

Energía solar fotovoltaica para producir hidrógeno por electrólisis

Photovoltaic solar energy to produce hydrogen by electrolysis

Gonnet, Adrián; Mainetti, Carlos; Guillermo, Eduardo; Borja, Fernando

Adrián Gonnet

gonnet@frbb.utn.edu.ar

Facultad Regional Bahía Blanca, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

Carlos Mainetti

Facultad Regional Bahía Blanca, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

Eduardo Guillermo

Facultad Regional Bahía Blanca, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

Fernando Borja

Facultad Regional Bahía Blanca, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

Ingenio Tecnológico

Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

ISSN-e: 2618-4931

Periodicidad: Frecuencia continua

vol. 5, e042, 2023

ingenio@frlp.utn.edu.ar

Recepción: 03 Diciembre 2023

Aprobación: 04 Diciembre 2023

Publicación: 04 Diciembre 2023

URL: <http://portal.amelica.org/amei/journal/266/2663842006/>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NonComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Resumen: En las instalaciones solares fotovoltaicas suelen existir períodos de tiempo en los que se produce un exceso de electricidad. En los sistemas sin conexión a la red eléctrica, dicho exceso se puede almacenar en baterías para luego utilizarla en las horas de baja o nula producción. Existen algunos inconvenientes técnicos y medioambientales que provocan que el empleo de baterías no sea la mejor solución para realizar el almacenamiento de energía. Una alternativa es utilizar el excedente de electricidad para producir hidrógeno por medio de la electrólisis del agua y con él generar más electricidad con celdas de combustible. En este trabajo se analiza un sistema de generación distribuida desconectado de la red compuesto de paneles solares, un electrolizador, un tanque de almacenamiento de hidrógeno y una celda de combustible. La carga es el consumo de una vivienda tipo de la provincia de Buenos Aires. Los resultados demuestran que es posible cubrir la totalidad de la demanda de electricidad, sin la utilización de la red eléctrica. Además, no se emplea almacenamiento con baterías y es necesario adicionar un reformador de gas natural para complementar la producción de hidrógeno.

Palabras clave: Fotovoltaico, hidrógeno, celdas de combustible, generación distribuida.

Abstract: In photovoltaic solar installations, there are usually periods in which excess electricity is produced. In off-grid systems, this excess can be stored in batteries for later use during hours of low or no production. Some technical and environmental drawbacks mean that the use of batteries is not the best solution for energy storage. An alternative approach is to use surplus electricity to produce hydrogen by electrolysis of water to generate more electricity with fuel cells. In this work, an off-grid distributed generation system composed of solar panels, an electrolyzer, a hydrogen storage tank, and a fuel cell is analyzed. The load is the consumption of a typical household in the province of Buenos Aires. The results show that it is possible to cover the entire electricity demand, without the use of the electricity grid. In addition, no battery storage is used, and it is necessary to add a natural gas reformer to complement hydrogen production.

Keywords: Photovoltaic, hydrogen, fuel cells, distributed generation.

INTRODUCCIÓN

La implementación de acciones con el objetivo de reducir el avance del cambio climático requiere la atención de todos los actores del sistema energético. En la Argentina, como en otros países, la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles sigue teniendo un rol preponderante., Figura 1.

Generación Neta del MEM - ACUMULADO 2022

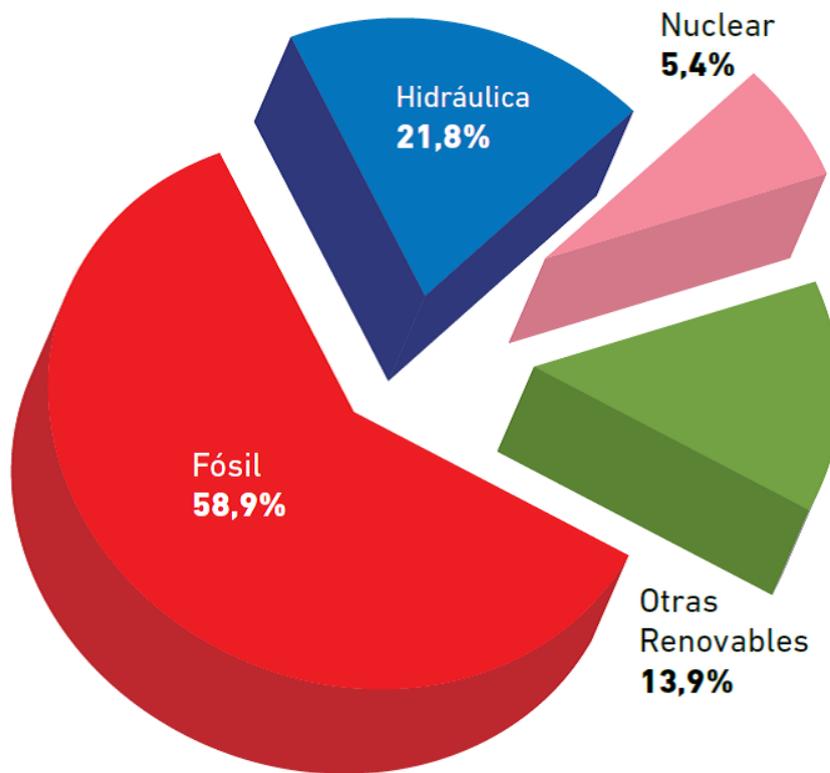


FIGURA 1
Generación de electricidad según los tipos de fuentes utilizadas.
(Comisión Nacional de Energía Atómica, 2022).

A su vez, el combustible fósil utilizado en mayor proporción para generar electricidad es el gas natural, Figura 2.

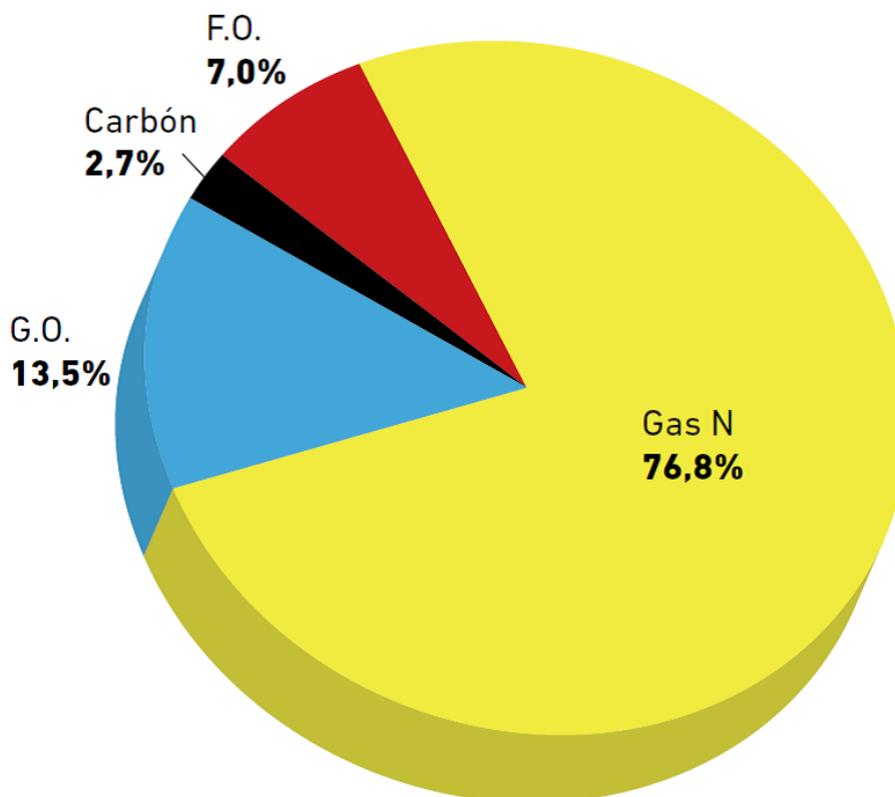
Consumo de Combustibles Fósiles Acumulado 2022 

FIGURA 2
Tipos de combustibles fósiles utilizados en la generación eléctrica.
(Comisión Nacional de Energía Atómica, 2022)

Si bien la utilización del gas natural provoca menores emisiones de CO₂ que otros combustibles fósiles, emplear una tecnología con mayor eficiencia y menores emisiones puede ser considerada una acción puente hacia una verdadera matriz energética con cero emisiones. Las emisiones de CO₂ derivadas de la quema de combustibles fósiles en los equipos generadores vinculados al mercado eléctrico mayorista durante el año 2022 fue de 39,6 millones de toneladas (Comisión Nacional de Energía Atómica, 2022).

El sector residencial en la Argentina es el responsable del 14,6 % de las emisiones de CO₂ considerando todas sus actividades (Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable, 2021). Por lo tanto, toda acción tendiente a reducir las emisiones provocadas por el consumo energético en las viviendas, será relevante.

Sin dudas una contribución a la descarbonización del planeta lo constituye la generación de electricidad con fuentes de energías renovables, como lo son la solar fotovoltaica, la eólica y la biomasa. A nivel global desde el año 2020 se informa un crecimiento con una tasa media del 13% en la utilización de energía fotovoltaica, cubriendo casi un tercio del crecimiento de la demanda de electricidad. (World Energy Outlook, 2020).

Debido a la variabilidad de la generación fotovoltaica, es necesario el almacenamiento de energía y en este campo los dispositivos más utilizados son las baterías. Una alternativa al uso de baterías es el hidrógeno. Con él se puede almacenar energía a partir de la red eléctrica o de fuentes renovables y luego utilizarla cuando se la necesite. Un esquema ideal se presenta en la Figura 3. El Sistema comienza con la generación eléctrica a partir de una fuente renovable, luego un electrolizador que convierte la energía eléctrica en hidrógeno y finalmente el hidrógeno se convierte nuevamente en electricidad utilizando una celda de combustible. El proceso se

desarrolla sin emisiones de CO₂ al ambiente. En este esquema, si el hidrógeno obtenido por electrólisis a partir de una fuente fotovoltaica se almacena en tanques, se obtienen ventajas con respecto a las baterías en cuanto a la duración del almacenamiento y los costos de mantenimiento (Andrews and Shabani, 2012).

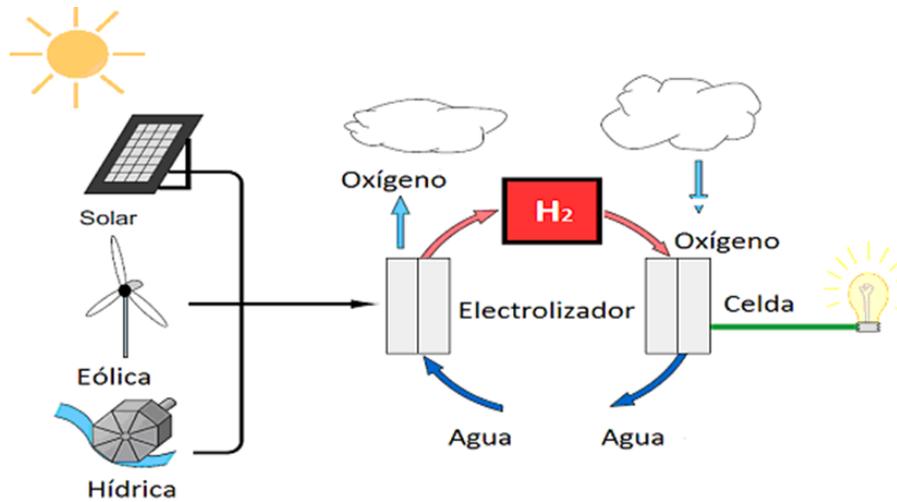


FIGURA 3
Sistema ideal renovable con producción de hidrógeno
Adaptado de (Blog Mech, s.f.)

Un sistema real basado en fuentes renovables y almacenamiento de hidrógeno puede tener diversas configuraciones según el tipo de carga que se propone alimentar, las condiciones meteorológicas del lugar, la tecnología que se desea utilizar y el presupuesto disponible. La Figura 4 muestra un sistema de energía renovable e hidrógeno para alimentar edificios residenciales que contempla distintas variantes para su implementación. En el esquema se observan tres etapas, la correspondiente a la generación de electricidad, la del almacenamiento y la carga.

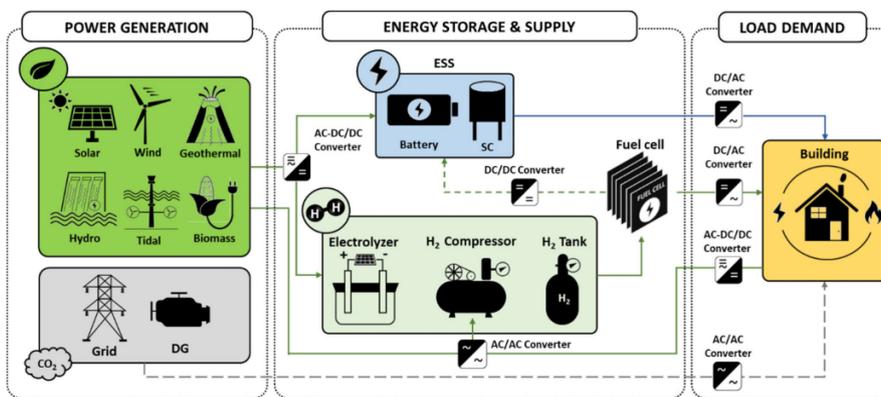


FIGURA 4
Etapas de un sistema renovable con producción de hidrógeno
(Maestre et al., 2022)

En la etapa de generación pueden emplearse diversas fuentes renovables con sus respectivos convertidores de tensión para asegurar una adecuada integración con las demás etapas. También puede considerarse la utilización de la red eléctrica o de un grupo electrógeno para la provisión continua de energía disminuyendo la capacidad de almacenamiento.

La etapa de carga está caracterizada por tener diariamente períodos con elevado consumo (última hora de la tarde y principio de la noche) y períodos con muy bajos consumo (principio del día). El consumo

promedio varía según el tipo de vivienda y su ubicación. Dependiendo del clima, una gran porción del consumo energético corresponde a energía térmica.

En cualquier caso, el exceso de producción de las fuentes renovables que se obtiene en los períodos de bajo consumo y máxima generación puede reutilizarse a partir de su almacenamiento en formas tradicionales como baterías y supercapacitores o empleando nuevos transportadores de energía como el hidrógeno. El hidrógeno se puede obtener por electrólisis del agua sin emisiones de CO₂ (hidrógeno verde) utilizando el exceso de electricidad generada por la fuente de energía renovable. El almacenamiento gaseoso requiere compresión para lograr recipientes de tamaño acorde con el espacio disponible en la instalación. El compresor consume una cierta cantidad de energía auxiliar, que debe ser tenida en cuenta en el análisis de la instalación. Una opción es el almacenamiento a pequeña escala y a baja presión en contenedores construidos con hidruros metálicos (Department of Energy, s.f.). El hidrógeno producido puede convertirse nuevamente en electricidad con alta eficiencia utilizando una celda de combustible (Dodds et al., 2015). La electricidad proveniente de la celda de combustible alimenta directamente a la carga o utilizarse para la carga de las baterías para luego cubrir la demanda de la carga.

En este trabajo se propone un sistema de energía renovable con producción de hidrógeno operando de forma autónoma, desconectado de la red eléctrica y sin baterías. La producción de hidrógeno se lleva a cabo por dos formas diferentes, mediante la electrólisis del agua (verde) y por medio de un reformador de gas natural (gris) (Osaka Gas, s.f.). Se obtienen resultados sobre las capacidades, la producción y el consumo que desarrollan los equipos que componen el sistema para cubrir totalmente la demanda eléctrica de una vivienda.

El artículo contiene las siguientes secciones: Desarrollo, donde se describe la metodología utilizada para el análisis del sistema propuesto, Resultados y Referencias.

DESARROLLO

Para el análisis del sistema propuesto se utiliza el programa de cálculo Homer Pro aplicando la estrategia de seguimiento de la carga. Se utiliza una fuente de generación eléctrica fotovoltaica sin conexión a la red. Se adicionan un electrolizador para producir hidrógeno verde, un reformador de gas natural para producir hidrógeno gris, un tanque de almacenamiento de hidrógeno y una celda de combustible. La Figura 5 muestra el esquema del sistema propuesto.

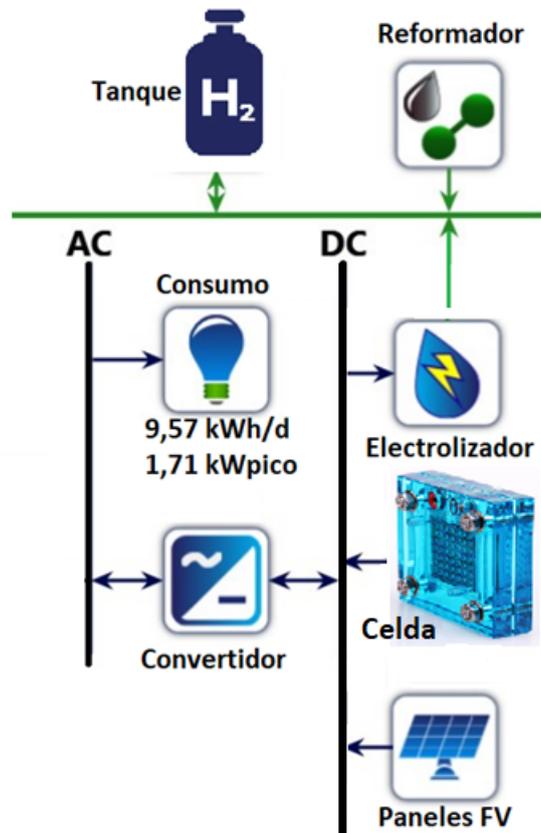


FIGURA 5
 Esquema del sistema propuesto
 Adaptado del programa Homer Pro

La carga es el consumo de electricidad de una vivienda ubicada en la ciudad de Bahía Blanca (38° 43,10' de latitud sur y 62° 15,98' de Longitud Oeste). Se estableció un consumo anual de 3.493 kWh y un promedio diario de 9,57 kWh (Gastiarena et al., 2017).

RESULTADOS

El análisis realizado determinó las capacidades óptimas de los equipos para cubrir la demanda de la vivienda. La Tabla 1, muestra las capacidades de los distintos componentes y sus eficiencias. Las eficiencias se adoptaron según los valores reportados en la literatura (Hassan, 2020; New York State Energy Research and Development Authority, s.f.).

TABLA 1
Capacidades y eficiencias de los elementos de la instalación

Dispositivo	Capacidad	Eficiencia
Panel Fotovoltaico	2 kW	19 %
Celda de combustible	2 kW	40 %
Electrolizador	1 kW	88 %
Reformador	1 kg/hora	68 %
Tanque de H2 (hidruro metálico)	1 kg	---
Convertidor DC/AC	3 kW	90 %

En la Figura 6 se puede observar la proporción establecida cuando se compara la producción de electricidad de los paneles fotovoltaicos con la generación de la celda de combustible para un año de funcionamiento. Los porcentajes de ambas generaciones son el 56,5 % para los paneles fotovoltaicos y el 43,5 % para la celda de combustible. Con esta producción el sistema logra abastecer la carga de la vivienda y el consumo del electrolizador durante todo el año con un excedente de 108 kWh/año (2,03 %).

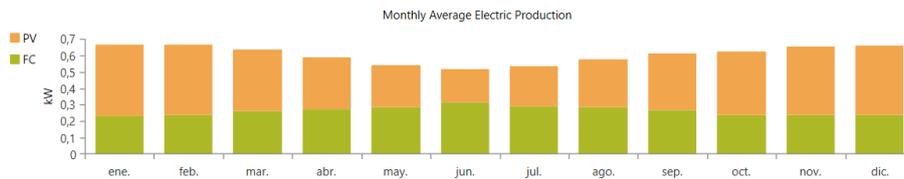


FIGURA 6
Producción de electricidad

La Figura 7 muestra que el electrolizador produce el 12,9 % del hidrógeno requerido por la celda de combustible, mientras que el reformador produce el 87,1 %. De esta forma utilizando el tanque de almacenamiento, el sistema logra producir la cantidad de hidrógeno requerido para todo el año de funcionamiento.

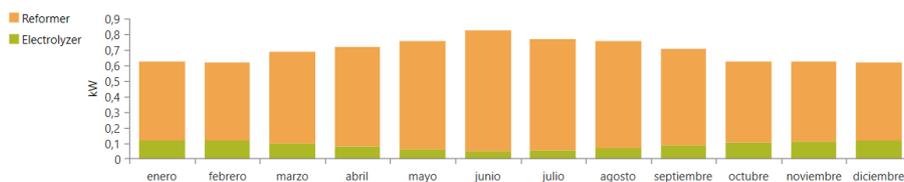


FIGURA 7
Producción de hidrógeno

En la Tabla 2 se observan los valores de la producción de electricidad e hidrógeno en correspondencia con las Figuras 6 y 7. Además se agregó la columna correspondiente al consumo de los equipos. Para el cálculo de la cantidad de agua requerida por el electrolizador se utilizó la equivalencia de 17 litros de H₂O por kg de H₂ (Newborough and Cooley, 2021). Para el cálculo de los m³ de gas natural utilizados por el reformador se utilizó la equivalencia del poder calorífico inferior del gas natural de 10,83 kWh/m³.

TABLA 2
Valores de la producción y consumo.

Equipo	Producción	Consumo
Paneles FV	2.996 kWh	-----
Celda de combustible	2.305 kWh	254 kg de H ₂
Electrolizador	32,7 kg H ₂	641 litros de H ₂ O; 1.516 kWh
Reformador	221 kg H ₂	1.045 m ³ de GN

CONCLUSIONES

Se analizó un sistema desconectado de la red utilizando un programa de cálculo. El sistema fue capaz de producir hidrógeno por electrólisis a partir de la electricidad que proveyeron los paneles solares y por medio del reformado de gas natural. El hidrógeno producido se almacenó y luego se utilizó para operar una celda de combustible que produjo la electricidad necesaria para cubrir el consumo de la vivienda. Debido a la disponibilidad de espacio que habitualmente cuenta una vivienda resultó inviable alcanzar el objetivo de producir todo el hidrógeno por electrólisis a partir de la energía solar. Por lo tanto, si bien el sistema propuesto no consumió electricidad de la red, necesitó consumir gas natural. La utilización del gas natural aleja al sistema de un verdadero sistema sin emisiones de CO₂, pero igualmente la porción de hidrógeno verde utilizada, la elevada eficiencia de la celda de combustible y la producción de electricidad en el mismo punto del consumo lo convierten en un sistema con beneficios si se lo compara con la producción de electricidad en una central que funciona con el mismo combustible.

El estudio del sistema permitió determinar que es posible implementar un sistema de producción de hidrógeno a escala doméstica con equipamientos que ya se fabrican y son factibles de instalar en una vivienda. Quedan por analizar los factores económicos y las cuestiones reglamentarias para atraer a las autoridades y a los usuarios hacia la implementación de este tipo de esquemas de abastecimiento energético.

REFERENCIAS

- Andrews, J., & Shabani, B. (2012). Dimensionless analysis of the global techno-economic feasibility of solar-hydrogen systems for constant year-round power supply. *International journal of hydrogen energy*, 37(1), 6-18.
- Blog mech, (s.f.). Future of Fuel Cells | Hydrogen Production. Recuperado de: <https://blogmech.com/future-of-fuel-cells-hydrogen-production>.
- Comisión Nacional de Energía Atómica. (2022, diciembre). Síntesis del Mercado Eléctrico Mayorista de la República Argentina, N°232. Recuperado de: https://www.cnea.gob.ar/nuclea/bitstream/handle/10665/2489/CNEA_S_PGE_sintesis_MEM_2022_22_264.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Department of Energy, Hydrogen Storage (s.f.). Recuperado de: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>.
- Dodds, P. E., Staffell, I., Hawkes, A. D., Li, F., Grünewald, P., McDowall, W., & Ekins, P. (2015). Hydrogen and fuel cell technologies for heating: A review. *International journal of hydrogen energy*, 40(5), 2065-2083.
- Gastiarena, M., Fazzini, A., Prieto, R., & Gil, S. (2017, abril). Petrotecnia 2/17. Gas versus Electricidad: uso de la energía en el sector residencial. Buenos Aires. Recuperado de: <https://www.petrotecnia.com.ar/todas-las-revistas.html>.
- Hassan, Q. (2020). Optimisation of solar-hydrogen power system for household applications. *International journal of hydrogen energy*, 45(58), 33111-33127.

- International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook 2020. Paris: 2020. Recuperado de: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020/outlook-for-electricity>.
- Maestre, V. M., Ortiz, A., & Ortiz, I. (2022). The role of hydrogen - based power systems in the energy transition of the residential sector. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 97(3), 561-574.
- New York State Energy Research and Development Authority. Hydrogen fact sheet, Hydrogen Production, Steam Methane Reforming (SMR) (s.f.) Recuperado de: <https://www.amiqweb.es/app/download/9343795/6hydrogenproductionsteammethanereforming.pdf>
- Newborough, M., & Cooley, G. (2021). Green hydrogen: Water use implications and opportunities. *Fuel Cells Bulletin*, 2021(12), 12-15.
- Osaka gas, About the fuel processing system (s.f.). Recuperado de: <https://www.osakagas.co.jp/en/rd/fuelcell/pefc/reformed/index.html>
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentables. Presidencia de la Nación. Inventario Nacional de GEI, (2022). Distribución por uso final. Recuperado de: https://inventariogei.ambiente.gob.ar/files/Booklet_INGEI-2022_entero.pdf