

RESUMEN DE ENTREGABLE:

ANÁLISIS DE
VIABILIDAD TÉCNICO,
ECONÓMICO Y
AMBIENTAL

Interreg



Cofinanciado por
la Unión Europea
Cofinanciado pela
União Europeia

España – Portugal

Alcance

Este entregable, desarrollado en el marco de la Acción 4.3, analiza la viabilidad técnica, económica y ambiental de los distintos modelos de negocio propuestos a lo largo de la Actividad 4 con el objetivo de identificar los factores críticos que condicionan su éxito en la zona POCTEP. Para ello, se realiza una revisión del estado del arte sobre el impacto ambiental de las principales tecnologías de hidrógeno a lo largo de su ciclo de vida, evaluando aspectos como la huella de carbono, la huella hídrica y la eficiencia energética. Asimismo, se examina el marco normativo y los requisitos ambientales aplicables a proyectos de producción, almacenamiento y uso de hidrógeno renovable en España y Portugal, destacando tanto los procedimientos de autorización existentes como las áreas regulatorias aún en desarrollo.

Partiendo de los escenarios definidos previamente en el entregable E4.2, se evalúa la viabilidad tecno-económica y ambiental de los modelos de negocio mediante diferentes hipótesis de precios de electricidad, costes involucrados en los modelos, escalas de aplicación y configuraciones tecnológicas. Este análisis permite comparar el desempeño de las distintas alternativas y, además, identificar las principales barreras que pueden afectar a su replicabilidad y escalabilidad. La consideración de estos obstáculos resulta esencial para valorar el potencial de integración de las soluciones basadas en hidrógeno en el tejido industrial y socioeconómico de la zona POCTEP.

Tramitación e impacto ambientales

El análisis realizado confirma que la evaluación ambiental de las tecnologías de hidrógeno debe abordarse desde una perspectiva de ciclo de vida completa, considerando no solo la fase de operación, sino también la fabricación de equipos, el consumo de recursos, el transporte, el almacenamiento e incluso el final de vida de las instalaciones. La literatura científica pone de manifiesto que el hidrógeno renovable puede desempeñar un papel clave en la descarbonización de la economía, aunque sus beneficios ambientales dependen en gran medida de las tecnologías empleadas y especialmente, del origen de la energía utilizada. Los resultados recopilados muestran que la electrólisis alimentada con fuentes renovables, como la energía fotovoltaica o eólica, presenta los mejores resultados en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, mientras que la electrólisis conectada a redes eléctricas con una elevada participación de combustibles fósiles puede registrar impactos ambientales comparables o incluso superiores a algunas tecnologías convencionales basadas en gas natural.

Otro aspecto relevante identificado es el uso del agua, recurso especialmente sensible en gran parte de la zona POCTEP. Aunque la producción de hidrógeno mediante electrólisis requiere agua como materia prima y para procesos auxiliares, diversos estudios concluyen que el hidrógeno a partir de fuentes renovables presenta, en términos generales, una huella hídrica inferior a otras alternativas de hidrógeno bajo en carbono. No obstante, la disponibilidad local de recursos hídricos puede convertirse en un factor limitante para futuros proyectos, especialmente en escenarios de estrés hídrico o sequía, que son con el paso de tiempo, retos más desconcertantes frente a la crisis climática. Del mismo modo, el análisis energético evidencia que las tecnologías renovables ofrecen un mejor comportamiento global que las basadas en combustibles fósiles, si bien todo el ecosistema del hidrógeno continúa enfrentándose a pérdidas energéticas significativas

asociadas a la producción, compresión, almacenamiento, transporte y uso final del propio hidrógeno. Estos resultados hacen ver la necesidad de evaluar cada proyecto teniendo en cuenta las condiciones locales, el mix energético disponible y la disponibilidad de recursos hídricos.

Con respecto al marco regulatorio y ambiental aplicable al desarrollo de proyectos de hidrógeno renovable en Galicia, Andalucía, Castilla y León y Portugal (regiones participantes del proyecto AIHRE) se observa una tendencia común: aunque existe ya una base normativa suficiente para tramitar este tipo de instalaciones, el marco regulatorio continúa evolucionando para adaptarse a las particularidades de una tecnología todavía emergente. La producción de hidrógeno se considera generalmente una actividad industrial de carácter químico, lo que implica la necesidad de cumplir exigentes requisitos ambientales y de seguridad, incluyendo procedimientos de evaluación de impacto ambiental, autorizaciones ambientales integradas, autorizaciones relativas a captación y vertido de aguas, así como múltiples trámites sectoriales relacionados con urbanismo, seguridad industrial y protección del medio ambiente.

El análisis de las guías y normativas regionales muestra que la evaluación ambiental constituye uno de los elementos centrales de la tramitación. En Galicia, el proceso incluye fases de admisión, consultas previas, información pública, evaluación ambiental y autorización administrativa, con una participación destacada de numerosos organismos sectoriales y de las autoridades competentes en materia de aguas. Por su parte, Andalucía ha avanzado en la simplificación administrativa de los proyectos de hidrógeno renovable mediante la incorporación de los proyectos de electrólisis renovable al procedimiento de evaluación ambiental simplificada, reduciendo significativamente la complejidad administrativa respecto a la regulación anterior. Castilla y León sostiene un enfoque basado en la integración de la normativa ambiental e industrial vigente, creando a su vez organismos o iniciativas administrativas que aceleran y conglomeran los proyectos de hidrógeno renovable, mientras que Portugal ha impulsado mecanismos de simplificación a través del programa “Simplex Ambiental”, además de establecer procedimientos específicos para licencias de producción, construcción y explotación.

En conjunto, el despliegue del hidrógeno renovable en la zona POCTEP presenta un elevado potencial desde el punto de vista de la descarbonización y de la integración de energías renovables. Sin embargo, su desarrollo dependerá de factores críticos como la disponibilidad de electricidad renovable competitiva, la gestión sostenible de los recursos hídricos, la mejora de la eficiencia energética de toda la cadena de valor y la evolución del marco regulatorio. La progresiva simplificación de los procedimientos administrativos y la armonización de los requisitos ambientales entre territorios serán elementos clave para facilitar la implantación y escalabilidad de proyectos de hidrógeno en los próximos años.

Análisis tecno-económico y ambiental modelo de negocio 1: Hidrógeno como servicio para ecosistemas portuarios

El análisis de este modelo de negocio se ha desarrollado tomando como caso de estudio una sección muy concreta del Puerto Interior de Ferrol, utilizando datos reales de consumo

de los sistemas OPS (Onshore Power Supply) que suministran energía eléctrica a los remolcadores durante sus periodos de atraque. El objetivo principal ha sido determinar qué configuraciones tecnológicas pueden ofrecer una alternativa técnica, económica y ambientalmente viable al suministro convencional desde la red eléctrica, evaluando distintas combinaciones de generación fotovoltaica, almacenamiento en baterías y sistemas basados en hidrógeno. Los perfiles de demanda obtenidos a partir de datos operativos reales permitieron construir un escenario representativo para analizar tanto soluciones conectadas a red como configuraciones aisladas, cuyos resultados tecno-económicos detallados se muestran en las Figuras 10 a 14 del Entregable E4.3 completo.

Los resultados tecno-económicos muestran que, en sistemas conectados a la red eléctrica, la combinación de generación fotovoltaica y almacenamiento en baterías constituye la solución más eficiente y competitiva actualmente. El incremento de potencia fotovoltaica y capacidad de almacenamiento permite reducir significativamente el coste nivelado de la energía (LCOE) y alcanzar niveles de autoconsumo cercanos al 60 %. Por el contrario, la incorporación de sistemas de hidrógeno en este tipo de configuraciones incrementa notablemente el LCOE sin aportar beneficios significativos en términos de autoconsumo, debido principalmente a la escasez de excedentes renovables disponibles para alimentar los electrolizadores y generar suficiente hidrógeno. En consecuencia, bajo las condiciones analizadas (configuraciones de conexión a red), el uso de hidrógeno para respaldar sistemas OPS conectados a la red no resulta económicamente competitivo frente a soluciones basadas únicamente en renovables y baterías.

El comportamiento es diferente en escenarios aislados de la red eléctrica. En estas configuraciones, la combinación de generación fotovoltaica, almacenamiento eléctrico y pilas de combustible alimentadas con hidrógeno permite mejorar la cobertura de la demanda energética y aumentar la fiabilidad del sistema. Los análisis realizados indican que un dimensionamiento adecuado de las baterías reduce considerablemente la energía no suministrada, mientras que la incorporación de pilas de combustible permite cubrir déficits de generación renovable que no podrían ser cubiertos de otra manera. Sin embargo, la viabilidad económica de estas soluciones depende de forma muy significativa del coste del hidrógeno importado. Cuando el precio del hidrógeno es elevado, el incremento de costes asociado a la pila de combustible puede superar los beneficios obtenidos en términos de fiabilidad. Aun así, cuando se consideran los costes energéticos y ambientales derivados de cubrir la demanda no atendida mediante motores diésel de los propios remolcadores, las soluciones con hidrógeno adquieren una mayor relevancia estratégica.

Desde el punto de vista ambiental, los resultados confirman que la integración de energía fotovoltaica y almacenamiento puede reducir de forma sustancial las emisiones asociadas al suministro eléctrico de los remolcadores, alcanzando reducciones próximas al 60 % respecto al escenario de referencia, en sistemas conectados a red. Por otra parte, en sistemas aislados, las configuraciones que incorporan hidrógeno contribuyen a minimizar la dependencia de combustibles fósiles y permiten alcanzar reducciones adicionales de emisiones siempre que se garantice una cobertura suficiente de la demanda. Por el contrario, cuando la energía no suministrada debe cubrirse mediante motores diésel, el beneficio ambiental disminuye significativamente e incluso pueden registrarse emisiones

superiores a las del escenario conectado a red.

Finalmente, el análisis concluye con las barreras para la replicabilidad y escalabilidad del modelo de negocio. En entornos conectados a la red, la principal limitación es económica, ya que el coste actual del hidrógeno renovable continúa siendo superior al de la electricidad convencional. Esto deja a las tecnologías del hidrógeno como tecnologías dependientes de entornos industriales que requieran y generen demandas alternativas de hidrógeno. En sistemas aislados predominan las restricciones ligadas a la disponibilidad de espacio onshore para instalar generación renovable suficiente, aspecto especialmente relevante en entornos portuarios. A ello se suman factores como los elevados costes de inversión inicial, la evolución incierta de los precios energéticos, la necesidad de marcos regulatorios más consolidados y los desafíos asociados a la logística y seguridad del almacenamiento y manejo del hidrógeno. En consecuencia, la viabilidad futura de este modelo dependerá en gran medida de la reducción de costes tecnológicos, de la integración de nuevas demandas energéticas que aumenten la utilización de las infraestructuras y del aprovechamiento de recursos renovables complementarios, especialmente la energía eólica, para maximizar la producción y utilización local de hidrógeno renovable.

Análisis tecno-económico y ambiental modelo de negocio 2: Producción de H2 a partir de biomasa disponible en la zona POCTEP (gasificación de biomasa)

El análisis de este modelo de negocio evalúa dos aplicaciones principales: la producción de gas de síntesis (syngas) para cubrir demandas térmicas industriales y el desarrollo de plantas híbridas que integran biomasa e hidrógeno renovable para la producción de e-biometanol. El objetivo es valorizar recursos biomásicos locales y reducir la dependencia de combustibles fósiles mediante soluciones energéticas de baja huella de carbono.

En el caso de la producción de syngas, los resultados muestran que la viabilidad económica depende principalmente de la disponibilidad y el coste de la biomasa residual. Cuanto mayor es la cantidad de biomasa disponible y más reducido su coste, menor resulta el coste nivelado de la energía térmica producida. En la misma línea, una capacidad adecuada de almacenamiento contribuye a mejorar la competitividad del sistema al reducir la necesidad de recurrir a biomasa externa de mayor coste. Los análisis realizados (Figuras 18 a 22 del Entregable E4.3 completo) también ponen de manifiesto que los costes de instalación tienen una influencia directa sobre la rentabilidad, mientras que el tipo de agente gasificador empleado genera diferencias económicas relativamente reducidas.

Desde el punto de vista ambiental, la sustitución del gas natural por biomasa residual permite una reducción significativa de emisiones, estimada en torno a 677 tCO₂-eq anuales para el caso de estudio. Además, la incorporación de costes asociados a las emisiones de carbono favorece la competitividad de las alternativas basadas en biomasa frente a las tecnologías fósiles, reforzando su interés en escenarios de descarbonización.

Por otra parte, el análisis de las plantas híbridas para producción de e-biometanol confirma el potencial de combinar electrólisis renovable y procesos de valorización de biomasa. Los resultados preliminares indican que las configuraciones basadas en oxidación o en el uso directo del gas de síntesis adecuadamente tratado son las opciones más prometedoras desde el punto de vista económico. No obstante, ambos modelos de negocio siguen enfrentándose a barreras relevantes relacionadas con los elevados costes de inversión, la logística de suministro de biomasa, la complejidad tecnológica y los procesos administrativos. Su despliegue a mayor escala requerirá optimizar las cadenas de suministro, garantizar la sostenibilidad de la biomasa utilizada y mejorar la eficiencia global de las instalaciones.

Análisis tecno-económico y ambiental modelo de negocio 3: Transporte en zonas rurales a partir de hidrógeno

Este modelo de negocio evalúa la viabilidad de un servicio de transporte transfronterizo basado en hidrógeno entre Vigo, el aeropuerto de Sá Carneiro y Oporto, una ruta con elevada demanda potencial y características favorables para este vector energético debido a las largas distancias recorridas, la necesidad de una alta disponibilidad operativa y la posibilidad de centralizar el repostaje de una flota cautiva en una única hidrogenadora. El estudio analiza toda la cadena de valor, incluyendo la producción de hidrógeno mediante electrólisis, su almacenamiento, dispensado y uso en autobuses equipados con pila de combustible o motores de combustión de hidrógeno.

Los resultados tecnoeconómicos muestran que el principal factor que condiciona la competitividad del modelo es el coste de los vehículos. Aunque los autobuses de hidrógeno continúan presentando costes superiores a los vehículos diésel convencionales, la viabilidad mejora a medida que aumenta el número de autobuses en servicio, ya que se incrementa el aprovechamiento de las infraestructuras de producción y repostaje. Algunos vehículos como autobuses con motor de combustión de hidrógeno ya se presentan como competitivos a nivel de costes de inversión. Asimismo, una reducción futura de los costes de adquisición y un aumento de la vida útil de los vehículos permitirían acercar significativamente los costes operativos a los de las tecnologías convencionales.

Desde el punto de vista del usuario, el impacto económico sobre el precio del billete resulta relativamente limitado. Para niveles de ocupación representativos del corredor analizado, el incremento del coste por pasajero se sitúa generalmente por debajo de 1,5 €, lo que indica que el sobre coste asociado al hidrógeno podría ser asumible, especialmente en escenarios apoyados por medidas de incentivo público durante las primeras etapas de implantación.

En términos ambientales, la sustitución de autobuses diésel por vehículos alimentados con hidrógeno renovable permite reducciones importantes de emisiones, alcanzando entre 890 y 2.660 tCO₂-eq al año en función del tamaño de la flota. Por tanto, aunque la competitividad económica sigue siendo el principal reto, el modelo presenta un elevado potencial de replicabilidad en servicios de flota cautiva, transporte interurbano y conexiones aeroportuarias, especialmente a medida que maduren las tecnologías y

disminuyan sus costes de inversión.

Análisis cruzado y conclusiones

El análisis realizado confirma que la viabilidad de las aplicaciones basadas en hidrógeno depende en gran medida del contexto de uso y de las condiciones específicas de cada modelo de negocio. Aunque los tres casos estudiados, ecosistemas portuarios, valorización de biomasa y transporte transfronterizo, presentan potencial para contribuir a la descarbonización de la región POCTEP, sus niveles de madurez, competitividad y capacidad de escalado son diferentes.

Entre las alternativas evaluadas, el transporte mediante flotas cautivas alimentadas con hidrógeno destaca como la opción con mayor potencial de implantación a corto y medio plazo. La existencia de rutas definidas y puntos de repostaje centralizados simplifica la logística de suministro y facilita el despliegue de infraestructuras. Aunque el coste de los vehículos continúa siendo la principal barrera económica, los resultados muestran que el impacto final sobre el usuario puede mantenerse en niveles asumibles, especialmente a medida que las tecnologías maduren y reduzcan sus costes.

Los ecosistemas portuarios también se identifican como entornos favorables para el desarrollo del hidrógeno, gracias a la concentración de actividades y demandas energéticas. Sin embargo, las simulaciones realizadas indican que los sistemas OPS basados en hidrógeno encuentran dificultades para competir con la electricidad procedente de la red cuando se consideran de forma aislada. Su viabilidad mejora significativamente cuando las infraestructuras de producción y almacenamiento de hidrógeno pueden atender múltiples usos dentro del propio entorno portuario.

Por su parte, los modelos basados en la valorización de biomasa residual presentan un mayor grado de incertidumbre. Su competitividad depende fuertemente de la disponibilidad local de biomasa, de los costes de recogida y transporte y de las características del recurso disponible. Aunque ofrecen importantes beneficios ambientales y oportunidades en determinados territorios, siguen enfrentándose a retos técnicos, logísticos y económicos que condicionan su escalabilidad.

De manera transversal, todos los modelos analizados comparten barreras comunes, entre las que destacan los elevados costes de inversión inicial, la necesidad de alcanzar economías de escala, la incertidumbre sobre la evolución de los costes energéticos y tecnológicos y la importancia de contar con marcos regulatorios estables. En conjunto, los resultados confirman que el hidrógeno renovable puede desempeñar un papel relevante en la transición energética de la región POCTEP, especialmente en aplicaciones con demanda concentrada y elevada utilización de las infraestructuras, si bien su despliegue requerirá continuar avanzando en la reducción de costes, el desarrollo tecnológico y la integración de distintos sectores energéticos.



RESUMEN AIHRE

Título

AIHRE: Análisis e Impulso del H2 RENovable en la región POCTEP

Fecha de inicio - Fecha de fin del proyecto

01/07/2023 - 30/06/2026 (36 months)

Tipo de Proyecto

Análisis e Impulso de H2 Renovable

Programa

INTERREG POCTEP – tercera convocatoria

Financiación

1,5M€ - Cofinanciado al 75%

Coordinador

Fundación CIDAUT

Visión general del proyecto

El proyecto AIHRE pretende impulsar la implementación del hidrógeno en la zona POCTEP, desarrollando la tecnología necesaria para su valorización y analizando las diferentes etapas de la cadena de valor del hidrógeno renovable en dicha zona.