

Informe final publicable de proyecto

Fortalecimiento de la base científica para la cooperación entre Uruguay y Alemania en materia de hidrógeno verde.

Código de proyecto ANII: MOV_CO_HV_1_2023_1_176875

Fecha de cierre de proyecto: 01/03/2025

CORENGIA, Mariana Liliam (Responsable Técnico - Científico)

FERREIRA QUAGLIATA, Maria Jimena (Investigador)

OHANIAN PAIS, Vartan Mauricio (Investigador)

PEDEMONTE QUINTAS, Martín Nicolás (Investigador)

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. FACULTAD DE INGENIERÍA (Institución Proponente) \\\

UNIVERSITY OF STUTTGART (INSTITUTE OF ENERGY ECONOMICS AND RATIONAL ENERGY USE (IER)) \\\

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. FACULTAD DE INGENIERÍA

Resumen del proyecto

Los sistemas actuales de energía, que dependen en gran medida de recursos fósiles, generan problemas ambientales. Por ello, existe un gran interés en reducir las emisiones del sector energético que contribuyen al cambio climático.

Si bien Uruguay ha avanzado mucho en descarbonizar la producción de energía eléctrica, existen otros sectores que dependen fuertemente de recursos fósiles. El hidrógeno, producido de forma sostenible, se presenta como un combustible limpio, sin emisiones. Además, tiene el potencial de fomentar nuevas cadenas productivas, en algunos casos con menor impacto ambiental.

En este contexto, el proyecto UrGe4Hy buscó alcanzar dos objetivos principales:

- Fortalecer la base científica para analizar cómo integrar al hidrógeno en la transición hacia una economía baja en carbono, tanto en Uruguay como Alemania.
- Analizar cuál sería el rol del hidrógeno en las nuevas cadenas productivas.

El proyecto promovió la colaboración entre ambas regiones, facilitando el intercambio de ideas sobre planificación y desarrollo de cadenas de valor que involucren al hidrógeno como intermediario.

Implicó actividades de intercambio en línea y en persona entre las dos Instituciones proponentes: Institute of Energy Economics and Rational Energy Use (Stuttgart University) y Facultad de Ingeniería (Universidad de la República). Las actividades incluyeron:

- Instancias de formación (cursos de posgrado y actualización permanente)
- Instancias de intercambio con otros académicos (congresos, charlas técnicas, reuniones)
- Reuniones con otros actores clave, como ser empresas privadas vinculadas a los sistemas de energía, a la producción de químicos mediante reactores electroquímicos, consultoras, etc.

Las actividades desarrolladas permitieron crear un marco interdisciplinario y colaborativo para investigar e innovar estrategias de descarbonización mediante el uso de hidrógeno. Se identificaron oportunidades de trabajo conjunto y se escribió un proyecto de investigación en colaboración con otros actores en esta línea.

Ingeniería y Tecnología / Ingeniería Química / Ingeniería de Procesos Químicos / Diseño de procesos

Palabras clave: hidrogeno verde / cooperación internacional / /

Antecedentes, problema de investigación, objetivos y justificación.

La producción de hidrógeno y sus derivados es una posible estrategia que permita acelerar la descarbonización.

Son muchas las alternativas disponibles para este fin. Dentro de las alternativas para la electrólisis las opciones que se encuentran en etapas de desarrollo tecnológico más avanzado son los electrolizadores alcalinos (AE), los electrolizadores con membrana intercambiadora de protones (PEME), y los electrolizadores de óxido sólido (SOE). Hay otras opciones de electrolizadores en distintas etapas de desarrollo que se proyectan para un futuro cercano.

Por ejemplo, la empresa Lazard (Lazard, 2021) espera que los electrolizadores alcalinos con membranas de intercambio de aniones (AEME) alcancen la etapa de comercialización al mismo tiempo que los SOE.

La selección entre tecnologías de electrólisis es solamente un ejemplo dentro de las posibles combinaciones a considerar. Además, hay diversas alternativas para el almacenamiento y el transporte, además de la posible producción de derivados. En este sentido es de interés generar herramientas que permitan analizar y seleccionar las mejores estrategias respecto a cómo desarrollar las cadenas de valor del hidrógeno.

En este sentido, Uruguay se proyecta como potencial exportador (MIEM, 2023a) mientras que Alemania se posiciona como un importador neto de combustibles/vectores energéticos (BMWK, 2023; BMWK 2024). Esta diferencia no se debe a la disponibilidad de energía renovable en ambas partes, si no a la diferencia en el consumo (demanda local). Por esta razón, es de interés identificar las mejores estrategias de análisis de cómo estos sistemas de energía podrían interconectarse.

Cada país ha desarrollado distintas estrategias hasta ahora para modelar sus sistemas (o subsistemas) de energía, según las necesidades y capacidades locales.

En Uruguay, la gran incorporación de fuentes renovables no programables de energía (en particular energía eólica) ha favorecido el desarrollo de herramientas locales. Por ejemplo, diversos proyectos han llevado al desarrollo del software SIMSEE (SIMulación de Sistemas de Energía Eléctrica) (Chaer, 2008). Esta es una herramienta general que puede aplicarse a diversos casos de estudio, pero se destaca su uso por la Administración del Mercado Eléctrico (ADME). ADME tiene implementado una serie de casos de estudio que modelan el Sistema Interconectado Nacional (SIN), estos es el conjunto de generadores y cómo estos abastecen la demanda eléctrica, con el que se define la estrategia de abastecimiento de energía en nuestro país a mínimo costo. No obstante, muchos otros grupos se han dedicado también a desarrollar otros marcos de optimización de sistemas que integren grandes cantidades de energía renovable, ya sea mediante el análisis de problemas de despacho óptimo considerando la red (Briglia, 2017), o la mirada desde los consumidores (Belcredi, 2015; Giusto, 2015). También hay ejemplos de análisis de sistemas de almacenamiento (Castellano, 2020).

En particular, el grupo participante por Uruguay había trabajado previamente en el diseño de sistemas de almacenamiento de energía (Corengia 2018; 2021), y el acople entre la generación renovable de energía y la producción de hidrógeno mediante electrólisis (Corengia, 2020; 2022).

Por su parte, del lado Alemán hay también desarrollos de modelos de distintos sectores del sistema de energía. En particular el grupo de trabajo del IER trabaja en modelos vinculados al almacenamiento a nivel de red, el consumo del sector residencial, el sector industrial, etc. Hay un grupo que trabaja en el modelado de cómo el hidrógeno puede incorporarse a las distintas cadenas de valor. En cuanto a las herramientas, se destaca el uso del software TIMES para el desarrollo y análisis de estos modelos. El entorno para la generación de modelos TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System) fue desarrollado como parte del programa IEA-ETSAP (Energy Technology Systems Analysis Program). Esta herramienta permite el modelado de sistemas de energía en distintas escalas de tiempo (incluyendo el largo plazo) para apoyar la toma de decisiones (Loulou et al., 2004; Loulou et al., 2005).

Con el objetivo de generar redes de trabajo en el modelado de sistemas de energía, con especial énfasis en entender el potencial uso del hidrógeno en los sistemas de energía, el presente proyecto generó instancias de intercambio (tanto como entre los participantes como terceros), a los efectos de identificar puntos de

trabajo conjunto, aprovechando las capacidades ya desarrolladas de ambas partes.

Metodología/Diseño del estudio

Dado que el objetivo fue el de formar redes académicas, se propuso una estrategia de colaboración que combinó actividades presenciales y virtuales, aunque dado el interés de ambas partes en el tema de estudio se realizaron más instancias de intercambio (virtual y presencial) que las propuestas en el cronograma original.

Se destaca la realización de actividades virtuales que incluyeron presentaciones para discusión interna y también con participación de otros integrantes de la academia. En particular, los Dres. Rodrigo Alonso y Alejandro Gutiérrez presentaron el estado del arte del relevamiento de los recursos solar y eólico en Uruguay. Además, aprovechando el viaje a nuestra región de integrantes del IER, en octubre de 2024 (en el marco de otros proyectos de cooperación junto a Chile y Argentina), se realizaron actividades en persona adicionales en Uruguay.

En el caso de las instancias presenciales, se abordaron los intercambios en 4 ejes:

- Conferencias con los expertos de los grupos participantes: Los investigadores realizaron presentaciones que incluyeron desde temas más generales (contexto de matriz energética de sus respectivos países, herramientas de formación de recursos humanos, estrategias nacionales vinculadas a la incorporación de hidrógeno en las cadenas de valor), así como también presentaciones específicas de sus líneas de trabajo. Se destaca la organización por parte del IER del “1st International Symposium on Energy Systems Analysis (ISESA)”, de la que participaron los investigadores del proyecto por parte de Uruguay. Para el cierre de las actividades en Montevideo, estaba previsto un seminario que fue finalmente organizado por ANII con la participación de todos los grupos de trabajo de esta convocatoria.
- Visitas a planta/empresas vinculadas en cada zona geográfica a la cadena de valor del H2 verde. Si bien no hay instaladas grandes plantas de producción de hidrógeno verde, se realizaron en Alemania visitas a centros de I+D donde se desarrollan pilotos de electrolizadores y distintos procesos de producción de derivados de hidrógeno (KIT “PtX Energy Lab”). En el caso de Uruguay, las visitas en territorio incluyeron visitas a plantas locales electroquímicas, al centro regional Centro-Sur de UTEC donde se instalará un piloto de producción de hidrógeno con fines académicos, y la visita a donde se opera el sistema eléctrico nacional Despacho de Carga (UTE-ADME).
- Rondas de discusión entre los expertos que incorporen a otros actores relevantes. Se organizaron instancias de intercambio con empresas consultoras en el área de energía (Fichtner GmbH & Co), centros de desarrollo (KIT “PtX Energy Lab”), empresas en áreas vinculadas a las cadenas de hidrógeno (ANCAP, UTE, Linde, Alliance, Ventus) y otros actores académicos (Facultad de Química-Udelar, ITR Centro-Sur de UTEC, CINOI de UM, Observatorio de Energía de UCU, Fraunhofer-ISI, Fraunhofer-IFAM).
- Involucramiento de tomadores de decisión en las instancias para promover el intercambio entre el equipo científico y el resto de los actores relevantes. Se mantuvieron instancias de intercambio con distintos actores del MIEM en 3 instancias diferentes: las dos visitas del grupo alemán previstas en el cronograma en julio 2024 y febrero 2025, más una instancia adicional en octubre de 2024. Las instancias de 2024 fueron con distintos integrantes del grupo de trabajo de hidrógeno, mientras que la de 2025 fue con la gerencia de planificación estadística y balance. Se mantuvieron también reuniones en Montevideo en la embajada de Alemania en Montevideo y la Cámara de Comercio e Industria Uruguayo-Alemana (AHK).

Como parte del intercambio que se dio en Montevideo, se incluyó un taller de las herramientas desarrolladas por el grupo del IER para formar a los investigadores y profesionales uruguayos que puedan luego desarrollar los análisis sobre el caso de estudio de Uruguay. Este taller fue aprobado como curso de

posgrado y actualización permanente en Facultad de Ingeniería (Udelar). El detalle del temario y los temas abordados se adjunta en la sección de “productos” de la base de la ANII.

Resultados, análisis y discusión

De los intercambios, se identificaron diversos puntos de interés para desarrollar trabajo conjunto. A largo plazo, se pretende tener modelos compatibles del sistema de energía de ambos países, a los efectos de poder analizar las interacciones entre los dos sistemas, pudiendo comparar escenarios donde se empleen distintos vectores energéticos.

A los efectos de desarrollar esta línea de trabajo, se ha subdividido el objetivo final en subproblemas que puedan atacarse individualmente durante el desarrollo de proyectos de investigación o tesis. Estas incluyen:

- Desarrollo de modelos para los sectores de consumo de Uruguay que no estén modelados aún.
- Adaptación del material de los modelos ya desarrollados en distintos entornos de simulación. Por ejemplo, generar a partir de los sectores que tienen modelos en el entorno MESSAGE, estrategias para poder conectarlos con modelos previamente desarrollados en el entorno TIMES.
- Desarrollo de estrategias computacionales para poder integrar varios modelos, de por sí ya grandes en términos de números de variables. Estos casos tienen un potencial interesante de resolución usando estrategias de computación paralela.

De los sectores a modelar, surgió de los intercambios con las autoridades nacionales la falta de desarrollo de modelos para el sector transporte. Este sector es particularmente relevante debido a su alta influencia en el consumo de combustibles fósiles en Uruguay. En 2023, más del 95% de la energía empleada en el sector transporte en Uruguay fue de origen fósil. A su vez, relativamente pocas unidades generan una parte importante de las emisiones del sector: el transporte de carga y los tractores representan el 4% de los vehículos, pero implican el 32% del consumo de combustible y el 34% de las emisiones de CO₂. En una línea similar, los autobuses representan el 0,4% de los vehículos, pero el 9% de las emisiones (MIEM, 2023b).

Esto implica que, cambiando la fuente de energía de menos del 5% de los vehículos patentados en el país puede reducirse hasta un 40% de las emisiones del sector transporte. A diferencia del 60% restante de las emisiones restantes (correspondientes en su mayoría a vehículos livianos, motocicletas y trirrodados) que podría ser electrificado mediante baterías. Para las unidades de gran porte y distancia (en especial transporte de cargas y pasajeros), el uso de hidrógeno o combustibles sintéticos podría ser una vía de descarbonización razonable (Hydrogen Council, 2017).

Ya sea como hidrógeno o como combustibles sintéticos, la generación de un consumo local para suministrar al sector transporte, permite pensar cadenas de valor de hidrógeno que no sean de uso exclusivo para exportación. En este sentido, se espera que en breve comiencen a operar los primeros pilotos para producción de hidrógeno para transporte, junto a la primera flota de camiones a hidrógeno en el contexto del proyecto H24U.

En esta línea, se ha desarrollado el proyecto “CoUrAGe - Collaborative network connecting Uruguay And Germany for the Advancement of Green Hydrogen and Sustainable Fuels – from Research to Community”. Este proyecto se propuso en conjunto con el CINOI – UM y Fraunhofer-IFAM a la convocatoria binacional de proyectos de investigación en hidrógeno verde entre Uruguay y Alemania.

El proyecto cuenta con 5 ejes: Experiencias de Laboratorio, Diseño de Procesos, Análisis de Sostenibilidad y Actividades de Transferencia al Medio. La estrategia propuesta por el proyecto aprovecha las capacidades de todas las instituciones participantes, y fomenta mantener la sinergia entre ellas. Las actividades a desarrollarse incluyen:

- Experiencias a nivel de laboratorio. Tiene como objetivo analizar la incidencia de trabajar a distintas cargas parciales los electrolizadores alcalinos, con el fin de identificar potenciales subproductos que puedan afectar el proceso de producción de combustibles aguas abajo.
- Simulación de ejemplos de procesos propuestos para la producción de combustibles sintéticos.
- Análisis tecno-económico del proceso incluyendo indicadores relevantes a la sostenibilidad.
- Transferencia de conocimiento a actores relevantes y al público en general.

Conclusiones y recomendaciones

Las actividades desarrolladas generaron instancias de intercambio entre las instituciones proponentes del proyecto y otros actores.

Las instancias presenciales permitieron intercambios fluidos con otros actores relevantes. Fruto de estos intercambios para identificar temas relevantes de trabajo conjunto, así como de los intercambios en línea entre los participantes del proyecto, se han identificado diversas líneas de trabajo donde las herramientas de cada grupo de trabajo pueden emplearse sinérgicamente. En este sentido, se ha escrito una propuesta de proyecto conjunta, junto a otras dos instituciones participantes de este llamado.

Además, los viajes financiados por este proyecto se han aprovechado para el dictado de seminarios y cursos específicos en la temática abordada por ambas instituciones, así como la participación por parte de 2 investigadoras uruguayas del “1st International Symposium on Energy Systems Analysis (ISESA)” que tuvo lugar en Stuttgart en 2024.

Productos derivados del proyecto

Tipo de producto	Título	Autores	Identificadores	URI en repositorio de Silo	Estado
Otro	Integration of P2X process to grid: needs for plant models for a smooth transition	Mariana Corengia, Pablo Acosta, Leonardo Rojas, Juan Pablo Villanueva, Mauricio Ohanian		https://hdl.handle.net/20.500.12008/5336	Finalizado

Referencias bibliográficas

Belcredi, G., Modernell, P., Sosa, N., Steinfeld, L., Silveira, F, 2015. "An implementation of a home energy management platform for Smart Grid," 2015 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LATAM), doi: 10.1109/ISGT-LA.2015.7381166.

BMWK, 2023. National Hydrogen Strategy Update – NHS 2023.

BMWK, 2024. Import Strategy for hydrogen and hydrogen derivatives.

Briglia, E., Alaggia, S., Paganini, F., 2017. "Distribution network management based on optimal power flow: Integration of discrete decision variables," 2017 51st Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS), doi: 10.1109/CISS.2017.7926079.

Castellano, A., Bazerque, J.A., 2020, "Learning the operation of energy storage;systems from real trajectories of demand and renewables", 2020 IEEE Power and Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), IEEE.

Chaer, R. 2008. Simulación de sistemas de energía eléctrica. Tesis de Maestría.

Corengia, M., Torres, A.I., 2018. "Effect of tariff policy and battery degradation on optimal energy storage," Processes, vol. 6, p. 204.

Corengia, M., Estefan,N., Torres, A.I., 2020. "Analyzing hydrogen production capacities to seize renewable energy surplus," in Computer Aided Chemical Engineering, pp. 1549–1554, Elsevier.

Corengia, M., Torres, A.I., 2021. "Energy storage," in Sustainable Design for Renewable Processes: Principles and Case Studies (M. Martín, ed.), Elsevier.

Corengia, M., Torres, A.I., 2022. "Coupling time varying power sources to production of greenhydrogen: A superstructure based approach for technology selection and optimal design," Chemical Engineering Research and Design, vol. 183, pp. 235–249.

Giusto, A., Giusto, A., Rey, M. 2015. "Simulation of a decentralized optimal Demand Response algorithm," 2015 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LATAM), doi: 10.1109/ISGT-LA.2015.7381226.

Hydrogen Council, 2017. How hydrogen empowers the energy transition.

Loulou, R., Goldstein, G., Noble, K., 2004. Documentation for the MARKAL Family of Models. ETSAP.

Loulou, R., Remne, U., Kanudia, A., Lehtila, A., Goldstein, G., 2005. Documentation for the TIMES Model - PART I 1–78.

MIEM, 2023a. Balance Energético Nacional Uruguay - 2023.

MIEM, 2023b. Uruguay's Roadmap for Green Hydrogen and Derivatives.

Licenciamiento

Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. (CC BY-NC-ND)