

Proyecto Nitro D-Cell: Una nueva vía para producir hidrógeno verde consumiendo menos energía y valorizando nitrocomponentes

El consorcio de empresas constituido por GFM, HFC e IMDEA Energía ha completado las tres primeras fases del proyecto Nitro D-Cell, demostrando que la incorporación de derivados nitrogenados como electrolito en celdas electroquímicas permite incrementar la producción de hidrógeno y reducir significativamente el consumo energético respecto a la electrólisis alcalina convencional. Los resultados abren una vía prometedora hacia sistemas electrolizadores de mayor eficiencia para la producción de hidrógeno verde.

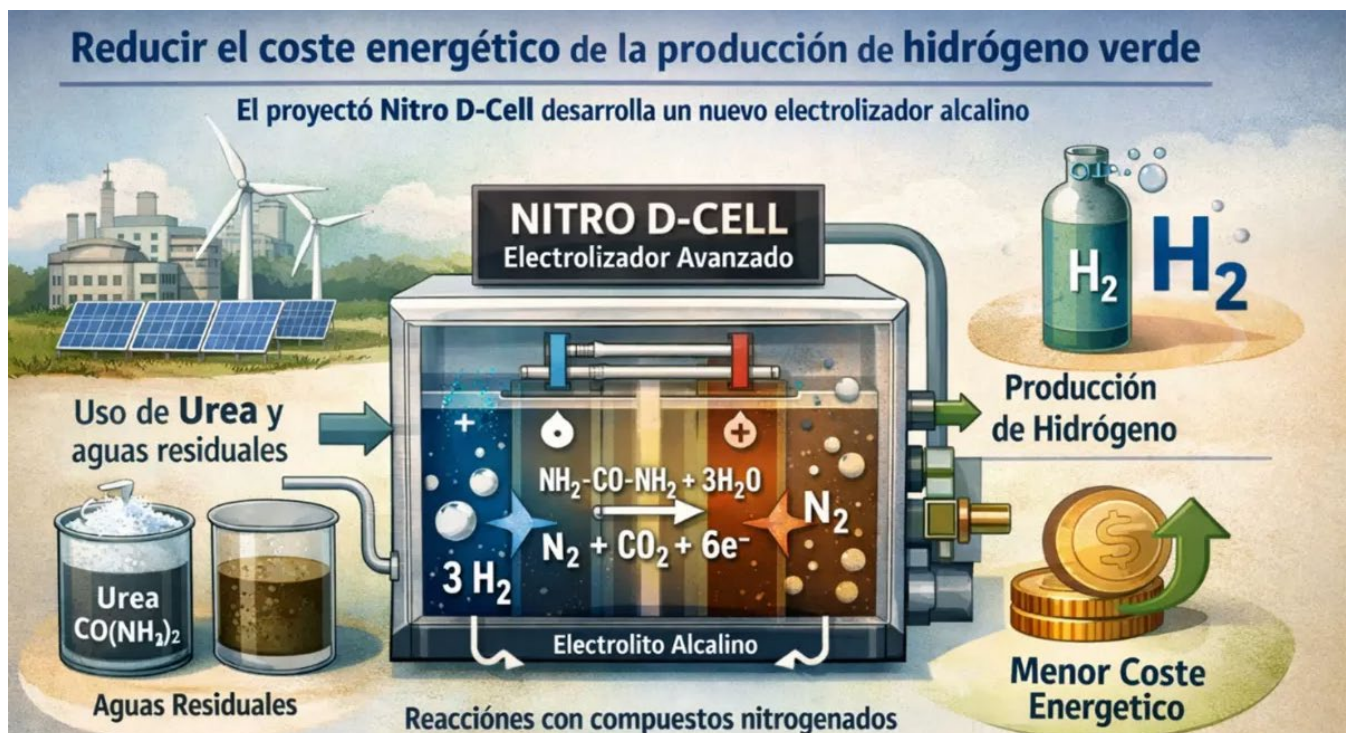


Imagen cedida por los autores del artículo.

Contexto y motivación

La producción de hidrógeno verde mediante electrólisis alcalina se enfrenta a un reto fundamental: el elevado consumo energético que encarece su competitividad frente al hidrógeno de origen fósil.

En este contexto surge el proyecto Nitro D-Cell, una iniciativa orientada al desarrollo de una nueva generación de electrolizadores capaces de producir hidrógeno mientras valorizan compuestos nitrogenados presentes en corrientes líquidas industriales. La propuesta tecnológica se basa en sustituir parcialmente la reacción convencional de oxidación

del agua por la electrooxidación de derivados nitrogenados, una estrategia que permite reducir significativamente los requerimientos energéticos del proceso y aumentar simultáneamente la producción de hidrógeno.

PT1 | Materiales activos para el ánodo: electrooxidación de derivados nitrogenados

El primer paquete de trabajo se centró en la identificación y caracterización de los materiales activos más adecuados para la reacción de oxidación en el electrodo positivo de la celda. El ánodo es la pie-

Autores: Victor Dato (GFM Fotovoltaica), Sergio Luján (GFM Fotovoltaica), Jesús Martín-Borja (GFM Fotovoltaica), Francisco Fueyo-González (HFC), María Cuartero-González (Instituto IMDEA Energía), Javier R. Guerrero (Instituto IMDEA Energía), Julio Lado (Instituto IMDEA Energía), Enrique García-Quismondo (Instituto IMDEA Energía), Jesús Palma (Instituto IMDEA Energía).

PROYECTO: Nitro D-Cell.

TECNOLOGÍA: Electrólisis alcalina con electrolitos ricos en nitroderivados.

ESTRUCTURA: 4 paquetes de trabajo (PT1-PT4).

OBJETIVO: Mayor producción de H_2 y menor consumo energético frente a la electrólisis alcalina convencional.

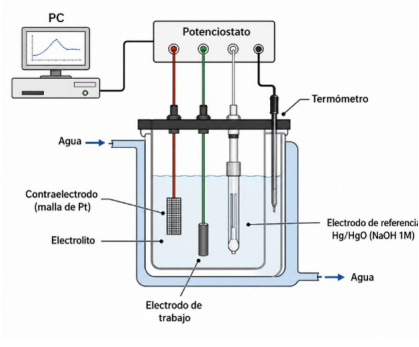


Figura 1. Esquema de la celda de 3 electrodos utilizada en los ensayos del paquete de trabajo 1.

za clave del concepto Nitro D-Cell: es en este electrodo donde se produce la electrooxidación de los nitroderivados presentes en el electrolito, reacción que sustituye la evolución de oxígeno convencional y permite operar a potenciales significativamente menores.

La metodología empleada se basó en la preparación de distintos materiales activos basados en níquel en forma de tinta electroquímica, depositados sobre electrodos de carbono vitreo. La evaluación del comportamiento electroquímico se llevó a cabo en configuración de celda de tres electrodos, tal y como se muestra en el esquema de la figura 1, lo que permitió aislar y cuantificar con precisión la respuesta de cada formulación frente a los nitroderivados presentes en el electrolito.

Tras el análisis comparativo de la actividad catalítica, la estabilidad y la selectividad de los distintos candidatos, se seleccionaron dos materiales soporte como los más prometedores para su integración en etapas posteriores del proyecto:

El NiOOH (oxihidróxido de níquel) entre otros emergieron como los materiales de mayor actividad catalítica en la oxidación de nitroderivados, combinando una buena conductividad electrónica con una elevada estabilidad en medio alcalino.

PT2 | Materiales para la producción de hidrógeno en el cátodo

El segundo paquete de trabajo abordó el desarrollo del electrodo catódico, responsable de la reacción de reducción del agua y, por tanto, de la generación de hidrógeno. Los requisitos que deben cumplir los electrodos negativos son principalmente alta resistencia a la corrosión, buena conductividad eléctrica, gran área activa e integridad estructural. El desafío en este caso reside en encontrar materiales que mantengan alta actividad hacia la reacción de evolución de hidrógeno

RESULTADO CLAVE: Materiales anódicos seleccionados: NiOOH depositados sobre carbono vitreo (figura 2).



Figura 2. Deposición de tinta de material activo sobre la superficie activa de un electrodo de carbono vitreo.

(HER) en condiciones de alcalinidad extrema, características del electrolito nitrogenado empleado en el proyecto.

Se evaluaron mediante ensayos en celda de tres electrodos diversas aleaciones con tolerancia contrastada a ambientes alcalinos severos, entre ellas acero inoxidable, níquel y elimbar (aleación de hierro-níquel de baja expansión térmica). A continuación, se investigó el efecto del recubrimiento superficial con capas de óxidos metálicos nanoporosos (Figura 3),

con el objetivo de mejorar la estabilidad de los sustratos frente a la corrosión en medio alcalino y, simultáneamente, modificar su respuesta electroquímica.

La presencia de una arquitectura porosa proporciona una superficie protectora de elevada área específica y genera puntos preferentes de nucleación para la formación y desprendimiento de burbujas de gas, favoreciendo así la operación del electrodo durante las reacciones electroquímicas.



Figura 3. Esquema sobre los recubrimientos ensayados en el paquete de trabajo 2 para mejorar la efectividad de la producción de hidrógeno en el cátodo.

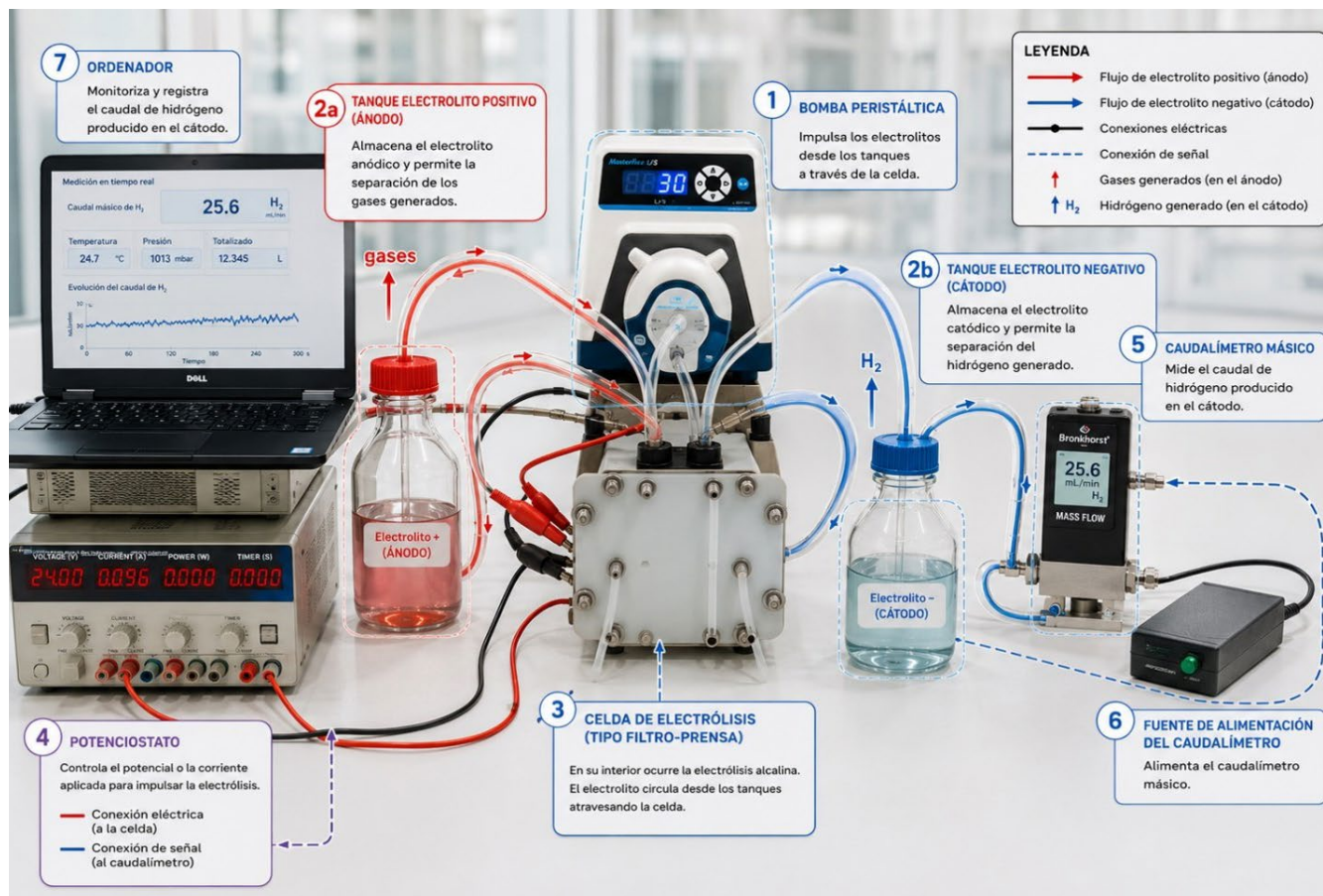


Figura 4. Prototipo de sistema de electrólisis Nitro D-Cell donde se desarrollaron los ensayos del paquete de trabajo 3.

Los ensayos comparativos pusieron de manifiesto diferencias significativas entre los sistemas evaluados, tanto en densidad de corriente de intercambio como en sobrepotencial de la HER:

El acero inoxidable recubierto mostró el mejor compromiso entre actividad catalítica, estabilidad química y escalabilidad, posicionándose como el material catódico de referencia del proyecto.

RESULTADO CLAVE: Material catódico seleccionado: acero inoxidable con recubrimiento

PT3 | Desarrollo y validación del prototipo de celda

Con los materiales de ánodo y cátodo definidos en las fases anteriores del proyecto, el tercer paquete de trabajo afrontó la integración de dichos materiales en un prototipo de celda funcional. Este paso supone el salto desde los ensayos en celda de tres electrodos —configuración de laboratorio ideal para el estudio fundamental— hacia un dispositivo electroquímico completo, como el que se muestra en la figura 4, en el que ambos electrodos

interactúan en condiciones más próximas a las de una aplicación real.

Uno de los retos más relevantes de esta etapa fue la selección del material soporte estructural sobre el que depositar las tintas de materiales activos. Se evaluaron tres tipologías de soporte ampliamente empleadas en electrólisis: fieltros de grafito, carbon paper y espumas de níquel. Sobre cada uno de ellos se depositaron partículas de los materiales activos basados en níquel previamente identificados, y se procedió a su caracterización completa en celda.

Los resultados obtenidos permitieron establecer una jerarquía clara tanto en la selección del soporte como en la combinación de electrodos óptima:

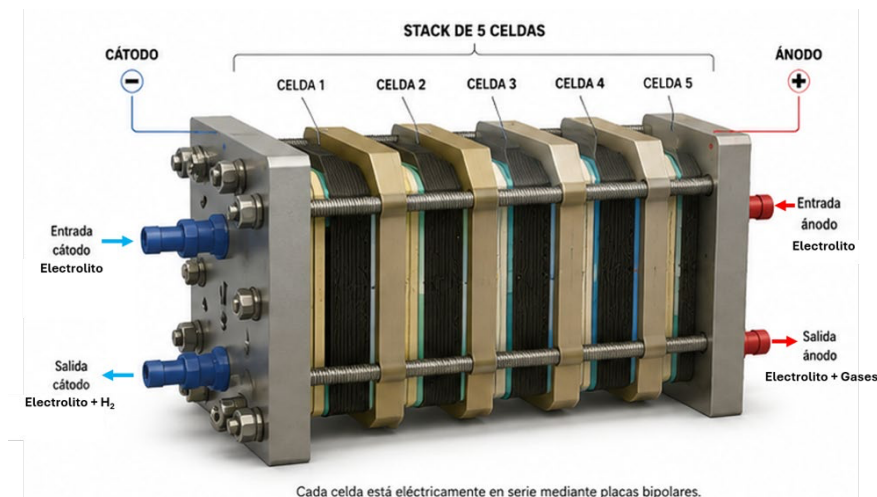
El fieltro de grafito demostró ser el soporte estructural con mejores prestaciones en términos de conductividad, porosidad y compatibilidad con las tintas electroquímicas desarrolladas en PT1. La combinación de un ánodo de fieltro de grafito impregnado con tinta de NiOOH y un cátodo de acero inoxidable recubierto proporcionó la mayor producción de hidrógeno con el menor consumo energético de entre to-

RESULTADO CLAVE: Configuración óptima de celda: ánodo de fieltro de grafito + tinta NiOOH / cátodo de acero inoxidable + material nanoporoso nanoporoso.

PT4 | Escalado: construcción del stack de 5 celdas (en curso)

El cuarto y último paquete de trabajo tiene como objetivo demostrar la viabilidad del concepto Nitro D-Cell a mayor escala, superando el nivel de celda individual para alcanzar el de un stack electrolizador. Se trata de la fase de mayor complejidad ingenieril del proyecto, ya que el escalado de sistemas electroquímicos conlleva retos específicos que no se manifiestan en ensayos a escala de laboratorio: gestión de fluidos, distribución de corriente homogénea, estanqueidad de los ensamblajes, uniformidad de los materiales y reproducibilidad de los recubrimientos.

Antes de probar los electrodos del paquete del trabajo 3 en el stack que se está diseñando y construyendo, se realiza una fase de escalado intermedio para estudiar el impacto de la escalabilidad del sistema.



Cada celda está eléctricamente en serie mediante placas bipolares.

Figura 5. Esquema del stack de 5 celdas que se está desarrollando en el paquete de trabajo 4.

Para ello se usa la instalación que aparece en la figura 6.

Actualmente, el equipo se encuentra en proceso de construcción de un stack de cinco celdas (Figura 5) destinado a ser probado en un entorno controlado. La fase de pruebas del stack permitirá validar los resultados obtenidos en las etapas anteriores, identificar los efectos emergentes propios del escalado y sentar las bases para el diseño de sistemas de mayor capacidad en el futuro.

Estado actual: en construcción. Stack de 5 celdas previsto para validación en ambiente controlado.

Conclusiones y perspectivas

El proyecto Nitro D-Cell ha demostrado, a lo largo de sus primeras tres fases, la coherencia y robustez del concepto electroquímico que le da nombre. La elección de derivados nitrogenados como componente funcional del electrolito ha permitido reconfigurar la reacción anódica del electrolizador, reduciendo el potencial de celda requerido y, con ello, el coste energético asociado a la producción de hidrógeno. Los materiales identificados —NiOOH y ferrocianuro de níquel en el ánodo; acero inoxidable con materiales na-

noporosos en el cátodo, ambos sobre soporte de fieltro de grafito— ofrecen una combinación de actividad catalítica, estabilidad química y facilidad de fabricación adecuada para su integración en prototipos de mayor escala.

La culminación del PT4, con la validación del stack de cinco celdas, será determinante para evaluar el potencial de transferencia tecnológica de la solución desarrollada. Si los resultados a escala de stack confirman las prestaciones observadas a nivel de celda individual, el concepto Nitro D-Cell podría constituir una aportación relevante al ecosistema tecnológico del hidrógeno verde, especialmente en contextos donde la disponibilidad de corrientes ricas en nitroderivados —como efluentes industriales o aguas residuales— permita integrar la funcionalidad del electrolito en la propia lógica de proceso.

Financiación del proyecto

El proyecto ha sido acogido dentro del Programa de incentivos 4: retos de investigación básica-fundamental de IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU.

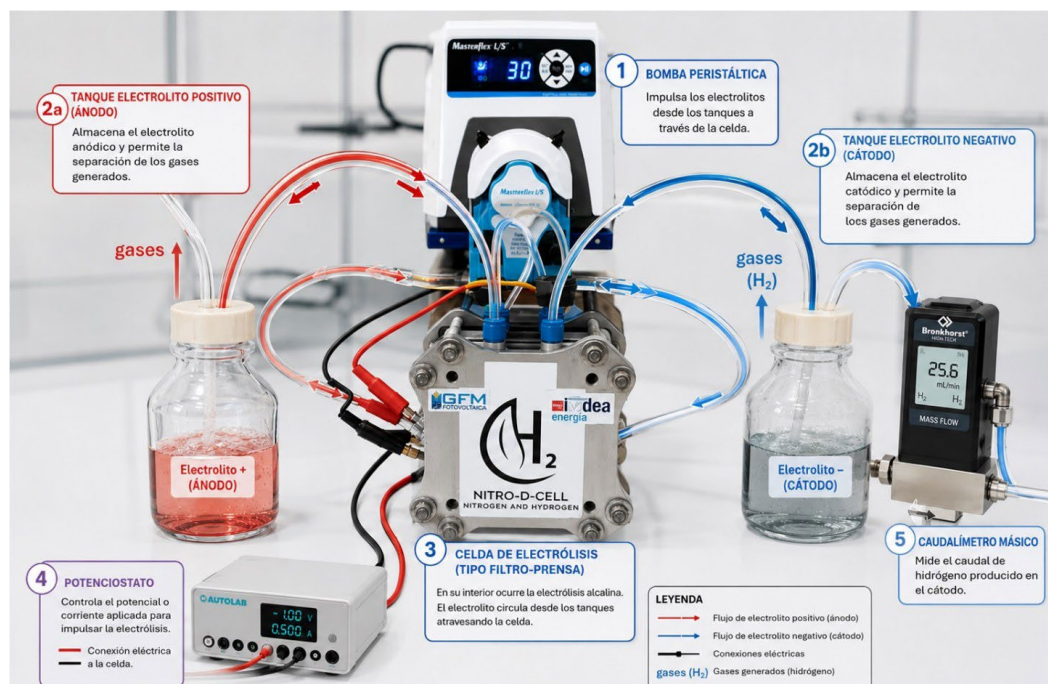


Figura 6. Prototipo de sistema de electrólisis Nitro D-Cell donde se desarrollaron los ensayos del paquete de trabajo 4.



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



IDAIE
Instituto para la Diversificación
y Ahorro de la Energía

Plan de
Recuperación,
Transformación
y Resiliencia

