Trilogía
CIENCIA TECNOLOGÍA SOCIEDAD

Artículo de investigación

Hidrógeno verde en Uruguay: análisis de actores y relaciones desde la ciencia, la tecnología y la sociedad*

Green Hydrogen in Uruguay: An Analysis of Actors and Relationships from a Science, Technology, and Society Perspective

Andrea Waiter[1], Claudia Cohanoff[2], Soledad Contreras[3]

Resumen

En 2018, en Uruguay, aparece el interés en la incorporación del hidrógeno verde para la descarbonización del transporte pesado y de larga distancia. En 2020, al asumir un nuevo gobierno se produce un viraje en los objetivos de la política en cuanto al destino de la producción, elaborando una hoja de ruta del hidrógeno verde que destaca su exportación a países del norte global. En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo analizar el proceso de incorporación del hidrógeno verde en el Uruguay entre los años 2018 y 2024 desde la perspectiva de los sistemas nacionales de innovación. Para ello, se analizan los vínculos entre actores involucrados de la academia, el Estado, el sector productivo y la sociedad civil en torno al primer proyecto de hidrógeno verde en el país: Proyecto Tambor-Enertrag. La metodología se basó en el análisis de documentos de todo el período en estudio y en la realización de entrevistas a informantes clave. Como principal hallazgo, se destaca la débil vinculación entre buena parte de los actores involucrados, concretamente entre el sector productivo y el gobierno con el sector académico, y la ausencia de mecanismos de participación que incluyan de forma activa a la sociedad civil. Sin embargo, el desarrollo de hidrógeno verde en Uruguay es un proceso en ciernes y, por lo tanto, constituye una oportunidad para romper con relaciones poco sistémicas y virtuosas entre los actores.

Palabras clave: hidrógeno verde, innovación tecnológica, política energética, transición energética.

Cómo referenciar

Waiter, A., Cohanoff, C., y Contreras, S. (2025). Hidrógeno verde en Uruguay: análisis de actores y relaciones desde la ciencia, la tecnología y la sociedad. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, *17*(36), e3429. https://doi.org/10.22430/21457778.3429

* El presente artículo se enmarca en el trabajo de la red temática PCTI-LALICS.

[1] Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, awaiter@csic.edu.uy, [2] Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, claudia@csic.edu.uy, [3] Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, scontreras@csic.edu.uy

Recibido: 11 de marzo de 2025 | **Aceptado:** 2 de julio de 2025

CC BY NC SA
OPEN ACCESS

Abstract

In 2018, Uruguay began exploring the use of green hydrogen as a means to decarbonize heavy and long-distance transport. By 2020, the arrival of a new government brought a shift in policy priorities regarding production destinations, marked by the development of a green hydrogen roadmap that emphasizes exports to countries in the Global North. In this context, the present article analyzes Uruguay's green hydrogen integration process between 2018 and 2024 through the lens of national innovation systems. Specifically, it examines the relationships among stakeholders from academia, government, the production sector, and civil society, centering on the country's first green hydrogen project: the Tambor Project–ENERTRAG. Methodologically, the study draws on the analysis of documents spanning the entire period, as well as interviews with key informants. The findings reveal limited collaboration among several actors—especially between the production sector and government with academia—and a notable lack of mechanisms for civil society engagement. Nevertheless, the early stage of green hydrogen development in Uruguay presents an opportunity to overcome these fragmented and non-synergistic relationships among stakeholders.

Keywords: green hydrogen, technological innovation, energy policy, energy transition.

INTRODUCCIÓN

El uso de combustibles fósiles es la principal causa del cambio climático y del efecto invernadero, pero más del 80 % de la producción mundial de energía sigue basándose en petróleo y gas (Schneegans et al., 2021). Para el 2021, las emisiones de dióxido de carbono que provenían de la generación de energía alcanzaron las 34 Gigatoneladas (Climatewatch, 2024). Las actividades humanas han producido impactos en el sistema climático que se han vuelto más evidentes desde mediados del siglo XX (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023a) alcanzando el máximo histórico de temperatura superficial global en la última década (IPCC, 2023b). Una transición energética global hacia un modelo ambientalmente y humanamente sustentable es imprescindible. Muchos países asumieron compromisos para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en el marco del Acuerdo de París de 2015 (COP21) y varios gobiernos han tomado acciones para la sustitución de combustibles fósiles por energías limpias.

Uruguay no ha sido ajeno a este proceso: a partir del año 2005 ha logrado diversificar su matriz eléctrica al incorporar fuentes de energía renovables y autóctonas, principalmente la eólica. En 2018, surge el interés en integrar el hidrógeno verde (HV) a la matriz energética uruguaya para la descarbonización de sectores que permanecen dependientes de los combustibles fósiles, como el transporte pesado y de larga distancia. Tras el cambio de gobierno producido en el año 2020,[1] se elaboró la *Hoja de ruta del hidrógeno verde y derivados en Uruguay* en el que su principal propósito pasa del consumo interno a la exportación hacia países del norte global (Ministerio de Industria, Energía y Minería [MIEM], 2023). Uruguay, entonces, se encuentra en una transición energética, un proceso que presenta varios conflictos y desafíos.

[1] Período de gobierno que culminó el 1.º de marzo del 2025.

Smil (2011) define las transiciones energéticas como el proceso de cambio de una fuente o una combinación de fuentes de energía dominante a una nueva estructura de oferta energética. Así, la idea es que en cierto momento histórico una fuente de energía dominante entra en competencia con una alternativa, que luego la sustituye.

El enfoque de los sistemas nacionales de innovación (SNI) resulta útil para el estudio de las transiciones energéticas (Cohanoff et al., 2020). Según este marco, la innovación depende de la interacción entre diversos actores, que forman parte de la estructura científico-tecnológica, de la estructura económica, del sistema de producción, del sistema de comercialización y del sistema financiero. Es a través de esas interacciones que se produce el proceso de aprendizaje, central para la innovación (Johnson y Lundvall, 1994; Lundvall, 1992).

Para Sabato y Botana (2021) la innovación como proceso necesita de la acción coordinada de distintos actores que se encuentran dentro de tres vértices que conforman un triángulo: el gobierno, la estructura productiva y la estructura científico-tecnológica. La innovación depende de un sistema de relaciones entre estos tres vértices (interrelaciones), de los actores dentro de cada vértice (intrarrelaciones) y de las relaciones entre el triángulo con actores exteriores a él (extrarrelaciones). Si este sistema de relaciones funciona de manera virtuosa, el proceso de innovación se convierte en un camino hacia el desarrollo en tanto señala cómo y dónde innovar.

Estas relaciones tienen características particulares dependiendo de la región: en países del sur global se caracterizan por ser débiles y poco virtuosas, mientras que en países del norte global existe una mayor articulación; esto implica que en los primeros haya dificultades para conectar la oferta y la demanda de conocimiento. Como consecuencia, en los países del sur no hay una incorporación sistemática de nuevo conocimiento a los procesos productivos o de comercialización, lo que genera pocas oportunidades para la innovación y el aprendizaje (Arocena y Sutz, 2003; Lundvall, 1992).

Las transiciones energéticas no solo implican innovaciones tecnológicas, sino también cambios sociales, económicos, distributivos, ambientales y culturales (Geels, 2006). El concepto de transiciones justas enfatiza en la distribución de los beneficios y costos del uso y producción de la energía, considera los mecanismos de la política energética y sus impactos, que pueden ser inclusivos o excluyentes (Sovacool y Dworkin, 2015), y señala la importancia del reconocimiento de ciertos grupos sociales y sus vulnerabilidades (Heffron et al., 2015).

Este trabajo parte del enfoque de los SNI, incorporando algunos aspectos del enfoque de las transiciones energéticas justas. Por un lado, las transiciones energéticas implican un proceso de innovación que, como propone el enfoque de los SNI, requiere de la acción coordinada de diversos actores de la academia, las empresas y el gobierno. Por otro lado, es importante expandir el diálogo a otros actores sociales para que esa transformación se dé de manera inclusiva y sostenible. Esto ofrece una invitación a romper con el tradicional triángulo de Sabato y Botana (2021) para incorporar otros actores de relevancia, como la sociedad civil.

El presente artículo tiene como objetivo analizar el incipiente proceso de incorporación del HV en el Uruguay entre 2018 y 2024. Para ello, se analizan los vínculos entre los actores de la academia, el Estado, el sector productivo y la sociedad civil involucrados en el primer proyecto de HV en el país: Proyecto Tambor-Enertrag. Se ahonda en los roles desempeñados por estos actores y sus interacciones, brindando un importante insumo para la discusión sobre las potencialidades y debilidades del país para que la nueva tecnología constituya una oportunidad de desarrollo.

METODOLOGÍA

El diseño metodológico utilizado para alcanzar el objetivo propuesto fue de tipo cualitativo y centrado en un estudio de caso exploratorio (Yin, 2018). El trabajo se estructuró en cuatro dimensiones: 1. Caracterización del contexto internacional. 2. Caracterización de la transición energética uruguaya. 3. Caracterización de los actores involucrados. 4. Interacciones entre los actores.

Para abordar cada una de estas dimensiones se consultaron y analizaron fuentes primarias (entrevistas) y secundarias (documentos, encuestas, prensa). En la realización de entrevistas, se tomaron los tres vértices señalados por Sabato y Botana (2021): Estado, sector productivo y academia. De esta forma, se realizaron seis entrevistas semiestructuradas a informantes clave de la academia, el Estado y el sector productivo en el año 2022, en el marco del primer proyecto presentado en Uruguay para la producción de HV, Proyecto Tambor-Enertrag. Los entrevistados fueron seleccionados por su alto grado de involucramiento en el proyecto en estudio: dos de la empresa pública Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland (Ancap), dos de la academia con alta experiencia en estudios sobre HV, un empresario involucrado en el desarrollo y ejecución del proyecto, y una alta funcionaria del MIEM con cargo de dirección. Estas entrevistas fueron centrales para las dimensiones 2, 3 y 4.

En relación con las fuentes secundarias, utilizadas para las dimensiones 1, 2 y 3, se analizaron documentos publicados durante el periodo de estudio, entre 2018 y 2024, principalmente documentos gubernamentales vinculados al desarrollo de políticas energéticas nacionales, documentos de organismos internacionales e informes de consultorías. De forma complementaria, fueron consultados algunos artículos de prensa sobre el tema. Adicionalmente, se consultaron los resultados de una encuesta realizada a actores de la sociedad civil cercanos a la zona del proyecto mencionado, con el propósito de integrar también su opinión al estudio.

A continuación, en la Tabla 1, se sintetizan las fuentes consultadas en función de las dimensiones analizadas.

Tabla 1. Fuentes seleccionadas según dimensiones

Dimensiones	Fuentes
1. Contexto internacional	**Fuentes secundarias:** ● CAF-banco de desarrollo de América Latina y el Caribe (2024) ● Climatewatch (2024) ● International Energy Agency (2024) ● Kalt y Tunn (2022) ● Wyczykier (2023)
2. Caracterización de la transición energética uruguaya	**Fuentes secundarias:** ● Ferragut et al. (2022) ● H2LAC (2022) ● Hinicio (2022) ● MIEM (2023) ● MIEM (2024a) ● MIEM (2024b) ● Torres et al. (2021)
	Fuentes primarias: entrevistas semiestructuradas
3. Caracterización de actores	**Fuentes secundarias:** ● Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII, 2022) ● ANII (2023a) ● ANII (2023b) ● Méndez (2024) ● Torres et al. (2021) ● Universidad de la República (Udelar, 2024)
	Fuentes primarias: entrevistas semiestructuradas
4. Interacciones entre actores	**Fuentes primarias:** entrevistas semiestructuradas

Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS

El desarrollo de hidrógeno verde como oportunidad para profundizar la transición energética

Caracterización del contexto internacional

En los últimos años, el debate sobre la transición energética, en particular sobre la producción de hidrógeno, se ha centrado en Europa, donde se busca disminuir la dependencia de las fuentes fósiles importadas, debido a la guerra entre Rusia y Ucrania y a las sanciones impuestas a aquella por los países occidentales. Este contexto ha generado la inestabilidad del precio del petróleo, que estimuló el crecimiento de las inversiones en energías renovables (Kalt y Tunn, 2022).

El HV y sus derivados pueden desempeñar un rol central en la transición energética en dos sentidos: i) brindando flexibilidad al suministro de energía generada a través de fuentes como la solar o la eólica de difícil almacenamiento, ya que los excedentes de su producción pueden utilizarse para generar HV, y; ii) sustituyendo combustibles fósiles para descarbonizar la producción de materiales como el acero y el cemento, y el transporte de carga pesada mediante el uso de celdas de combustible (Cont y Juncosa, 2024).

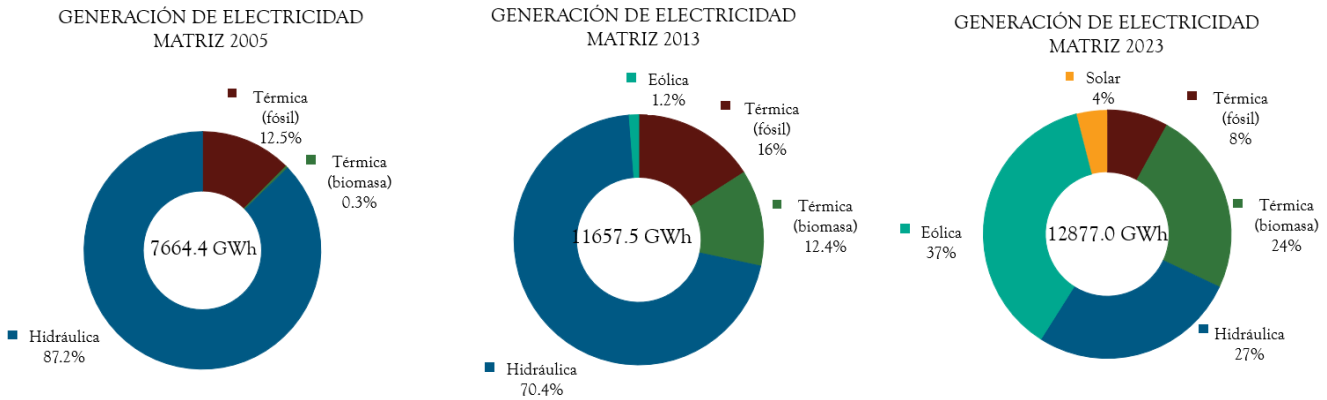
Varios países se encuentran planificando y, en algunos casos, comenzando a producir HV. América Latina encuentra el estímulo para la producción de HV en su disponibilidad de fuentes de energía renovable. Sin embargo, para 2024 solo el 4 % de los proyectos de HV han sido confirmados (International Energy Agency, 2024). Como establece Wyczykier (2023), la producción de HV requiere el despliegue de megaproyectos, incluida la generación de energía eólica y fotovoltaica, y el desarrollo de sistemas adecuados para su transporte y distribución.

Además, existen controversias sobre los impactos sociales y ambientales, como el uso del agua y las alteraciones territoriales que afectan a las comunidades y actividades locales (Wyczykier, 2023). En esta línea, los análisis realizados por algunos especialistas en Argentina y Chile plantean la posibilidad de que se produzcan impactos en especies nativas, interferencias con otras actividades en el territorio y cambios culturales de poblaciones locales (Mohor, citado en Wyczykier, 2023).

Caracterización del caso uruguayo

Uruguay carece de reservas fósiles, pero cuenta con fuentes de energía primaria renovables. La hidroelectricidad se incorporó en la primera mitad del siglo XX, y hasta los años 2000 se utilizó la energía generada a partir del agua y los recursos fósiles importados. Más recientemente se incorporaron las energías eólica, biomasa y solar para la generación eléctrica (Contreras et al., 2024). Eso permitió que en pocos años el Uruguay se encuentre entre los pioneros en energías renovables, destacándose la energía eólica (Figura 1).

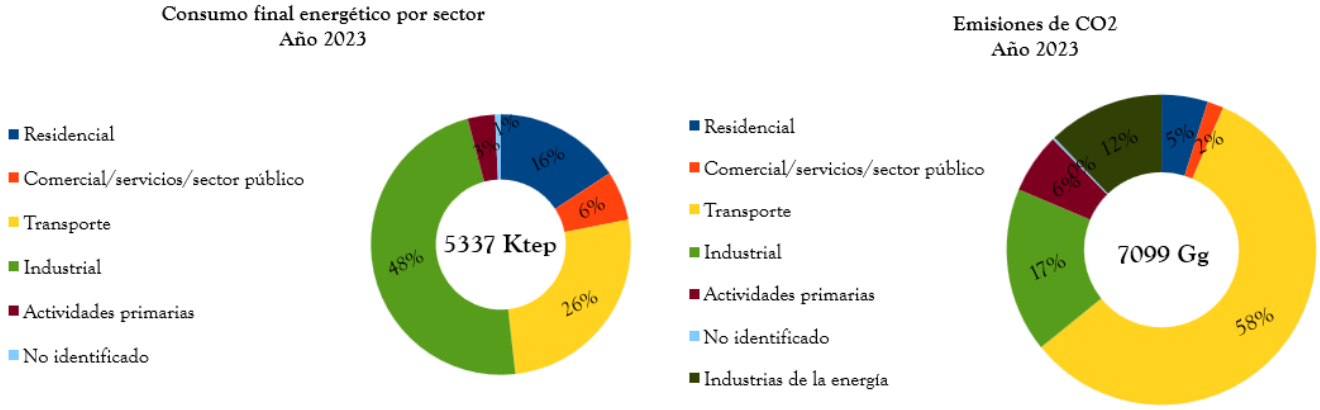
Figura 1. Generación de electricidad según fuente, matrices de 2005, 2013 y 2023



Fuente: elaboración propia con base en datos del MIEM (2024a).

Dicha transformación sucedió en el marco de una política de Estado en materia energética que dio respuesta a las carencias estructurales del sector (MIEM, s.f.). La misma fue desarrollada y aprobada por el Poder Ejecutivo en 2008 y avalada en el año 2010 por una comisión interpartidaria (Ardanche et al., 2017, 2018). Sin embargo, quedan subsectores dependientes de los combustibles fósiles, como el transporte, responsable del 58 % de las emisiones de carbono en 2023 (Figura 2).

Figura 2. Consumo final energético por sector y emisiones de carbono por sector (año 2023)



Fuente: elaboración propia con base en datos del MIEM (2024a).

En el 2018, surge el interés por incorporar el HV a la matriz energética, con el objetivo de descarbonizar el transporte pesado y de larga distancia. Este interés fue impulsado por dos empresas públicas —la Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE)[2] y la Ancap[3]—, y por el MIEM; que conformaron el Grupo Interinstitucional de Hidrógeno Verde y Derivados. En este marco, comenzó el Proyecto Verne liderado por Ancap, para vislumbrar las oportunidades que el HV ofrecía en el mediano y largo plazo, con foco en la producción y uso en el transporte pesado y de larga distancia (MIEM, 2023). Este grupo fue asesorado por Hinicio, una consultora internacional en temas de energías renovables (Hinicio, 2022). Además, contó con apoyo de organismos internacionales, como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para evaluar la viabilidad ambiental de un proyecto piloto de hidrógeno y brindar asesoría legal, y GIZ Alemania (Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional), para analizar los aspectos técnicos y económicos de desarrollar una economía de hidrógeno en Uruguay y Paraguay (Villagra de Biedermann, 2022).

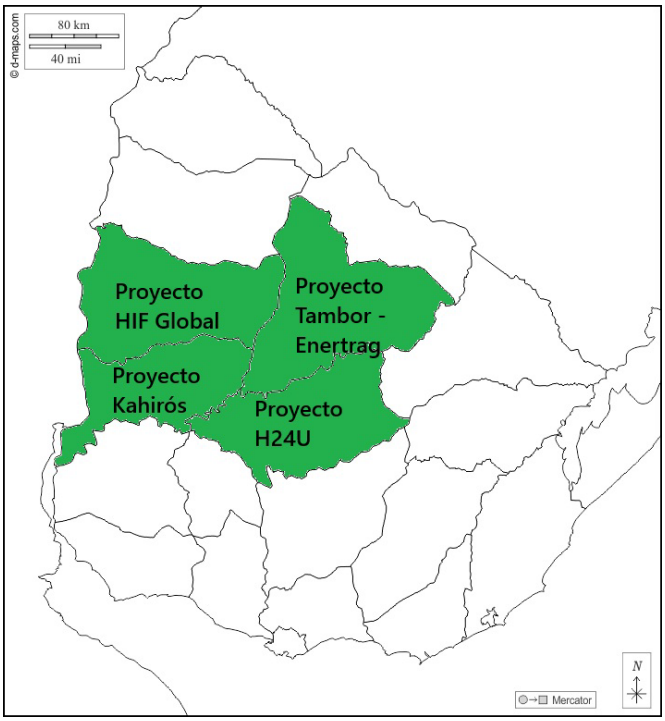
Con el cambio de gobierno de 2020, el grupo interinstitucional de hidrógeno se amplió, incorporándose otros actores estatales; además, se modificaron sus objetivos de producción, al priorizar la exportación a países del norte global (MIEM, 2023). Ese mismo año se realizaron estudios preliminares en colaboración con el puerto de Róterdam de Países Bajos, financiados por el BID, que revelaron el potencial de Uruguay para convertirse en productor y exportador de HV y sus derivados hacia Europa, especialmente hacia Róterdam (Ferragut et al., 2022; MIEM, 2023).

[2] UTE es la empresa pública encargada de la prestación del servicio público de electricidad en el Uruguay.
[3] Ancap es la empresa pública encargada de refinar e importar hidrocarburos y derivados del petróleo.

En 2021, también con apoyo del BID, Uruguay comenzó a trabajar en una hoja de ruta de hidrógeno verde, contratando a la empresa McKinsey & Company para realizar estudios técnicos. En la hoja de ruta se reflejan las prioridades del país con relación al HV y se establecen metas concretas plasmadas en el «Programa H2U», organizado en cinco componentes: i) generación de capacidades, especialmente formación de personal especializado en energías renovables; ii) adaptación y generación de marco regulatorio; iii) creación de incentivos para las inversiones; iv) desarrollo y adaptación de infraestructuras; y, v) acceso a la información por parte de la ciudadanía y espacios de intercambio (MIEM, 2023).

Hasta el momento fueron anunciados cuatro proyectos de producción de HV en el Uruguay: proyecto Tambor-Enertrag, proyecto HIF Global, proyecto H24U (Fondo Sectorial de Hidrógeno) y proyecto Kahirós (MIEM, 2024b). Como se evidencia en la Figura 3, los cuatro se localizan en la zona centro-norte del país y tienen diferentes grados de avance.

Figura 3. Distribución de proyectos de HV en el territorio uruguayo



Fuente: elaboración propia con base en datos del MIEM (2024b).

Las páginas que siguen se enmarcan en el análisis del Proyecto Tambor-Enertrag, en la localidad de Tambores del departamento de Tacuarembó, que plantea producir 13 000 toneladas por año de HV y exportar metanol como producto final. Fue iniciado en 2022 y pretende utilizar energía eólica y solar para la producción de hidrógeno. Además, incluye una planta para electrólisis de agua *in situ* e instalaciones para el refinamiento del hidrógeno obtenido. El proyecto es una iniciativa de la empresa alemana Enertrag y la empresa uruguaya SEG Ingeniería (SEG Ingeniería y Enertrag, 2021; H2LAC, 2022). El proyecto Tambor-Enertrag se encuentra en fase de estudio de impacto ambiental por parte del Ministerio de Ambiente [MA] (2024).

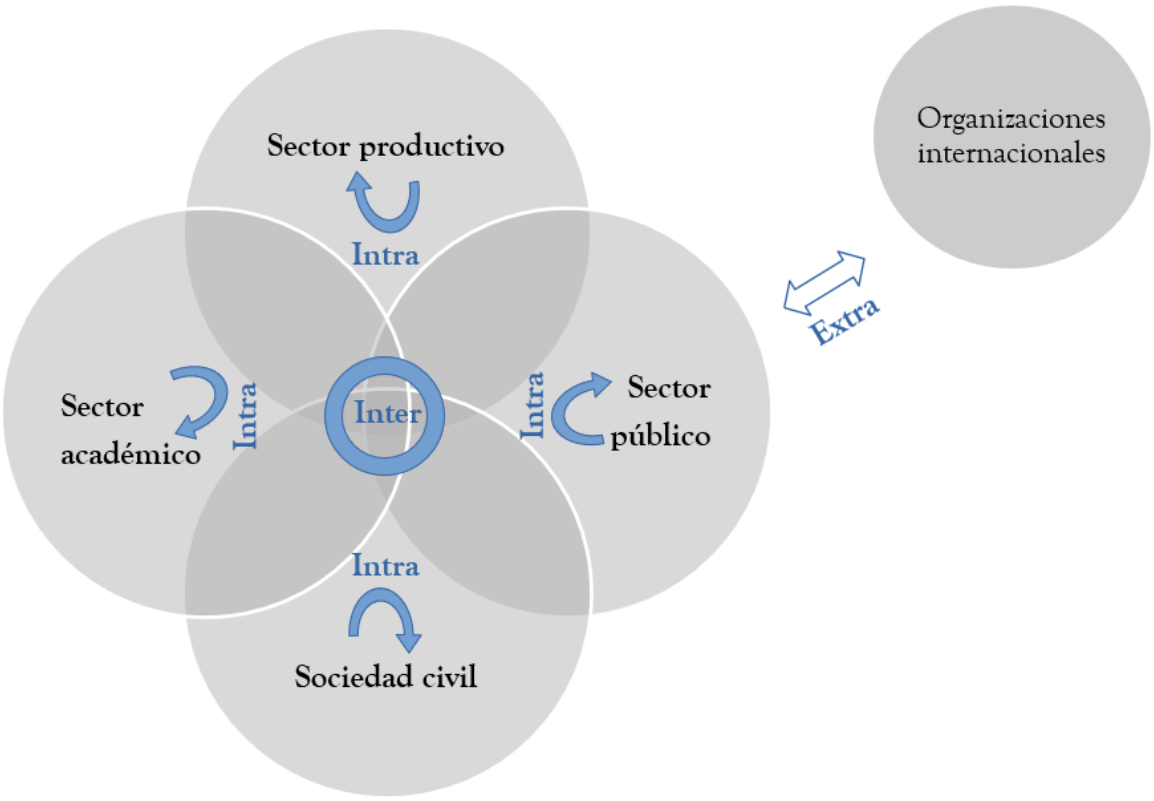
Hidrógeno verde en Uruguay: encuentros y desencuentros entre actores

Los sectores involucrados

La introducción del HV a la matriz energética uruguaya puede entenderse desde el enfoque de los SNI, como un proceso social e interactivo en el que participan varios actores. Resulta clave analizar a los actores involucrados y, especialmente, describir sus relaciones. Los vínculos sistémicos y virtuosos entre los actores pueden generar espacios de interacción entre el aparato científico-tecnológico, el gobierno y el sector productivo, favoreciendo la generación de nuevo conocimiento, procesos de aprendizaje, visibilidad de problemas productivos y de la sociedad civil, entre otros.

Los diversos actores que participan en el desarrollo del HV en el Uruguay se pueden agrupar en cinco sectores: productivo, público, académico, sociedad civil y organizaciones internacionales (Figura 4). Es oportuno describir cada sector y sus intereses, así como contemplar sus relaciones, a la luz de lo propuesto por Sabato y Botana (2021).

Figura 4. Sectores involucrados en el desarrollo del HV en Uruguay e intersecciones entre ellos



Fuente: elaboración propia.

Nota. Cada círculo representa un sector. En las intersecciones se dan las interacciones entre los actores del mismo sector (intrarrelaciones), de diferentes sectores (interrelaciones) y entre actores nacionales y del exterior (extrarrelaciones).

Análisis de los actores involucrados en el desarrollo de hidrogeno verde en Uruguay y sus interacciones

A continuación se presentan los actores involucrados, se describen sus actividades y se analizan sus interacciones.

- El sector productivo está integrado por actores empresariales públicos y privados, involucrados en proyectos de producción de HV, como las empresas públicas Ancap y UTE (en su rol de productoras de energía), empresas privadas nacionales y extranjeras.

- El sector público incluye actores vinculados a las políticas e instrumentos en torno al desarrollo de HV, para su incorporación a la matriz energética y para su exportación.

- Los actores incluidos en la sociedad civil son aquellos que desarrollan sus actividades en el territorio involucrado: usuarios particulares y comunidades locales cercanas a parques eólicos, instalaciones de paneles solares y plantas hidrolizadoras; y una organización sindical central que está discutiendo el tema.

- El sector académico incluye instituciones de educación superior, de educación técnico profesional e institutos de investigación públicos, así como agrupaciones académicas.

- Finalmente, las organizaciones internacionales han participado en la realización de estudios preliminares para evaluar la viabilidad de la producción de hidrógeno en el Uruguay.

Sector productivo

La función de los actores del sector productivo se vincula al desarrollo del HV y su capacidad para invertir en ello con el fin de comercializarlo. Como expresó el ingeniero de una empresa privada dedicada a tecnologías energéticas:

> ... utilizan su conocimiento para vender un servicio a empresas locales, regionales o globales, de modo que, si el proyecto tiene éxito, obtienen un ingreso significativo. Consiguen la tierra, realizan el análisis técnico, diseñan el parque y entregan el proyecto culminado completo. (Empresario del sector privado, comunicación personal, 13 de septiembre de 2022)

Para el desarrollo de HV, las empresas nacionales deben vincularse con empresas extranjeras debido a la elevada inversión requerida (García Bernal, 2021). Empresas alemanas han mostrado especial interés en invertir en Uruguay. Estas empresas extranjeras se vinculan además con instituciones locales del sector público, siendo el gobierno —a través del MIEM y el MA— el actor clave en estas relaciones. Con respecto a las empresas públicas relacionadas con la energía (Ancap y UTE), las entrevistas no revelan vínculos entre estas y la empresa privada nacional.

La instalación de las empresas en el territorio genera demandas al gobierno, como cambios en leyes y decretos, por ejemplo: las condiciones del suelo para las actividades que se proponen llevar a cabo (perforaciones para la extracción del agua o instalación de electrolizadores). En el caso de la empresa entrevistada, su proyecto en la localidad de Tambores ha llevado a desarrollar vínculos con el gobierno departamental para adecuar la reglamentación del uso del suelo a sus necesidades.

En cuanto a la demanda de empresas nacionales de formación de recursos humanos y de capacidades necesarias para producir HV, la Universidad Tecnológica (UTEC) se destaca como aliada importante, ya que ofrece la carrera de ingeniería en energías renovables. Sin embargo, los entrevistados del sector académico opinan que no existe un vínculo entre las empresas y los investigadores en Uruguay. Un entrevistado del sector productivo consideraba que la academia debería ser más proactiva a la hora de mostrar sus capacidades (Empresario del sector privado, comunicación personal, 13 de septiembre de 2022).

Ancap mantiene el interés por el desarrollo de HV a través de dos grandes líneas de acción: producción de HV *on-shore* (en tierra) y *off-shore* (costa afuera). En la línea *on-shore*, la empresa pretende hacer uso de activos (industriales y logísticos) estratégicos para este tipo de proyectos. En la línea *off-shore*, su rol es más activo intentando replicar los logros obtenidos anteriormente en la exploración de hidrocarburos, como la instalación de una plataforma de producción de hidrógeno en el mar, a partir de la utilización de energía eólica.

Sector público

Como actor del sector público, Ancap (en su rol de organismo ejecutor de las políticas energéticas relacionadas con los combustibles) participa en la elaboración de las bases y los pliegos para llamados abiertos, con el objetivo de atraer inversión privada de empresas que asuman los riesgos de producir HV. Asimismo, la empresa se vincula con otros actores del sector público a través del grupo interinstitucional de hidrógeno, que actualmente incluye siete ministerios —MIEM, Ministerio de Relaciones Exteriores, Ministerio de Economía y Finanzas, Ministerio de Defensa Nacional, Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial y MA—, la Oficina de Planeamiento y Presupuesto, la Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua, las dos empresas públicas de energía (Ancap y UTE), la Administración Nacional de Puertos, la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), la Agencia Nacional de Desarrollo, la Agencia Responsable de la Promoción de Exportaciones, Inversiones e Imagen país (Uruguay XXI), el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) y el Consejo Nacional de Innovación, Ciencia y Tecnología (Conicyt)[4] (MIEM, 2023).

En el caso del proyecto Tambor-Enertrag hubo vinculación de la empresa uruguaya con instituciones del sector público —MIEM, MA e Intendencia Departamental de Tacuarembó—, en la

[4] El Conicyt es el órgano deliberativo asesor de los poderes públicos (Ejecutivo y Legislativo) en temas de ciencia, tecnología e innovación (CTI) en Uruguay.

habilitación del tipo de uso del suelo y en la evaluación de impacto ambiental (SEG Ingeniería y Enertrag, 2021).

Actualmente, la participación de Ancap en el desarrollo de HV es a través del grupo interinstitucional. Las personas entrevistadas de la empresa sostuvieron que trabajan a sabiendas de que el Estado no invierte en este tipo de proyectos. Entonces, básicamente las inversiones son de empresas privadas que aportan su *know how* y tecnología (Técnicos de Ancap, comunicación personal, 29 de agosto de 2022).

La ANII (organismo público de apoyo a la investigación) participa del proceso a través de la gestión del Fondo Sectorial de Hidrógeno Verde de apoyo al CTI en conjunto con el MIEM, con financiación del LATU (organismo público no estatal de certificación) (ANII, 2022). En el 2022, este fondo lanzó una convocatoria para promover la innovación en torno a diferentes desafíos para el desarrollo del HV en Uruguay. Como resultado, se financió el «Proyecto piloto H24U», liderado por el consorcio de empresas nacionales Saceem y CIR, que busca ser el primer emprendimiento comercial de transporte de carga utilizando HV como energético (ANII, 2023b).

El Fondo Sectorial de Energía, también gestionado por la ANII —con fondos de ANII, UTE, Ancap y la Dirección Nacional de Energía del MIEM—, en su edición del 2023 tuvo apoyo del Fondo de Innovación en Energías Renovables —programa financiado por el Fondo Conjunto de Naciones Unidas para los Objetivos de Desarrollo Sostenible, Fondo ODS—. Dicha convocatoria propuso varios desafíos, incluido uno relacionado con el HV y sus derivados. El objetivo fue apoyar proyectos de investigación, desarrollo e innovación que potencien o fortalezcan las capacidades del sector energético nacional, ya sea en forma directa o indirecta. Como resultado del proceso de evaluación de esta convocatoria, se financió a la empresa Clerk con un proyecto sobre producción de combustible de aviación sustentable (ANII, 2023a).

Sociedad civil

Los actores de la sociedad civil son convocados por el MA y empresas privadas en las instancias de audiencia pública para validar las instalaciones de proyectos en el territorio; sin embargo, estos no tienen un carácter vinculante. En estas instancias, algunos actores de la sociedad civil han manifestado preocupación por la extracción de agua dulce para la producción de HV, que podría competir con otros usos productivos o domésticos. En este sentido, un conjunto de vecinos y vecinas del Departamento de Tacuarembó, nucleados en organizaciones de la sociedad civil (Red de Semillas Nativas y Criollas, colectivo Agua y Vida), presentaron un recurso de inconstitucionalidad ante la Suprema Corte de Justicia en 2023, intentando que se diera marcha atrás a la aprobación de la recategorización de uso del suelo de 100 hectáreas para la instalación de la planta de HV y metanol de la compañía Enertrag (tierras que pasaron de ser suelo «rural productivo» a suelo «suburbano industrial»), en el entendido de que el agua es un recurso público por ley en el Uruguay. Sin embargo, la Suprema Corte de Justicia desestimó esta acción de inconstitucionalidad (Méndez, 2024).

Son importantes las oportunidades de participación que pueda tener la población en los procesos de evaluación del posible impacto ambiental y social de los proyectos en el territorio. En esta línea, docentes de la Universidad de la República realizaron una encuesta en Tambores. Los resultados muestran que la mayoría de la población afirma conocer muy poco o nada sobre el proyecto. Además, gran parte desconoce qué es una planta de HV. Asimismo, las personas, una vez informadas sobre este emprendimiento, mencionan varias preocupaciones: las características de los empleos asociados, la cantidad de agua a utilizar y su origen, y los impactos sobre el uso del agua para otras actividades. Por otra parte, los encuestados plantean la necesidad de contar con más fuentes de información sobre el proyecto (Udelar, 2024). Estos resultados reflejan la falta de instancias de diálogo y participación que involucren a la población local en el proceso.

Sector académico

Los actores del sector académico no fueron convocados por quienes lideran el proceso hasta la etapa final de elaboración de la *Hoja de ruta del hidrógeno verde y derivados en Uruguay*. La convocatoria no fue dirigida a quienes investigan en HV sino a integrantes del Conicyt. Ante la ausencia de demandas a la comunidad científica y tecnológica por parte de actores de la política y del sector productivo, en 2021 se formó la Red académica para la promoción, investigación y desarrollo del hidrógeno y la descarbonización en Uruguay (RedH2uy), grupo *ad hoc* de científicos y científicas de varias instituciones que trabajan en el tema, y tiene como objetivo promover el intercambio sobre la producción y el uso del hidrógeno como vector energético y su posible aporte a la descarbonización, además difundir el conocimiento a los diversos actores involucrados en el desarrollo de la economía del hidrógeno en Uruguay. Integran esta red investigadores e investigadoras de la Udelar, el UTEC y el Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable (IIBCE).

Una integrante de la RedH2uy señala en su entrevista que los fondos sectoriales —descritos párrafos más arriba— no están dirigidos a académicos. Si bien se contrató a una consultora para identificar capacidades faltantes en recursos humanos, no existen estímulos para que las mismas puedan desarrollar conocimiento a través de la investigación. A este respecto, la entrevistada señalaba que hubo un cambio sustancial a partir del 2019 en los fondos sectoriales de energía, ya que se orientaron a consultorías y no a investigaciones académicas. Y agregaba que estos fondos apuntaron hacia el desarrollo aplicado, con la intención de atraer a las empresas, resultando en que las propuestas de académicos no fueran elegidas. Además, los cortos plazos dificultan el desarrollo de trayectorias de formación de posgrado en el marco de los proyectos (Integrante de la RedH2uy, comunicación personal, 2 de septiembre de 2022).

Sin embargo, otro integrante de la misma red tiene una opinión diferente, relativizando las preocupaciones mencionadas al tratarse de un proyecto importante para el país, y planteando que es bastante difícil desarrollar las capacidades locales para producir HV en los plazos necesarios. Por lo tanto, la opción sería hacer congeniar las capacidades del país (existentes y que puedan generarse), con el conocimiento y la tecnología del exterior.

Por otra parte, desde el Poder Ejecutivo (MIEM) se menciona que la academia debería responder por su cuenta a los desafíos planteados generando las capacidades requeridas. En ese sentido, están trabajando con el Conicyt en la identificación de capacidades, pero consideran que le corresponde al sector académico responder qué tipo de perfiles serán necesarios. Si bien desde el Poder Ejecutivo se va a impulsar el estudio, debe ser el sector académico nacional el responsable de desarrollar, a nivel técnico con la Dirección General de Educación Técnico Profesional (UTU) y a nivel profesional con las universidades, una oferta que permita esta formación (Representante del Poder Ejecutivo, comunicación personal, 25 de octubre de 2022).

Asimismo, desde el Poder Ejecutivo tampoco se plantea la idea de generar un desarrollo tecnológico nacional, dada la falta de competitividad. Se considera que es probable que el país no pueda competir con el mercado chino y el alemán, más allá de que tenga capacidades científicas desarrolladas (Representante del Poder Ejecutivo, comunicación personal, 25 de octubre de 2022).

Organizaciones internacionales

Con respecto a la participación de las organizaciones internacionales, sus vínculos fueron principalmente con el Poder Ejecutivo (MIEM), tal como se mencionó antes, contribuyendo en los estudios preliminares realizados para evaluar la viabilidad de la producción de hidrógeno en el Uruguay. Este sector se constituye de dos tipos principales de instituciones, considerando los roles que han desempeñado en el proceso: instituciones asesoras y bancos de desarrollo. Tanto el BID como el Puerto de Rotterdam han apoyado la generación de información para elaborar la Hoja de Ruta del Hidrógeno Verde a 2040.

En la Tabla 2 se condensan las actividades e interacciones de los actores mencionados de cada sector.

Tabla 2. Actores destacados, actividades e interacciones

Actores	Actividades	Interacciones
	Sector productivo	
Ancap y UTE	Participar en las transiciones energéticas hacia fuentes de energías renovables	Forma parte del Grupo interinstitucional de hidrógeno verde
Empresas privadas nacionales	Invertir, desarrollar HV y comercializar productos	Se vinculan con empresas extranjeras, la UTEC, el gobierno (MIEM y MA) y la Intendencia de Tacuarembó (IDT)
Empresas privadas extranjeras	Exportar HV	Se relacionan con empresas nacionales y con actores del gobierno
	Sector público	
Ancap	Elaborar bases y pliegos para la atracción de inversión privada	Se relaciona con empresas privadas Forma parte del Grupo interinstitucional de hidrógeno verde

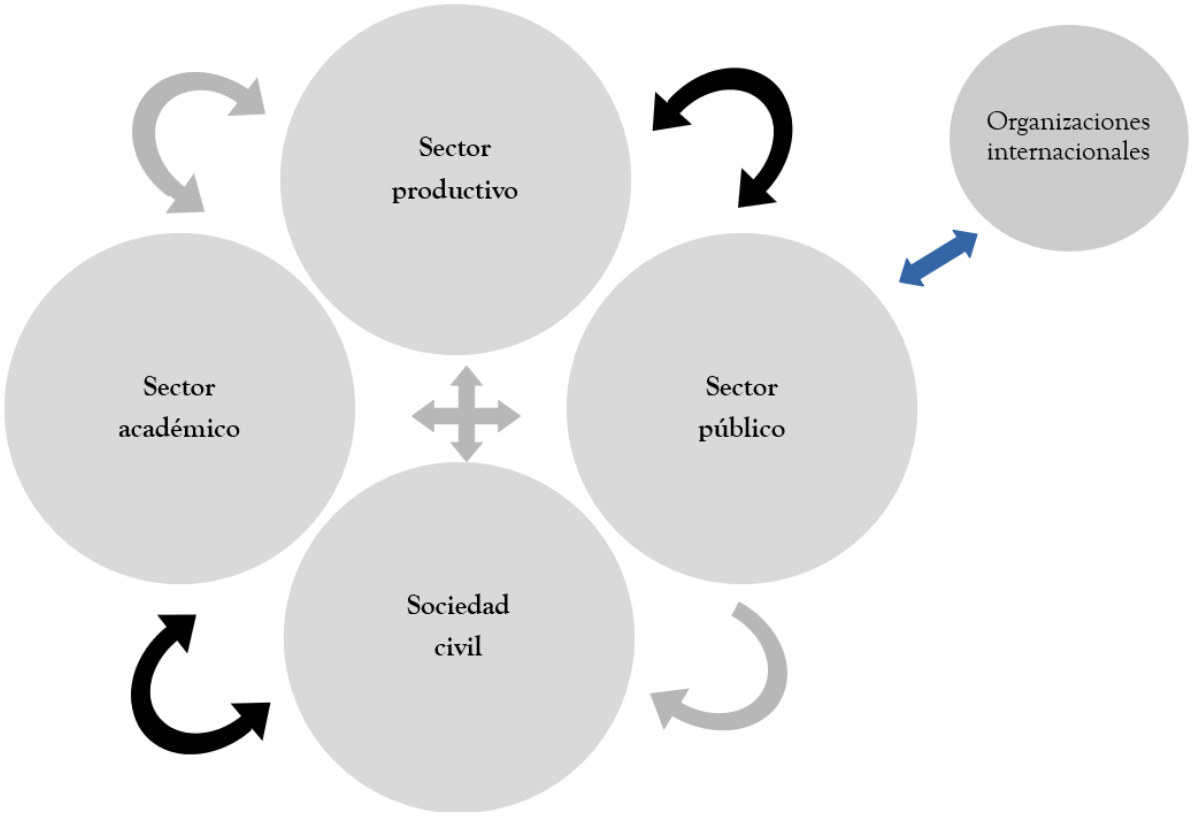
Actores	Actividades	Interacciones
MIEM y MA	Liderar el proceso	Se relacionan con empresas nacionales Forman parte del Grupo interinstitucional de hidrógeno verde
IDT	Adecuar reglamentaciones de uso del suelo	Se relaciona con empresas nacionales, MIEM, MA y sociedad civil
ANII	Gestionar fondos públicos de apoyo a la CTI	Forma parte del Grupo interinstitucional de hidrógeno verde
LATU	Aporta fondos públicos de apoyo a la CTI	Forma parte del Grupo interinstitucional de hidrógeno verde
Conicyt	Asesorar en políticas de CTI	Forma parte del Grupo interinstitucional de hidrógeno verde
Sector sociedad civil		
Usuarios particulares y comunidades locales	Participar de las presentaciones de las instalaciones en el territorio y participar activamente en organizaciones preocupadas por temas de sustentabilidad ambiental	Se relacionan con la academia y otros actores de la sociedad civil
PIT-CNT[5]	Analizar las propuestas para impulsar el desarrollo del HV	Se relaciona con otros actores de la sociedad civil y del sector académico
Sector académico		
Udelar, UTEC e IIBCE	Formación e investigación en HV	Formaron RedH2uy, se vinculan con otros actores de la educación y con la sociedad civil
UTU		Se relaciona con otros actores de la educación y sociedad civil
Organizaciones internacionales		
BID	Apoyar la generación de información para la «Hoja de Ruta del Hidrógeno Verde a 2040»	Se vinculan con el MIEM
Puerto de Rotterdam		

Fuente: elaboración propia.

A continuación, en la Figura 5, se presenta un esquema que resume las interacciones encontradas entre los actores de los cuatro sectores.

[5] El Plenario Intersindical de Trabajadores y Convención Nacional Trabajadores (PIT-CNT) es la afiliación sindical, organización y formación de los trabajadores del país.

Figura 5. Sectores involucrados en el desarrollo del HV en Uruguay e interacciones entre actores



Fuente: elaboración propia.

Nota. Cada círculo representa al conjunto de actores del sector. Las flechas representan la direccionalidad e intensidad de las interacciones observadas entre los actores de los sectores identificados (flechas oscuras representan una mayor intensidad en la vinculación, mientras que flechas claras una menor intensidad).

En síntesis, en una primera instancia fue Ancap, una empresa pública, que inició el debate sobre el eventual desarrollo de HV en Uruguay a través de la convocatoria a un taller en 2018. En ese momento el objetivo principal era la descarbonización del transporte pesado y de larga distancia en Uruguay. Más adelante, con el cambio de gobierno que se produjo en 2020, la propuesta vira su objetivo principal hacia la exportación del hidrógeno y el liderazgo es asumido por el MIEM. En este nuevo escenario las empresas privadas adquieren un rol más importante, lo que en las entrevistas aparece relacionado con los costos asociados al desarrollo del HV. De las entrevistas realizadas y las fuentes secundarias recabadas, las empresas privadas se destacan por tener más vínculos con los actores que lideran el proceso de incorporación de HV (concretamente con el MIEM y el MA). Se observan relaciones de carácter sincrónico entre actores de la política y el sector productivo, tanto al interior como entre ambos sectores.

Los actores pertenecientes al sector académico tienen fuerte interacción entre ellos, que se plasma en la creación de la RedH2uy. Sin embargo, sus vínculos con los demás sectores aparecen débiles y esto se atribuye a falta de coordinación. Ante ausencias de demandas claras de conocimiento de parte de la política y del sector productivo, los actores académicos realizan sus actividades de investigación de forma conjunta pero en relativa soledad. El escaso relacionamiento que se observa

en esta primera etapa del proceso de incorporación de HV antes descrito plantea una diferencia importante con respecto a lo que fue la experiencia anterior de desarrollo de la energía eólica, que se sustentó en la articulación entre investigadores de la Udelar y técnicos de UTE de larga data, para luego incluir a técnicos de la DNE. A partir de allí, se generó un espacio de interacción que posteriormente involucró también al ámbito empresarial (Ardanche et al., 2017).

A pesar de que los actores de la sociedad civil y el sector académico han sido los menos convocados por quienes lideran el proceso, existe un diálogo, aunque limitado, entre estos sectores en el tema HV. En este sentido, y continuando con la comparación entre la etapa actual de la transición energética y la anterior, puede observarse un fenómeno de similares características ya que también la sociedad civil organizada aparecía como un actor con debilidades y fundamentalmente vinculado a la academia (Ardanche et al., 2017).

Si bien parece haber una coordinación en las acciones de los actores dentro de cada uno de los sectores que intervienen, no hay demasiadas señales sobre la existencia de acciones y coordinaciones entre sectores (con excepción del sector productivo y el gobierno, en la coyuntura 2020-2024). Como resultado, no se generan espacios de aprendizaje para la promoción del desarrollo de oportunidades con el fin de que todos los actores involucrados desplieguen sus capacidades en el proceso de incorporación del HV.

En cuanto a las expectativas que tienen los actores sobre la introducción del HV a la matriz energética, según lo expuesto en las entrevistas, se reconoce que el vector energético constituye una oportunidad para el país y, por ello, todos están interesados en aportar al debate y dar su visión con respecto a cuál es la mejor forma de proceder. Actores de la academia, el gobierno, las empresas y la sociedad civil han tenido intercambios e instancias de diálogo (como la primera Jornada Académica en Hidrógeno Verde en Uruguay de 2024) que sirvieron para el conocimiento de las diversas preocupaciones acerca del tema. En estas instancias, muchas veces fue la academia la impulsora de los encuentros entre actores. Asimismo, los actores coinciden en la necesidad de coordinación de las acciones, para que la introducción del HV sea favorable para todos los involucrados y pueda aportar al desarrollo del país. Sin embargo, los actores de cada sector parecen asumir ciertos comportamientos esperados por parte de los actores de los otros sectores. Por ejemplo, desde el gobierno (MIEM) se espera que la academia actúe proactivamente; desde la academia se percibe una falta de demanda o articulación clara por parte del sector público/productivo.

En lo atinente al lugar que debe ocupar el conocimiento, si bien hay un reconocimiento sobre su importancia para el desarrollo del HV, particularmente en lo que respecta a la formación en recursos humanos y generación de capacidades, también se observa —de las entrevistas realizadas— una tensión entre la orientación del sector gubernamental, centrada en la provisión de consultorías (internacionales en su mayor parte) y estudios de corto plazo, y la perspectiva académica, que enfatiza en la investigación y el desarrollo de capacidades locales, con una visión de mediano y largo plazo.

CONCLUSIONES

Si bien Uruguay emprendió la transición energética hacia fuentes renovables a inicios del siglo XXI, actualmente se encuentra ante un nuevo escenario en el mundo que trae nuevas interrogantes, como esta: ¿cuál es el camino apropiado para que la incorporación de la nueva tecnología en un país periférico constituya una oportunidad para el desarrollo endógeno y la descarbonización de su propia matriz?

Ante este escenario, la existencia de políticas de CTI para un desarrollo socialmente inclusivo y ambientalmente sustentable necesita como condición previa del reconocimiento de la existencia de desigualdades —no solo económicas, sino también sociales y ambientales (Arocena y Sutz, 2020)—. Por tal motivo, la identificación de los problemas asociados a la tecnología es importante, así como también su abordaje de forma participativa y sostenida en el tiempo, tanto para el diseño y la formulación de las políticas como para su implementación y evaluación. En el caso del HV en Uruguay, el desarrollo de la política no se ha dado, hasta el momento, de forma participativa. La decisión sobre la utilización del HV en el área de transporte y para exportación fue el resultado de discusiones y consultorías en el seno del sector productivo y público, dejando por fuera a actores de la academia y sociedad civil.

La formulación de políticas de apoyo a la construcción de capacidades sistémicas de CTI necesita de la coordinación y el diálogo entre los actores directamente involucrados. En el caso estudiado en este trabajo, el debate sobre el desarrollo del HV, cada actor actúa por separado según sus intereses y no existen relaciones sistémicas entre ellos (con excepción de sector productivo y gobierno, tal como fue mencionado), sobre todo en lo que tiene que ver con la generación de capacidades de CTI. Este desencuentro entre los actores puede tener varios motivos, entre ellos: i) las diferencias de los tiempos de la investigación académica con los de la política y la empresa, pues, como se mencionó, hay una mayor contratación de consultorías que investigaciones) y ii) la forma en que se generan las articulaciones y los diálogos entre la academia y el resto de los actores, pues, como se explicó antes, los actores académicos no siempre han sido convocados por quienes lideran el proceso.

En este sentido, los resultados del análisis de los actores y de sus relaciones es consistente con los estudios latinoamericanos que señalan la ausencia de vínculos fuertes y sistémicos, tan necesarios para los procesos de desarrollo de un país y de una región. Concretamente, estimular la conexión entre la oferta y la demanda de conocimiento puede generar oportunidades para la innovación y el aprendizaje. La participación de la sociedad civil en los procesos de transiciones energéticas debe incluirse como un cuarto sector, ampliando y complejizando el tradicional triángulo de Sabato y Botana (2021) para incorporar sus demandas, necesidades y capacidades.

Sin embargo, el desarrollo de HV en Uruguay es un proceso en ciernes y, por lo tanto, constituye una oportunidad para romper con relaciones poco sistémicas y virtuosas entre los actores. En el marco de la asunción de un nuevo gobierno, se está a tiempo de conectar la oferta y demanda de

conocimiento, así como de generar espacios para la participación social, y de este modo revertir esta tendencia histórica de los países periféricos.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Las autoras declaran que no presentan conflictos de interés financiero, profesional o personal que pueda influir de forma inapropiada en los resultados obtenidos o las interpretaciones propuestas.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Las tres autoras participaron de forma equilibrada en la investigación y redacción del artículo.

REFERENCIAS

Agencia Nacional de Investigación e Innovación. (2022). *Convocatoria a proyectos de hidrógeno verde*. https://www.anii.org.uy/apoyos/innovacion/303/convocatoria-a-proyectos-de-hidrogeno-verde/

Agencia Nacional de Investigación e Innovación. (2023a). *Fondo Sectorial de Energía 2023*. https://www.anii.org.uy/apoyos/investigacion/57/fondo-sectorial-de-energia/

Agencia Nacional de Investigación e Innovación. (2023b). *Uruguay da importante paso hacia el desarrollo del hidrógeno verde con la concreción del primer proyecto piloto*. https://www.anii.org.uy/noticias/288/uruguay-da-importante-paso-hacia-el-desarrollo-del-hidrogeno-verde-con-la-concrecion-del-primer-proyecto-piloto/

Ardanche, M., Bianco, M., Cohanoff, C., Contreras, S., Goñi, M., Simón, L., y Sutz, J. (2017). Diálogo entre comunidades para la construcción de políticas CTI: la energía eólica en Uruguay. En G. Dutrénit, y J. Natera (eds.), *Procesos de diálogo para la formulación de políticas de CTI en América Latina y España* (pp. 335-366). CLACSO. https://doi.org/10.2307/j.ctv253f57x.14

Ardanche, M., Bianco, M., Cohanoff, C., Contreras, S., Goñi, M., Simón, L., y Sutz, J. (2018). The power of wind: an analysis of a Uruguayan dialogue regarding an energy policy. *Science and Public Policy*, *45*(3), 351-360. https://doi.org/10.1093/scipol/scx041

Arocena, R., y Sutz, J. (2003). *Subdesarrollo e Innovación. Navegando contra el viento*. Cambridge University Press.

Arocena, R., y Sutz, J. (2020). The need for new theoretical conceptualizations on National Systems of Innovation, based on the experience of Latin America. *Economics of Innovation and New Technology*, *29*(7), 814-829 https://doi.org/10.1080/10438599.2020.1719640

CAF-banco de desarrollo de América Latina y el Caribe. (2024). *Energías Renovadas: Transición energética justa para el desarrollo sostenible*. https://scioteca.caf.com/handle/123456789/2248

Climatewatch. (2024). *Historical GHG Emissions*. https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=sector&chartType=line&end_year=2022&gases=co2&sectors=total-including-lucf&start_year=2014

Cohanoff, C., Contreras, S., y Waiter, A. (2020). *Aportes del campo de la ciencia, tecnología e innovación al estudio de las transiciones energéticas*. *Documentos de Trabajo Número 2 - 2020*. Udelar-Comisión Sectorial de Investigación Científica. https://hdl.handle.net/20.500.12008/32016

Cont, W., y Juncosa, F. (2024). Promoción de los combustibles limpios. En *Energías Renovadas: Transición energética justa para el desarrollo sostenible* (pp. 153-185). CAF-banco de desarrollo de América Latina y el Caribe. https://scioteca.caf.com/handle/123456789/2260

Contreras, S., Waiter, A., y Cohanoff, C. (2024). Energía y desarrollo en Uruguay: contribución a los estudios sobre el desarrollo a partir del análisis de las transiciones energéticas. En J. Sutz, e I. Bortagaray (comps.), *Desarrollo, ciencia, tecnología, innovación y sus interacciones. Perspectivas y propuestas diversas* (pp. 197-233). Fin de Siglo. https://citinde.ei.udelar.edu.uy/bibliografia/desarrollo-ciencia-tecnologia-innovacion-y-sus-interacciones-perspectivas-y-propuestas-diversas/

Ferragut, P., Goldenberg, F., Correa, C., y Gischler, C. (2022). *Hidrógeno verde y el potencial para Uruguay: Insumos para la elaboración de la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde de Uruguay*. Banco Interamericano de Desarrollo. https://doi.org/10.18235/0004615

García Bernal, N. (2021). *Industria del hidrógeno verde: costos de producción.* Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32538/1/BCN___Hidrogeno_verde_Costos_de_produccion_Sept21.pdf

Geels, F. (2006). Multi-Level Perspective on System Innovation: Relevance for Industrial Transformation. En X. Olsthoorn, y A. J. Wieczorek (eds.), *Understanding Industrial Transformation. Views from Different Disciplines* (pp. 163-186). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-4418-6_9

H2LAC. (2022, 31 de mayo). *Tambor Green Hydrogen Hub: el nuevo proyecto uruguayo de hidrógeno verde*. Plataforma para el desarrollo del hidrógeno verde en Latinoamérica y el Caribe. https://h2lac.org/noticias/tambor-green-hydrogen-hub-el-nuevo-proyecto-uruguayo-de-hidrogeno-verde/

Heffron, R. J., McCauley, D., y Sovacool, B. K. (2015). Resolving society's energy trilemma through the Energy Justice Metric. *Energy Policy*, *87*, 168-176. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.033

Hinicio. (2022). *Guía sobre Movilidad Urbana Eléctrica en Uruguay*. https://www.euroclima.org/seccion-publicaciones/tipo-de-documentos/boletines/gu-a-sobre-movilidad-urbana-el-ctrica-en-uruguay/viewdocument/444

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023a). Summary for Policymakers. En Core Writing Team, H. Lee, y J. Romero (eds.), *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1-34). https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023b). Technical Summary. En *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 37-118). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009325844.002

International Energy Agency. (2024). *Global Hydrogen Review 2024*. https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024

Johnson, B., y Lundvall, B-Å. (1994). Sistemas Nacionales de Innovación y aprendizaje institucional. *Comercio Exterior, 44*(8), 695-704.

Kalt, T., y Tunn, J. (2022). Shipping the sunshine? A critical research agenda on the global hydrogen transition. *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society*, *31*(2), 72-76. https://doi.org/10.14512/gaia.31.2.2

Lundvall, B.-Å. (ed). (1992). *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Pinter.

Méndez, C. (2024, 25 de marzo). Desestimaron acción de inconstitucionalidad presentada por vecinos contra decreto que permite la instalación de planta de hidrógeno verde y metanol. *La Diaria*. https://ladiaria.com.uy/ambiente/articulo/2024/3/desestimaron-accion-de-inconstitucionalidad-presentada-por-vecinos-contra-decreto-que-permite-la-instalacion-de-planta-de-hidrogeno-verde-y-metanol/

Ministerio de Ambiente. (2024). *Estado del proceso de Evaluación de Impacto Ambiental*. Observatorio Ambiental Nacional. https://www.ambiente.gub.uy/oan/proyectos/proyecto-tambor-planta-de-produccion-de-e-metanol-a-partir-de-h2verde/

Ministerio de Industria, Energía y Minería. (2023). *H2U. Hoja de ruta del hidrógeno verde y derivados en Uruguay*. https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/noticias/Hoja%20de%20ruta%20H2%20Uruguay_final.pdf

Ministerio de Industria, Energía y Minería. (2024a). *Balance Energético 2023*. https://ben.miem.gub.uy/balance.php

Ministerio de Industria, Energía y Minería. (2024b). *Proyectos de hidrógeno verde y derivados en Uruguay*. https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/politicas-y-gestion/proyectos-hidrogeno-verde-derivados-uruguay

Ministerio de Industria, Energía y Minería. (s.f.). *Política Energética 2005- 2030*. https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/2025-06/Pol%C3%ADtica%20Energ%C3%A9tica%202005-2030.pdf

Sabato, J., y Botana, N. (2021). *La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina. Documento de Trabajo de Nº 1*. CiTINDe-Universidad de la República Uruguay. https://citinde.ei.udelar.edu.uy/publicacion/documento-de-trabajo-n-1-la-ciencia-y-la-tecnologia-en-el-desarrollo-futuro-de-america-latina/

Schneegans, S., Lewis, J., y Straza, T. (eds.). (2021). *Informe de La UNESCO sobre la Ciencia: La Carrera contra el Reloj para un Desarrollo más Inteligente – Resumen Ejecutivo*. Unesco. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377250_spa.locale=e

SEG Ingeniería, y Enertrag. (2021). *TAMBOR Green Hydrogen Hub. Comunicación de proyecto BELASAY S.A. Planta de producción de hidrógeno verde y derivados*. https://www.ambiente.gub.uy/bir/manifiestos/attachments/VAL_Planta_H2_Tambor_con_anexo_enero_2022.pdf

Smil, V. (2011). Global Energy: The Latest Infatuations. *American Scientist, 99*(3), 212-219. https://www.americanscientist.org/article/global-energy-the-latest-infatuations

Sovacool, B. K., y Dworkin, M. H. (2015). Energy justice: Conceptual insights and practical applications. *Applied Energy, 142*, 435-444. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.002

Torres, A. I., Ferreiro, J., y Schaich, F. (2021). Hidrógeno verde: ¿Qué potencial tiene Uruguay en ese mercado? [entrevista]. *Perspectiva- Radiomundo 1170*. https://enperspectiva.uy/en-perspectiva-programa/la-mesa/hidrogeno-verde-que-potencial-tiene-uruguay-en-ese-mercado/

Universidad de la República Uruguay. (2024). *Resumen Ejecutivo: Encuesta "Hidrógeno Verde y Proyecto Tambor, percepción e información de los habitantes de la zona de influencia"*. https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/2024-11/Anexo%205.pdf

Villagra de Biedermann, S. (2022). *Informe de evaluación Proyecto: Energía Asequible y Sustentable para el Paraguay: Implementando la política energética nacional. Triangulando Energía Sostenible TRES Paraguay – Uruguay – Alemania*. Centro de Estudios y Proyectos S.R.L. https://fondo-cooperacion-triangular.net/wp-content/uploads/2023/04/Evaluacion_Proy.-URU-PAR-ALE_TRES.pdf

Wyczykier, G. (2023). Las controversias sobre el Hidrógeno Verde: interrogantes para la descarbonización vía des fosilización. *Revista Pilquen. Sección Ciencias Sociales*, *26*(3), 120-142. https://revele.uncoma.edu.ar/index.php/Sociales/article/view/4960

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications (Vol. 6)*. Sage.

ANEXOS

Cuestionarios utilizados para las entrevistas semiestructuradas realizadas a los actores

I. Cuestionario para entrevista con actores del Estado

1) Objetivos e importancia del desarrollo de hidrógeno:

- ¿Cómo se llega a definir que el país va a priorizar el desarrollo de hidrógeno verde? (Influencia del contexto regional e internacional)
- ¿Qué ventajas presenta Uruguay para el desarrollo del hidrógeno?
- ¿Qué limitaciones tiene el país para este desarrollo?
- ¿Cuáles son los objetivos del desarrollo del hidrógeno?
- ¿Cuál es la importancia del hidrógeno en la matriz energética?
- ¿Cómo se articula/complementa con el resto de las fuentes de energía que integran la matriz?
- ¿Hay alguna externalidad negativa, ya sea económica, social o ambiental?

2) Desarrollo del hidrógeno:

- ¿Cuáles son los antecedentes del hidrógeno verde en Uruguay?
- ¿En qué etapa está en la actualidad?
- ¿Cuáles son las perspectivas a futuro?

3) Necesidades de conocimiento:

- ¿Qué conocimiento en CyT se necesita para el desarrollo del hidrógeno verde en Uruguay?
- ¿Este conocimiento se encuentra disponible en el país? ¿En qué instituciones? ¿Es conocimiento que debe traerse del exterior?
- ¿Hay necesidades de capacitación a nivel técnico y/o académico?

4) Normativa:

- ¿Qué normativa existe en el país?
- ¿Es necesaria la adecuación de la normativa y las regulaciones existentes?

5) Actores involucrados:

- ¿Cuáles son los actores y/o las instituciones involucradas en el desarrollo del hidrógeno verde? ¿Qué rol tienen cada uno? ¿Es necesario involucrar a alguno más?

6) **Preguntas específicas para Ancap:**

- ¿Cómo se involucra Ancap en el desarrollo del hidrógeno verde y desde cuándo?
- ¿Cuál será el futuro de Ancap cuando los combustibles fósiles ya no sean de importancia? Posibles adaptaciones necesarias desde el punto de vista institucional, infraestructuras y recursos humanos
- Relacionamiento de Ancap con otros actores (cuáles y cómo es la interacción): del estado, de la academia, privados, sociedad civil.

II. Cuestionario para entrevista del sector académico

1) **Preguntas generales sobre su trabajo académico:**

- Cuente brevemente su trayectoria académica: ¿hace cuánto estudia el tema del hidrógeno verde? ¿Qué líneas específicas aborda?
- ¿Esta investigación se desarrolla en el marco de un grupo de investigación? ¿Cuál es el perfil del grupo? (interdisciplinario, varios servicios, etc.).
- ¿Han trabajado vinculados con el sector productivo? ¿Han trabajado con otros grupos académicos nacionales o internacionales?

2) **Red académica:**

- ¿Cuál es el origen? ¿Cuáles son los objetivos? ¿Qué instituciones la componen? ¿Cómo articulan su trabajo al interior de la red? ¿Hay alguna institución más que podría integrarse? ¿Alguna temática/área más que sería importante abordar?
- ¿Con qué actores o instituciones articulan su trabajo? ¿Qué instancias de articulación existen?

3) **Objetivos e importancia del desarrollo de hidrógeno:**

- ¿Qué ventajas presenta Uruguay para el desarrollo del hidrógeno?
- ¿Qué limitaciones tiene el país para este desarrollo?
- ¿Cuál es la importancia del hidrógeno en la matriz energética? ¿Cómo se articula/complementa con el resto de las fuentes de energía que integran la matriz?
- ¿Hay alguna externalidad negativa, ya sea económica, social o ambiental?

4) **Necesidades de conocimiento:**

- ¿Qué conocimiento en CyT se necesita para el desarrollo del hidrógeno verde en Uruguay? ¿Este conocimiento está disponible en el país? ¿En qué instituciones? ¿Es conocimiento que debe traerse del exterior?
- ¿Se le ha demandado conocimiento en CyT a la academia nacional desde instituciones estatales y/o privadas?

- ¿Qué aplicaciones puede dársele a este conocimiento desarrollado en el país?
- ¿El desarrollo del H2 verde en Uruguay ha generado que se investiguen nuevos temas? ¿Cuáles? ¿Se ha reorientado la agenda de investigación en función de la demanda?
- ¿Cuáles son las principales limitantes para el desarrollo de nuevo conocimiento en Uruguay?
- ¿Se han generado nuevas instancias de capacitación? (cursos, postgrados, etc.).

5) Relacionamiento con actores no académicos:

- ¿Cuáles son las instituciones y/o los actores involucrados en el desarrollo del hidrógeno verde? ¿Qué rol tiene cada uno de ellos? ¿Qué instancias de articulación con actores de la política o empresariales existen?
- ¿Cómo ha sido ese relacionamiento? ¿Cuáles son las principales limitantes para el diálogo entre actores?
- ¿Hay organizaciones de la sociedad civil involucradas? ¿Cómo ha sido la interacción con ellas?

III. Cuestionario para entrevista del sector productivo

1) Sobre la empresa:

- ¿En qué se especializa la empresa?
- ¿En qué momento se volcaron hacia el hidrógeno verde?

2) Objetivos e importancia del desarrollo de hidrógeno:

- ¿Qué ventajas presenta Uruguay para el desarrollo del hidrógeno?
- ¿Qué limitaciones tiene el país para este desarrollo?
- ¿Cuáles son los objetivos del desarrollo del hidrógeno?
- ¿Cuál es la importancia del hidrógeno en la matriz energética?
- ¿Cómo se articula/complementa con el resto de las fuentes de energía que integran la matriz?
- ¿Hay alguna externalidad negativa, ya sea económica, social o ambiental?

3) Actores involucrados

- ¿Cuáles son las instituciones y/o los actores involucrados en el desarrollo del hidrógeno verde?
- ¿Qué lugar tienen las empresas privadas?
- ¿Y el resto de los actores?
- ¿Faltaría involucrar a algún actor y/o a una institución más?

4) **Desarrollo del hidrógeno verde en la empresa:**

- Antecedentes.
- Etapas en el desarrollo: situación actual y futuro.
- ¿Cuáles son los principales desafíos que tiene la empresa para el desarrollo de H2 verde?
- ¿Hay alguna condición —institucional, política, legal— que debería darse para el éxito del desarrollo del H2 verde?

5) **Necesidades de conocimiento:**

- ¿Qué conocimiento en CyT se necesita para el desarrollo del hidrógeno verde en Uruguay?
- ¿Este conocimiento se encuentra disponible en el país?
- ¿En qué instituciones? ¿Se desarrolla desde las empresas?
- ¿Es conocimiento que debe traerse del exterior?
- Necesidades de capacitación a nivel técnico y/o académico

6) **Normativa:**

- Posibles necesidades de adecuación de la normativa y regulaciones existentes.