

Alumno/a: Raquel González Herrero

Grado en Ingeniería Energética; Universidad de Huelva. Huelva, Spain.

Email: raquelglh@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

El interés por las fuentes de energía renovables ha aumentado significativamente. Debido a las reservas limitadas de combustibles y sus precios inestables. La energía solar es una de las tecnologías de generación de energía renovable más prometedoras, ya que la luz solar puede ser convertida directamente en energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos. Esta fuente está siendo ampliamente utilizada, ya que es limpia y abundante en la naturaleza. No obstante, la esta energía es fluctuante, para suministrar energía continuamente, por lo que se necesitan otras fuentes de energía adicionales, como son las baterías de almacenamiento.

El integrar la fuente de energía fotovoltaica con el uso de hidrógeno como sistema de almacenamiento de energía, hace que se convierta en una fuente de energía fiable, no contaminante y con un valor reducido de costes de mantenimientos. Para este sistema híbrido, el hidrógeno va a ser producido por un electrolizador alimentado con el exceso de energía eléctrica de la fuente de energía renovable. Posteriormente, el hidrógeno puede ser usado para alimentar una pila de hidrógeno (FC), actuando como una fuente de energía secundaria para períodos de alta demanda (Cano, Jurado, 2012).

Desde el punto de vista de la integración en el sistema eléctrico, la característica principal de la tecnología solar fotovoltaica es que su régimen de funcionamiento depende exclusivamente de las condiciones meteorológicas. Por lo que el objetivo

de dicha tecnología es transformar en energía eléctrica el máximo producible con las condiciones de sol disponibles, independientemente de cual sea las necesidades del sistema eléctrico en ese momento.

Al ser la generación variable, una consecuencia de este comportamiento es que el factor de utilización, la relación entre la energía producida durante un periodo de tiempo determinado y la energía que se hubiera producido si la instalación hubiera generado a plena potencia durante el mismo periodo de tiempo, es bajo. Alrededor de un 20% en las plantas fotovoltaicas.

Un factor de utilización bajo implica que para obtener una penetración determinada en términos de energía se debe instalar una potencia más alta que para tecnologías con factor de utilización alto. En algunas situaciones, dada que la alta potencia instalada, se producirá una simultaneidad en la producción de una tecnología, momentos en los que la producción a integrar será muy alta pudiendo dificultar esta integración, especialmente si la demanda es reducida.

Las tecnologías de generación se clasifican fundamentalmente dependiendo de su gestionabilidad. En el RD 661/2007, se establece como generación no gestionable “aquella cuya fuente primaria no es controlable ni almacenable y cuyas plantas de producción asociadas carecen de la posibilidad de realizar un control de la producción siguiendo instrucciones del operador del sistema sin incurrir en un vertido de energía primaria, o bien la firmeza de la previsión de producción futura no es

suficiente para que pueda considerarse como programa”.

Por lo que los generadores con tecnología fotovoltaica son considerados de régimen especial.

La generación gestionable es la que debe contrarrestar la variabilidad conjunta de las energías renovables no gestionables y de la demanda, modificando su producción para adaptarla a las necesidades del sistema y mantener siempre el equilibrio entre la generación y el consumo.

Las plantas de régimen especial que venden su energía mediante una tarifa regulada constante por cada MWh producido no tienen ningún incentivo económico para modificar su producción para producir más energía en las horas con mayor demanda. En el caso de las plantas que venden su energía directamente al mercado, el efecto de las primas hace que la variabilidad de los precios de mercado no sean un factor relevante como para maximizar la generación en horas de mayor demanda y, consecuentemente, precio de mercado. Por lo que las diferencias de precios entre las horas con mayor demanda y las horas con menores demanda no son lo suficiente significativas como para que las plantas de régimen especial gestionable modifiquen su producción para adaptarse (Carbajo, 2012).

II. INTEGRACIÓN EN EL SISTEMA ELÉCTRICO

La integración de energías renovables en un sistema eléctrico de potencia supone nuevos desafíos en su operación. Algunos de estos están relacionados con las características del propio sistema.

Como puede ser:

A. El aislamiento del sistema eléctrico español
El sistema eléctrico español tiene un alto grado de aislamiento, porque esto hace que prácticamente sea una isla energética desde el punto de vista eléctrico. Aunque cada vez se estudia más el

desarrollo de nuevas interconexiones, ya que estas tienen un papel clave para lograr una mayor integración de energías renovables.

Ya que a medida que se aumenta la capacidad de interconexión, se maximiza el volumen de producción renovable que un sistema es capaz de integrar en condiciones de seguridad, dado que la energía renovable que no tiene cabida en el propio sistema se puede enviar a otros sistemas vecinos, en lugar de ser desaprovechada. (Carbajo, 2012) Además, cuanto más diferencia geográfica entre las interconexiones mejor, ya que sus condiciones atmosféricas serán con mayor probabilidad diferentes (Red Eléctrica de España, 2019).

B. Dificultades por la morfología de la curva de carga

La característica más destacable de dicha curva es la diferencia en el consumo en las horas punta y valle. Como consecuencia de esto, las unidades de producción de energía eléctrica gestionables deben funcionar en un régimen más exigente y con una mayor flexibilidad, al ser las encargadas principales de seguir la curva de carga a lo largo del día.

Por lo que volvemos a ver que se necesita aumentar la capacidad de interconexión.

Otras dificultades que podemos tener a la hora de la integración en el sistema eléctrico, son las energías renovables, ya que estas son bastante irregulares (Carbajo, 2012).

III. SOLUCIONES A LAS DIFICULTADES DE INTEGRACIÓN

Algunas de las soluciones son las siguientes:

- El refuerzo en las interconexiones para suavizar las limitaciones requeridas por el elevado nivel de producción de energía renovable, facilitando su exportación hacia otros sistemas.

- Los métodos de predicción, reduciendo la incertidumbre de este tipo de energías. Las previsiones se calculan para las próximas 48 horas en el caso de modelo a corto plazo, y semanales, mensuales y anuales en el caso de los modelos de medio y largo plazo.
- El control y seguimiento de producciones. Para mantener la seguridad de suministro y el balance instantáneo generación-demanda en un sistema con un mix de generación en el que cada vez la potencia instalada de origen renovable es mayor. Para así integrar en el sistema eléctrico la máxima producción de energía de origen renovable posible manteniendo los niveles de calidad y seguridad de suministro (Carbajo, 2012).

Otra de las soluciones es el uso de pilas de hidrógeno como sistema de almacenamiento de energía. Ya que es un combustible idóneo para proporcionar más energía por unidad de masa que ningún otro combustible conocido: 33,3 kWh por Kg, frente a los 13,9 kWh del gas natural o los 12,4 kWh del petróleo, por ejemplo.

Se trata además de un combustible limpio que, cuando se emplea, lo único que genera, además de energía, es principalmente vapor de agua, librándonos, entre otras, del CO₂, que es el gas principal de efecto invernadero.

En este sistema híbrido, el hidrógeno es producido por un electrolizador alimentado por el exceso de energía eléctrica de la fuente de energía renovable. El hidrógeno se obtendrá mediante electrólisis, que consiste en la separación de las moléculas que constituyen el agua.

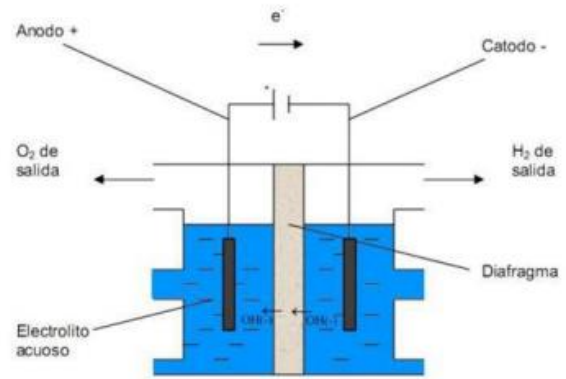


Figura 1: Electrólisis.

Los electrodos del cátodo y el ánodo, se sitúan en el agua o solución acuosa y generan el movimiento de electrones, en el ánodo se forma el oxígeno y en el cátodo el hidrógeno, generalmente añadiendo sales se aumenta la velocidad de reacción.

El hidrógeno producido se usará para alimentar una pila de combustible, que actuará como una fuente de energía secundaria en períodos de alta demanda (Roman Padilla, Cordovilla Arévalo, 2018).

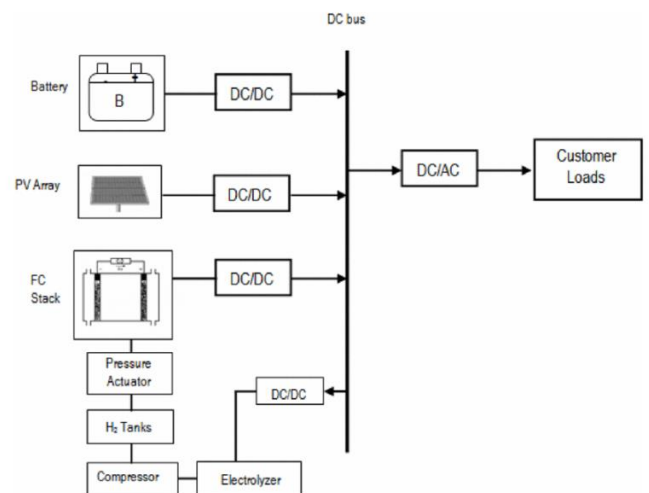


Figura 2: Configuración de sistema híbrido.

En la figura 2, se presenta la configuración de un sistema de generación híbrida. En este sistema, los paneles fotovoltaicos son la principal fuente de energía, mientras que la combinación pila de combustible-electrolizador y la batería se utilizan como un sistema de respaldo y almacenamiento. El electrolizador produce el hidrógeno que necesita la

pila. Todas las fuentes de energía están conectadas a un bus de corriente continua común mediante convertidores de potencia, que se controlan para lograr una adecuada gestión de la energía. El convertidor de energía fotovoltaica está controlado por el control de seguimiento del punto de máxima potencia, para así extraer la máxima potencia disponible de los paneles fotovoltaicos. En el caso de la pila de combustible, electrolizador y batería, el convertidor de potencia se controla para que la fuente de energía proporcione (pila de combustible), consuma (electrolizador) o proporcione/almacene (batería) la energía necesaria (Cano, Jurado, 2012).

Si los sistemas de electrólisis de agua operan con un 70-75% de eficiencia energética, la eficiencia de los sistemas que combinan la fotovoltaica y la electrólisis será de aproximadamente un 8-14% para las células solares de silicio. La baja eficiencia de estos sistemas junto con el alto precio de las células fotovoltaicas son las barreras más importantes para el desarrollo comercial de estos sistemas.

Aun así, se cree que gracias al desarrollo comercial en los sistemas de electrólisis y en las células fotovoltaicas, los sistemas híbridos aumentarán su eficiencia a un 25-30% e incluso más (González Besa, 2016).

IV. LOS VERTIDOS DE ENERGÍAS RENOVABLES

Una de las principales tareas del operador del sistema (OS), es maximizar la integración de energías renovables en el sistema eléctrico español. No obstante, la elevada capacidad instalada de estas tecnologías y su irregular producción. Hacen que la única forma de operar el sistema en condiciones de seguridad sea mediante la limitación de producción.

Los motivos por los que se reducen la generación de renovable no gestionable y, por tanto, el vertido de energía primaria renovable son la inviabilidad de los

balances de potencia y las congestiones tanto en la red de transporte (RdT) como en la red de distribución (RdD).

A) Inviabilidad de los balances de potencia

Una situación de inviabilidad de los balances de potencia o de excedentes de generación ocurre cuando se agota la reserva de regulación a bajar en el sistema eléctrico motivada por la alta generación no gestionable y las bajas demandas. Estas situaciones ocurren mayoritariamente en las horas valles con elevada producción eólica.

En condiciones de reserva a bajar reducida, el operador del sistema en primer lugar hace uso de la reserva a bajar en el sistema, a través de los mercados de gestión de desvíos. Como normalmente, en las horas valle la reserva a bajar tiene los valores más bajos, se recurre a la desconexión de unidades térmicas para que pueda haber una mayor penetración de la generación renovable no gestionable. Aunque, hay determinadas causas que hacen imposible la desconexión de todas las unidades térmicas que se necesitan.

Ya que estas unidades serán imprescindibles horas más tarde en la rampa de incremento de demanda de la mañana, y tecnológicamente para muchas de ellas no es posible esta flexibilidad de operación, ya que su ciclo de desacoplamiento y acoplamiento es mayor al tiempo que va a estar desconectada.

Una vez que ya la reserva a bajar está agotada y ya no siendo posible la desconexión de más unidades térmicas, el operador del sistema debe llevar a cabo reducciones en la producción de energías renovables, para así mantener el equilibrio entre demanda y generación.

B) Congestiones en la red de transporte (RdT) y en la red de distribución (RdD)

En determinadas ocasiones, se pueden producir tanto en la RdT como en la RdD congestiones en la evacuación de generación renovable no gestionable. En la RdT, estas congestiones se producen

generalmente como consecuencia de elementos indisponibles por trabajos o averías en la red.

La correcta planificación de los trabajos en la RdT en coordinación con los productores de energía renovable ayuda a minimizar los vertidos por este motivo, ya que generalmente se pueden realizar trabajos internos de los parques simultáneamente reduciendo el tiempo indisponible de la generación al mínimo.

Algunas de las posibles soluciones son:

- Modificaciones normativas para fomentar supermínimos técnicos en potencia de respaldo

Los supermínimos técnicos hacen referencia a la capacidad de los grupos de generación gestionables de aumentar su flexibilidad por medio de la reducción de su mínimo técnico.

El supermínimo técnico se podría alcanzar, en aquellos grupos térmicos capaces de ello en condiciones de seguridad, reduciendo la producción mínima necesaria.

- Centrales reversible: bombeos

Las centrales reversibles de bombeo-turbinación, tienen la capacidad de modelar la curva de carga, aumentando el consumo eléctrico del sistema durante las horas valle y reduciendo la generación necesaria en el resto de centrales durante las horas punta.

Con este tipo de centrales evitaríamos los vertidos de energía renovable.

- El vehículo eléctrico

Estos vehículos suponen una oportunidad para mejorar la eficiencia del sistema eléctrico, ya que la recarga se puede realizar en el momento que los usuarios elijan, pero disponiendo de cierta flexibilidad para gestionar las horas necesarias para la recarga, lo que no ocurre con la mayoría de los

consumos eléctricos. Esta capacidad de gestionar la demanda presenta importantes ventajas, ya que ofrece al sistema eléctrico la posibilidad de mejorar su eficiencia global aplanando la curva de demanda y facilitando la integración de las energías renovables en el sistema.

Recargar las baterías de estos vehículos durante los periodos de menor demanda, generalmente durante las noches, permite aplanar la curva de demanda al incrementar el consumo durante dichas horas valle. Además, el precio de la electricidad es más reducido durante las horas de menor demanda.

Si las recargas se produjesen durante las horas punta podría aumentar significativamente la demanda de punta en el sistema, lo que sería un problema. Por lo que es muy importante promover mecanismos de gestión de la demanda que fomenten la recarga preferentemente en estas horas nocturnas (Carbajo, 2012).

V. RECICLABILIDAD DE LOS RESIDUOS

Actualmente, se habla de energías renovables como una gran mejora sobre el medioambiente, ya que no contaminan y sus fuentes primarias son inagotables. Pero hay que pararse a pensar en los residuos que estas dejan una vez acabada la vida útil de la tecnología de generación empleada.

En el caso de la energía solar fotovoltaica, es de las menos contaminantes y no usa recursos naturales agotables. Ya que los paneles solares son sostenibles. El material principal del cual se hacen los módulos es el silicio. El cual se obtiene de arena, elemento que se puede encontrar en abundancia en la naturaleza. Es más, dichos paneles tienen una vida útil muy larga, pues un módulo puede llegar a producir energía solar hasta 30 años.

Una vez que este tiempo haya pasado, los módulos fotovoltaicos se deben reciclar. Estos son reciclables

casi al 90%, ya que están fabricados de vidrio y aluminio, principalmente. Dos materiales que son fáciles de reutilizar (Hilcu,2021).

Para reciclar los paneles, primero se retira el marco de aluminio del módulo, después de aplica un proceso mecánico o térmico para separar los diferentes componentes. Los materiales reciclados son el vidrio, el aluminio, el cobre de los cables y el silicio para ser utilizados de nuevo en paneles solares (*Reciclaje de placas solares*, s. f., 2).

Para los residuos de la generación de hidrógeno, el porcentaje de reciclabilidad era mínimo. Por lo que era un poco contradictorio utilizar el uso de hidrógeno como sistema de respaldo a las renovables, si luego sus residuos no eran manipulados correctamente para intentar que la contaminación fuera la mínima.

Así que se creó en 2017 un proyecto europeo llamado HYTECHCYCLING, el cual se ocupa del reciclaje y reutilización de las tecnologías del hidrógeno, incluyendo tanto los sistemas de producción de hidrógeno por electrólisis a partir de energías renovables, como su utilización en pilas de combustible integradas en las diferentes aplicaciones donde tiene cabida.

Ya que estos dispositivos incluyen materiales de alto coste que también son escasos, como el platino, que requieren nuevos procesos de tratamiento. Con la colaboración de los fabricantes y de los usuarios finales, el reciclaje es mucho más fácil. Ese es el principal objetivo de HYTECHCYCLING, estudiar los mejores procedimientos para reciclar y desmantelar los dispositivos basados en las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible (*La Fundación del Hidrógeno coordinará el proyecto europeo HYTECHCYCLING de reciclaje y reutilización de las tecnologías del hidrógeno - FuturENVIRO - Revista técnica bilingüe de medio ambiente*, s. f., 1).

VI. ESTADO DE ARTE

Módulo Hi-MO N

La empresa LONGi, productora de módulos fotovoltaicos ha creado un nuevo módulo.

Tiene 72 células de 182mm y adopta la técnica HPC patentada por LONGi basada en las células TOPCon de tipo N (Fotovoltaica - LONGi lanza Hi-MO N, el primer módulo bifacial con células TOPCon tipo N y una eficiencia del 22,3% - Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias., 2021).

Que la celda sea de tipo N, quiere decir que las células de silicio, que son las mayoritariamente utilizadas, se componen de una capa de silicio dopado tipo n. En esta capa, hay un número de electrones libres mayor que en una capa de silicio puro, de ahí el nombre del dopaje n.

La tecnología TOPCon (también conocidas como contacto pasivado) se caracterizan porque la parte posterior de la célula solar está compuesta por una capa de óxido de silicio ultradelgada y una capa de silicio microcristalino dopado con fósforo y una película mixta de silicio amorfo. El rendimiento de pasivación se activa mediante un proceso de recocido y la cristalinidad de la película de Si cambia durante el proceso de recocido, pasando de una fase mixta microcristalina y amorfa a una policristalina (*TOPCon Tipo N-la siguiente generación de celdas solares Parte(I)*, s. f.)

Este nuevo módulo tiene una eficiencia de conversión de hasta el 22,3 % y la potencia alcanza los 570W frente a los 250-300 W de un módulo normal.

Además estas células tienen muy bajo nivel de degradación. Por lo que se espera que el Hi.MO n sea el producto estrella que lidere el avance industrial en la eficiencia de los módulos y el rendimiento energético (Fotovoltaica - LONGi lanza Hi-MO N, el primer módulo bifacial con células TOPCon tipo N y una eficiencia del 22,3% -

Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias., 2021).

combustible, energéticamente alimentados por energías renovables.

Catalizador a base de níquel-hierro

Actualmente, la electrólisis del agua se basa en metales preciosos como catalizadores, siendo muy costosos. Pero un equipo de investigación, que incluye científicos del Laboratorio Nacional de Los Alamos y la Universidad Estatal de Washington, ha desarrollado un sistemas que utiliza materiales menos costosos y más abundantes.

En este nuevo sistema, se utiliza un catalizador a base de níquel-hierro, es mucho más barato y el rendimiento es comparable. Han desarrollado además el aglutinante de electrodos para usar con el catalizador. El aglutinante de electrodos es un polímero conductor de hidróxido que une catalizadores y proporciona un entorno de pH alto para reacciones electroquímicas rápidas.

La combinación del aglutinante de electrodos y el nuevo catalizador ha aumentado la tasa de producción de hidrógeno a casi diez veces la tasa de electrolizadores de membrana de intercambio aniónico anteriores, haciéndolo comparable con el electrolizador de membrana de intercambio de protones más costoso (Europa Press, 2020).

Hidrógeno para sistemas de climatización

El CNH2 ha puesto en marcha un proyecto para probar la eficacia de tres demostradores en Soria. Cada uno posee una tecnología específica y estarán sometidos a unas condiciones climáticas muy diferentes. El objetivo es comprobar su eficacia en sistemas de climatización. Para así mejorar la eficiencia energética en la climatización, generación de agua caliente sanitaria y suministro eléctrico, mediante un sistema modular y versátil.

Los resultados que se obtengan permitirán impulsar en el mercado la aplicación residencial de esta tecnología basada en hidrógeno y pilas de

Esto podría ser un gran paso para viviendas mucho más eficientes y limpias desde el punto de vista energético (*CNH2 prueba tres demostradores de hidrógeno para climatización*, 2021).

VII. CONCLUSIÓN

Este trabajo tiene el fin de que la población sea consciente que necesitamos un cambio hacía un sistema eléctrico que sea al máximo posible alimentado por fuentes de energía renovables. Para evitar así la contaminación de las fuentes de energía convencionales como el carbón, el gas natural y el petróleo. Ya que también estos combustible tienen una vida estimada y hay que buscar alternativas para el día que se agoten.

En este trabajo podemos ver no solo las ventajas de dicha integración en el sistema eléctrico de las renovables, si no también los inconvenientes y dificultades. Y que esto sea un incentivo para que se busquen y estudien distintas soluciones y nuevos métodos para que sean cada vez más eficientes la implantación de estas.

VIII. REFERENCIAS

A. Cano, F. Jurado, H. Sánchez, M. Castañeda y LM Fernández, "Dimensionamiento y gestión energética de un sistema híbrido fotovoltaico / hidrógeno / batería autónomo", Simposio Internacional de Electrónica de Potencia, Electrónica de Potencia, Accionamientos Eléctricos, Automatización y movimiento, 2012, págs. 969-973, doi: 10.1109 / SPEEDAM.2012.6264535
J. Int. Mass. Spec., 424, 16-26.

Refuerzo de las interconexiones / Red Eléctrica de España. (s. f.). Inicio | Red Eléctrica de

España. <https://www.ree.es/es/red21/refuerzo-de-las-interconexiones>

Carbajo, A. (2012). *La integración de las energías renovables en el sistema eléctrico* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. https://www.fundacionalternativas.org/public/storage/laboratorio_documentos_archivos/6166d6f83d79becd75c9196b685d36f6.pdf

Roman Padilla, M. Cordovilla Braulio, C. (2018). Análisis de la producción de hidrógeno a partir de energía solar fotovoltaica [Trabajo de titulación de grado previo a la obtención del título de ingeniero]. Universidad Estatal de Milagro. <http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/3894/1/ANALISIS%20DE%20LA%20PRODUCCION%20DE%20HIDROGENO%20A%20PARTIR%20DE%20ENERGIA%20SOLAR.pdf>

Hilcu, M. (2021, 19 de enero). *Las renovables ayudan a conservar el medioambiente*. Otovo Blog. <https://www.otovo.es/blog/energia/impacto-energias-renovables-medioambiente/>

Reciclaje de placas solares. (s. f.). Encuentra a los profesionales de calefacción y climatización. <https://www.hogarsense.es/energia-solar/reciclaje-paneles-solares>

La Fundación del Hidrógeno coordinará el proyecto europeo HYTECHCYCLING de reciclaje y reutilización de las tecnologías del hidrógeno - FuturENVIRO - Revista técnica bilingüe de medio ambiente. (s. f.). FuturENVIRO - Revista técnica bilingüe de medio ambiente. <https://futurenviro.es/la-fundacion-del-hidrogeno-coordinara-proyecto-europeo-hytechcycling/>

Fotovoltaica - LONGi lanza Hi-MO N, el primer módulo bifacial con células TOPCon tipo N y una eficiencia del 22,3% - Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. (2021). Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/longi-lanza-himo-n-el-primer-modulo-20210605>

TOPCon Tipo N-la siguiente generación de celdas solares Parte(I). (s. f.).

Solarever. <https://solarever.com.mx/topcon-tipo-n-la-siguiente-generacion-de-celdas-solares-partei/>

Europa Press. (2020, 10 de marzo). *Los avances en electrólisis del agua resultan prometedores para la energía renovable asequible*. iAgua. <https://www.iagua.es/noticias/europa-press/avances-electrolisis-agua-resultan-prometedores-energia-renovable-asequible>

González Besa, Y. (2016). *PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE PARÁMETROS DE DISEÑO* [Trabajo Fin de Máster]. Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/48834/TFM%20Yolanda%20Gonz%C3%83%C2%A1lez%20Besa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CNH2 prueba tres demostradores de hidrógeno para climatización. (2021, 15 de febrero). Energy News. <https://www.energynews.es/demostradores-hidrogeno-climatizacion-72935/>