativos (Blanco Silva & Sarmiento Díez, 2023).

Algúns expertos do sector do hidróxeno en Galicia consideran que a falta de seguridade xurídica é a principal barreira para o desenvolvemento de proxectos na rexión (Caruncho, 2024). Estes sinalan que, aínda que a lexislación europea é uniforme, a súa implementación local afronta obstáculos debido á influencia de grupos opositores e á lentitude administrativa, o que xera incerteza e podería desincentivar o investimento. Neste contexto, cobra especial relevancia o cumprimento da Lei 21/2013, de avaliación ambiental, que regula os procedementos de autorización ambiental aplicables a moitos destes proxectos e que vén experimentando recorrentes reformas en canto á súa aplicación, o que pode engadir complexidade e tempos adicionais ao proceso de tramitación.

Porén, algúns proxectos de hidróxeno xa recibiron autorización ambiental sen maiores oposicións nin atrasos significativos, aínda que a maioría están vinculados a novas instalacións enerxéticas, principalmente eólicas, o que podería xerar conflitos con este sector. Nalgúns casos, como o proxecto de Tasga en Guitiriz e Aranga, grupos como a Sociedade Galega de Historia Natural expresaron a súa oposición debido ao impacto ambiental relacionado co consumo de auga e coa biodiversidade (Brión Insua, 2024).

Para facilitar a implantación de proxectos, a Xunta promove as declaracións de Proxectos Industriais Estratéxicos (PIE) e de Iniciativas Empresariais Prioritarias (IEP). Estas designacións buscan atraer investimentos, fomentar a competitividade e simplificar os procedementos administrativos. Os proxectos PIE requiren un investimento mínimo de 20 millóns de euros e a creación de 100 empregos directos, aínda que poden obter esta declaración proxectos cun investimento de 2 millóns de euros e 25 empregos directos se xustifican o seu impacto significativo para o desenvolvemento industrial da rexión (Xunta de Galicia, s.d.b). Estes requisitos son similares aos esixidos para as IEP<sup>5</sup>.

En ambos os casos os beneficios outorgan carácter prioritario e recoñecen o interese público dos proxectos, reducindo á metade os prazos administrativos. Ademais, no caso dos PIE outorgan acceso a subvencións sen concorrencia competitiva e con prevalencia sobre o plan urbanístico vixente, obviando os procedementos de control e licenza municipais (Xunta de Galicia, s.d.b). Tamén poden recibir a declaración de utilidade pública e interese social, facilitando procesos expropiatorios e a imposición das servidumes necesarias para a súa execución. Non obstante, as IEP requiren a tramitación municipal para obter as licenzas necesarias, un maior diferencial respecto dos PIE (Xunta de Galicia, s.d.b).

A maioría dos proxectos de hidróxeno poderían aliñarse con estes requisitos, supoñendo unha ferramenta clave para a súa promoción. Dos proxectos identificados neste estudo, tres contan coa declaración de PIE e cinco coa de IEP, dos cales tres xa teñen autorizacións ambientais aprobadas.

Outro aspecto que podería beneficiar a economía rexional sería establecer unha estrutura xurídica que asegure que unha parte significativa dos beneficios derivados dos proxectos industriais permaneza en Galicia (Blanco Silva & Sarmiento Díez, 2023). A Administración autonómica debería liderar esta iniciativa, promovendo a participación de empresas locais no desenvolvemento e execución dos proxectos, o que fortalecería a economía rexional.

---

<sup>5</sup> Os requisitos para as IEP foron consultados do procedemento **IN230B - Declaración de iniciativa empresarial prioritaria**. Sede Electrónica da Xunta de Galicia, o 7 de xullo 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)

**Táboa 3. Resumo da análise PESTEL sobre o desenvolvemento de hidróxeno en Galicia**

| Factor    | Político                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Económico                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Social                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Tecnolóxico                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Ecolóxico                                                                                                                                                                                                                                                                              | Legal                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Motores   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Marco estratéxico da UE e España.</li> <li>- Obxectivo Axenda Enerxética 2030: 105.000 ton H<sub>2</sub>.</li> <li>- Alianza Industrial Galega do H<sub>2</sub>V colaboración público-privada.</li> <li>- Asociacións como AGH<sub>2</sub> e Cluergal.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recurso renovable abundante, menor LCOE.</li> <li>- Apoio económico como Next Generation (PERTE ERHA), Innovation Fund, FEDER.</li> <li>- Potencial desenvolvemento industrial asociado.</li> <li>- Posible exportación por hidroductos e portos.</li> <li>- Demanda interna en refinerías e industria química.</li> <li>- Integración de empresas galegas en cadea de valor.</li> <li>- Apoio económico da Xunta mediante CPI, subvencións INEGA.</li> <li>- Bancos comerciais con liñas de apoio a renovables.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Creación de emprego en áreas especializadas.</li> <li>- Presenza de universidades e algúns cursos técnicos en H<sub>2</sub> recentes.</li> <li>- Potencial de fixar poboación no rural con proxectos.</li> </ul>                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Oportunidades de I+D+i.</li> <li>- Centros tecnolóxicos e universidades con liñas de desenvolvemento en H<sub>2</sub>.</li> <li>- Experiencia en instalacións de renovables.</li> <li>- Infraestrutura portuaria dispoñible.</li> <li>- Combinación de eólica e hidráulica na matriz, con 76% de renovables.</li> </ul>                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abundancia de recursos hídricos e enerxéticos en Galicia.</li> <li>- Obxectivos de descarbonización da CA.</li> </ul>                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplican requisitos de RED III e ETS da UE.</li> <li>- Declaracións da Xunta de PIE e IEP para simplificar trámites administrativos.</li> </ul>                                                 |
| Barreiras | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Exclusión do H<sub>2</sub>Med por parte da UE, Enagás igualmente conectaría.</li> <li>- Competencias compartidas en proxectos de eólica co MITECO.</li> </ul>                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Escala dos proxectos formulados podería comprometer competitividade.</li> <li>- Falta de competitividade do H<sub>2</sub>V.</li> <li>- Limitacións na demanda e ausencia de <i>offtakers</i> confirmados.</li> <li>- Alto risco limita acceso a financiamento de longo prazo.</li> <li>- Escasa presenza de capital risco.</li> </ul>                                                                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- O persoal require recualificación para industria química e H<sub>2</sub>.</li> <li>- Interferencia de instalacións de renovables con actividades tradicionais.</li> <li>- Conflitos que paralizaron proxectos de eólica.</li> <li>- Rexeitamento de mariñeiros á eólica mariña.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de competitividade tecnolóxica de Europa respecto á China.</li> <li>- Ausencia de tecnoloxía de electrólise e FCEVs producidas en Galicia.</li> <li>- Baixo nivel de desenvolvemento tecnolóxico traducido en patentes en España.</li> <li>- Eólica mariña flotante aínda en etapa de maduración comercial.</li> <li>- Ausencia de infraestrutura de distribución de H<sub>2</sub>.</li> <li>- Insuficiente capacidade en redes eléctricas.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Competencia de instalacións de renovables con áreas protexidas da Rede Natura 2000.</li> <li>- Episodios recentes de escaseza de auga nalgúns lugares.</li> <li>- Impacto da eólica mariña en ecosistemas non totalmente estudado.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Restricións de adicionalidade e correlación da UE para renovables.</li> <li>- Procesos xurídicos de aprobación de proxectos comprometen garantías de proponentes e sociedade civil.</li> </ul> |



## 5. Conclusións

O hidróxeno verde é un novo vector enerxético sustentable, que se atopa nunha fase de arranque e desenvolvemento en diferentes partes do mundo, e que empeza a configurarse como un nicho tecnolóxico que vai abríndose paso con dificultades no marco do réxime enerxético dominante. Galicia conta con potencial para o desenvolvemento do hidróxeno verde grazas á súa dispoñibilidade de recursos renovables e a un marco político que comezou a favorecer a transición enerxética. Así e todo, o sector permanece nunha fase inicial, con 28 proxectos identificados pero ningún operativo. Ademais, o investimento anunciado ata o de agora é inferior ao inicialmente proxectado, o que subliña a complexidade do proceso de arranque, a dificultade para reunir recursos e a necesidade dunha maior coordinación e transparencia.

O carácter incipiente deste novo nicho enerxético reflicte un conxunto de dinámicas parcialmente coincidentes coas observadas noutros territorios europeos. Tal e como mostran os estudos realizados cun enfoque multinivel, as iniciativas que están en proceso poden interpretarse como nichos en formación que afrontan barreiras estruturais do réxime sociotécnico establecido. Conforme evidencian outros estudos ([Schwabe, 2024](#)), a integración da cadea de valor e a construción de estruturas legais e organizativas son factores críticos para a consolidación destes nichos.

Entre as barreiras principais identificadas atópanse a falta de competitividade fronte a alternativas enerxéticas, a incerteza da demanda e a insuficiencia de infraestrutura para o almacenamento e a distribución. Ademais, a alta dependencia de tecnoloxía importada representa un obstáculo tanto tecnolóxico como económico. Estas limitacións tamén dificultan o desenvolvemento dun ecosistema máis inclusivo que promova a participación de áreas rurais e fomenta a sustentabilidade social e ambiental.

Un aspecto notorio do enfoque español, reflectido en Galicia, é a proxección do hidróxeno verde como vector de exportación. Isto evidénciase na concentración xeográfica dos proxectos en zonas urbanas e industriais, como os portos da Coruña, Ferrol e Vigo. Esta estratexia parece fundamentarse na dispoñibilidade de infraestruturas existentes, na proximidade a consumidores locais e, especialmente, no acceso directo aos puntos de saída cara ao mercado europeo a través dos portos. Este enfoque contrasta con modelos máis integradores (e.g. o caso de Alemaña descrito por [Schwabe \(2024\)](#)), onde o hidróxeno verde é concibido como un compoñente dunha transición enerxética descentralizada que busca equilibrar o desenvolvemento urbano e rural mediante vales de hidróxeno.

Esta tendencia expón un dobre desafío para Galicia: primeiro, garantir unha distribución máis equitativa dos beneficios económicos e sociais; e segundo, fomentar unha transición enerxética que contribúa ao desenvolvemento sostible e distribuído no territorio, incluídas as áreas rurais.

A nosa análise e a experiencia comparada suxiren a importancia de fomentar vales de hidróxeno como unha estratexia para diversificar proxectos, reducir custos e distribuír os beneficios económicos e sociais de maneira equitativa. Así mesmo, esta transición enerxética pode e debe contribuír ao desenvolvemento económico e demográfico das áreas rurais, para o que deben clarificarse os obxectivos centrais que orientan a estratexia pública e privada de modo que eviten a supeditación á dinámica dos mercados externos de hidróxeno. Igualmente, é fundamental promover a colaboración entre empresas, centros de investigación e universidades para fortalecer a I+D+i e construír un sector competitivo a nivel rexional e internacional.

As políticas públicas tiveron un papel relevante ao simplificar procedementos administrativos mediante figuras como os PIE e as IEP. Non obstante, estas medidas non

lograron superar barreiras fundamentais como a falta de acordos de compra a longo prazo nin as limitacións en infraestrutura para almacenamento e distribución, que requiren unha visión estratéxica máis clara e compartida. Ademais, o sector afronta retos específicos derivados das preocupacións ambientais asociadas coa expansión da enerxía eólica e coa ausencia dun ecosistema colaborativo que integre actores da sociedade civil, centros de investigación e universidades. Superar estes desafíos tamén require fortalecer a lexitimidade social dos proxectos mediante estratexias ligadas ao tecido produtivo local e ás súas necesidades para a sustentabilidade, así como mecanismos participativos adecuados ao contexto territorial.

A experiencia internacional e os estudos previos suxiren que para superar estas barreiras estruturais se require unha combinación de medidas: acceso a financiamento, alianzas público-privadas e o deseño de estratexias que consideren tanto as especificidades locais como as dinámicas globais. Neste contexto, o enfoque multinivel destaca a importancia de aliñar visións entre actores e mobilizar recursos para facilitar a transición desde os nichos cara a un réxime sociotécnico máis sostible.

Desde unha perspectiva teórica, o enfoque multinivel ofrece unha ferramenta útil para analizar as transicións enerxéticas en contextos específicos como Galicia. Con todo, o estudo revela a necesidade de integrar metodoloxías complementarias, como a análise do ciclo de vida, para avaliar os impactos ambientais e sociais dos proxectos. Ademais, sería relevante contar con información máis detallada sobre os provedores de tecnoloxía e os usuarios finais comprometidos, así como cuantificar os apoios económicos dispoñibles.

En conclusión, o desenvolvemento do hidróxeno verde en Galicia require superar barreiras estruturais e de mercado a través dunha planificación estratéxica que considere os recursos locais e as necesidades da transición enerxética do tecido produtivo galego sen supeditarse ás dinámicas foráneas ou globais. Un enfoque máis coordinado, transparente e sostible podería posicionar a Galicia como un referente en transicións enerxéticas, maximizando o impacto positivo en termos económicos, sociais e ambientais.

## Agradecementos

Esta investigación contou co apoio da Secretaría Xeral de Migración da Xunta de Galicia, a través dunha bolsa BEME concedida a Giannina Pinotti; do grupo de investigación ICEDE, ao que pertence Xavier Vence, recoñecido como Grupo de Investigación de Referencia Competitiva ED431C 2022/15 e financiado pola Xunta de Galicia; e do proxecto “REVALEC” (PID2022-141162NB-I00), financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033/EFDR, UE.

## Contribución dos autores

Conceptualización, G.P. e X.V.; Metodoloxía, G.P. e X.V.; Adquisición de datos, G.P.; Análise e interpretación, G.P. e X.V.; Redacción-Preparación do borrador, G.P.; Visualización, G.P.; Redacción-Revisión e Edición, G.P. e X.V.; Supervisión: X.V. Todos os autores leron e están de acordo coa versión publicada do manuscrito.

## Referencias

ABANCA. (2023, 1 xunio) *Nace ABANCA energy para apoiar a empresas y familias en la transición energética*. ABANCA Comunicación. Recuperado o 4 de xullo de 2024.

- <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 Galega do Hidróxeno [AGH2] (2023, 26 de abril). Entrevista Luis Moreno, director do CTAG - AGH2. Asociación Galega do Hidróxeno. Recuperado o 7 de xullo 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 Galega do Hidróxeno [AGH2] (s.d.). Proxectos - asociación galega do hidróxeno-AGH2. Asociación Galega do Hidróxeno-AGH2. Recuperado o 6 de xullo de 2024 de <https://agh2.org/proyectos-asociacion-gallega-del-hidrogeno-agh2/>
- Aguilar, F. J. (1967). *Scanning the business environment*. Macmillan.
- Alianza Industrial Galega do Hidróxeno Verde [AIGHV] (2024). Mapa de capacidades industriais de Galicia en torno ao 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 o 5 de xullo 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 o 2 de xuño 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 da comisión, de 27 de abril de 2023, que complementa a directiva (UE) 2018/2001 do Parlamento europeo e do Consello no que respecta á aplicación de métodos adicionais de cálculo e os límites de emisión de gases de efecto invernadoiro 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 o 16 de xaneiro 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 o 16 de xaneiro de 2025 de [https://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/somosmar/2024/11/27/reganosa-forestal-unen-crear-valle-hidrogeno-verde-galicia/0003\\_202411G27P2991.htm](https://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/somosmar/2024/11/27/reganosa-forestal-unen-crear-valle-hidrogeno-verde-galicia/0003_202411G27P2991.htm)
- Dirección Xeral de Enerxía da Comisión Europea (2020). Comunicación da Comisión ao Parlamento Europeo, ao Consello, ao Comité Económico e Social Europeo e ao Comité das Rexións. Unha estratexia do hidróxeno para unha Europa climaticamente 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 o 20 de xuño 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 o 4 de xullo 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 o 6 de xullo 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

- Lei de redución da inflación (IRA) (2022). <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/5376>
- Lei 7/2021, de 20 de maio, de cambio climático e transición enerxética. *Boletín Oficial do Estado*, núm. 121, de 21 de maio de 2021, pp. 63082–63162. <https://www.boe.es/eli/es/l/2021/05/20/7>
- Lei 21/2013, de 9 de decembro, de avaliación ambiental. *Boletín Oficial do Estado*, núm. 296, de 11 de decembro de 2013, pp. 97943–97998. <https://www.boe.es/eli/es/l/2013/12/09/21>
- Ministerio para a Transición Ecolóxica e o Reto Demográfico (2020). Hoja de ruta del hidrógeno: Una apuesta por el hidrógeno renovable.
- Ministerio para a Transición Ecolóxica e o Reto Demográfico (2023a). Balance energético de España 2021-2022. <https://www.miteco.gob.es/es/energia/estrategia-normativa/balances/balances.html>
- Ministerio para a Transición Ecolóxica e o 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/anexoiiior\\_r\\_tcm30-528998.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/costas/participacion-publica/anexoiiior_r_tcm30-528998.pdf)
- Ministerio para a Transición Ecolóxica e o Reto Demográfico (2024, 24 setembro). 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 xuño). 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 xaneiro). 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 o 7 de xullo 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 febreiro). 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 Xeral da Comisión Europea (2022). Comunicación daa Comisión ao Parlamento Europeo, ao Consejo Europeo, ao Consello, ao Comité Económico e Social Europeo e ao Comité Europeo das Rexións. 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 setembro). ICIS EXPLAINS: RED III and its implications for hydrogen. ICIS: Independent Commodity Intelligence Services. Recuperado o 2 de xullo 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.d.). Vehículos de inversión. Xesgalicia. Recuperado o 7 de xullo 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 decembro). Programa de CPI da industria e da enerxía de Galicia. Consellería de Economía e Industria - Xunta de Galicia. Recuperado o 6 de xullo de 2024 de <https://economia.xunta.gal/alianzaindustrialh2-cpi>
- Xunta de Galicia (s.d.a). Alianza Industrial Galega do Hidróxeno Verde. Consellería de Economía e Industria, Xunta de Galicia. Recuperado o 6 de xullo de 2024 de [https://economia.xunta.gal/alianzaindustrialh2?langId=es\\_ES](https://economia.xunta.gal/alianzaindustrialh2?langId=es_ES)
- Xunta de Galicia (s.d.b). Proxectos industriais estratéxicos. Oficina Económica de Galicia - Xunta de Galicia. Recuperado o 7 de xullo de 2024 de <https://oficinaeconomicagalicia.xunta.gal/es/proxectos-industriais-estrategicos>

- 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 xuño). Yara opens renewable hydrogen plant: “A major milestone”. *Yara International*. Recuperado o 11 de xullo de 2024 de <https://www.yara.com/corporate-releases/yara-opens-renewable-hydrogen-plant-a-major-milestone/>