

La integración de las energías híbridas eólica-hidrógeno en el sistema eléctrico
 Asignatura: Calidad del Suministro Eléctrico.
 Profesor: Adrián Zafra Pérez.

Alumna: Amapola Alonso Rodríguez

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

Email amapal498@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

El aumento del uso de las energías renovables nace con el objetivo de reducir la emisión de CO₂, así como reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

En España en diferentes años se establecieron diferentes leyes con incentivos para el uso de las renovables y poder así cumplir los objetivos de descarbonización marcados por Europa.

En este primer punto se expondrán de manera general los problemas que presentan este tipo de energía en su integración en el sistema eléctrico para posteriormente centrar la atención en la energía eólica.

En la figura 1 se observa el crecimiento más rápido entre los años 2002 y 2012, a partir del 2012 el crecimiento de potencia instalada es más leve.

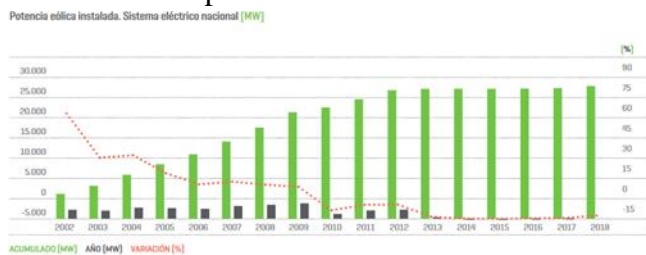


Figura1. Potencia eólica instalada. Sistema eléctrico Nacional. Fuente:

(https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/Renovables-2018.pdf)

En la figura 2, se observa que el crecimiento más rápido de la eólica coincide con el menor uso de energías como fuel + gas, es decir, que en ese periodo de tiempo al incentivar el uso de las renovables el consumo de las no renovables decreció.

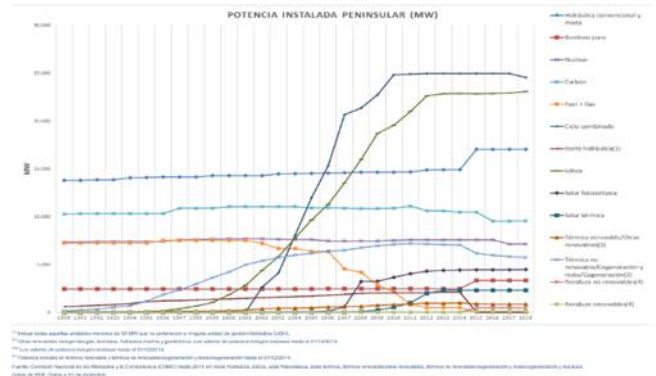


Figura2. Potencia instalada peninsular. Fuente: (Tema III. Generación eléctrica y sistemas asociados. Asignatura Centrales eléctricas)

Ventajas	Inconvenientes
Renovables no contaminante y sostenible.	Discontinua, intensidad y dirección cambian repentinamente.
Materia prima es el viento, el cual es fuente inagotable y limpia.	Fluctuación en la intensidad del viento produce apagones y daños.
Aprovechamiento de zonas áridas, o no cultivables por su topografía.	Genera impacto visual.
No daña el suelo y sus fines agrícolas o ganaderos.	Genera impacto ambiental por la mortalidad de la avifauna.
Genera empleo.	

Tabla 1. Ventajas e inconvenientes de la energía eólica.

En la tabla 1 se encuentran recogidas las ventajas e inconvenientes más importantes de la energía eólica. El hidrógeno tiene interés como portador energético, es decir, con la aparición de las pilas de combustible como un sistema de transformación de la energía que se almacena en el hidrógeno en electricidad y calor.

Esto se puede utilizar tanto con energías renovables como con energía nuclear, si bien es cierto que se usara a una escala diferente, siempre adaptándose a las necesidades del sistema eléctrico.

Focalizándonos en el hidrógeno su característica fundamental es que, aunque no es en sí una fuente energética, es un portador de energía, debido a que toda la energía que puede convertirse en electricidad también puede convertirse en hidrógeno.

Así el hidrógeno se considera un vector energético que complementa de manera perfecta a la electricidad para almacenar y transportar la energía. Puede almacenar energía sin que se produzcan descargas mediante el uso de pilas de combustibles alimentadas por hidrógeno, con las que se consigue una alta eficiencia en la generación de la electricidad.

En la tabla 2 quedan recogidas las características más representativas del hidrógeno, así como en la tabla 3 las ventajas y los inconvenientes.

Características
Mayor eficiencia que otros combustibles como el carbón.
Inagotable y seguro
Fácilmente almacenable.
No contamina.
Producción económica debido a su producción puede provenir de diversas fuentes.

Tabla 2. Características más relevantes del hidrógeno.

Ventajas	Inconvenientes
Alto PCI.	Tiene una energía muy baja por unidad de volumen.

Molécula estable.	Obtener hidrógeno líquido consume mucha energía.
Permite combustión a altas relaciones de compresión y altas eficiencias en máquinas de combustión interna.	La proporciones de pérdida o escapes de hidrógeno gas a través de orificios y la de fugas es mayor que en otros gases.
Vector energético que no emite hidrocarburos, ni CO ₂ , ni otros tipos de contaminantes.	El transporte de hidrogeno gaseoso por gaseoductos es menos eficiente.
Hidrógeno es explosivo a concentraciones más altas.	Contenedores de almacenaje son grandes.
Se dispersa fácilmente en caso de accidente porque se mezcla más rápido con el aire.	Detección de fugas difícil.
	Límite de inflamabilidad puede ocasionar problema.

Tabla 3. Ventajas e inconvenientes del hidrógeno.

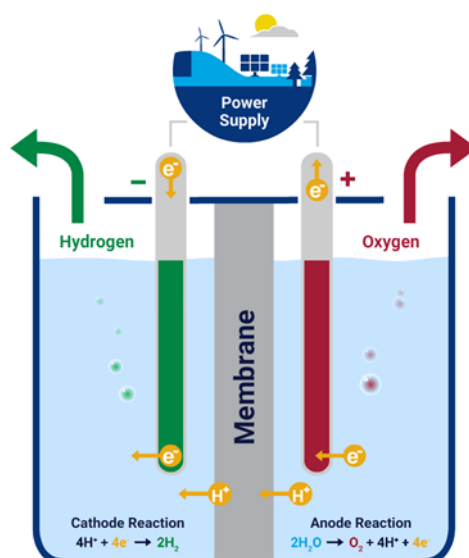


Figura3.Pila de combustible.Fuente: Evwind

(<https://www.evwind.com/2020/01/21/hidrogeno-a-partir-de-eolica-y-solar-el-futuro/>)

II. INTEGRACIÓN EN EL SISTEMA ELÉCTRICO

Las energías renovables presentan algunas características singulares que afectan a su integración en el sistema eléctrico español, estas principalmente son la variabilidad de su producción condicionada por las variantes condiciones ambientales, la incertidumbre en su predicción y por la tecnología utilizada en muchos de los generadores.

Estas características se deben de tener en cuenta para garantizar los niveles requeridos de calidad de suministro incluyendo el correcto equilibrio entre producción y consumo energético.

Con el objetivo de garantizar los niveles requeridos de calidad de suministro, REE(Red Eléctrica de España) en 2006 pone en marcha el Centro de Control de Energías Renovables (CRECE)cuya misión es la supervisión y control de las energías renovables.

Debido a los inconvenientes de los cuales se ha hablado en el punto 1 del presente artículo, su integración en el sistema eléctrico es compleja.

Para una mejor integración pasa por una descentralización de la generación de la electricidad, es decir, que la generación sean en varios puntos que se encuentren cerca de los puntos de consumo dando lugar a redes más pequeñas y más cercanas impulsando la generación distribuida y transformando así la tecnología de las ciudades dando lugar a las Smart Cities.

III. ESTADO DE ARTE EN SOLUCIONES A LAS INTEGRACIONES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO

A continuación, se describe las distintas soluciones a las integraciones en el sistema eléctrico.

Bombeo

Actualmente para el almacenamiento de la energía eléctrica excedente que se genera se utilizan las

centrales de bombeo de manera que cuando hay excedente de electricidad esa electricidad se utiliza para bombear agua hacia el embalse superior manera que cuando sea necesario que este tipo de centrales generen electricidad puedan hacerlo como cualquier central hidroeléctrica. Este tipo de central y las partes que la componen se encuentran debidamente diferenciadas en la figura 4.

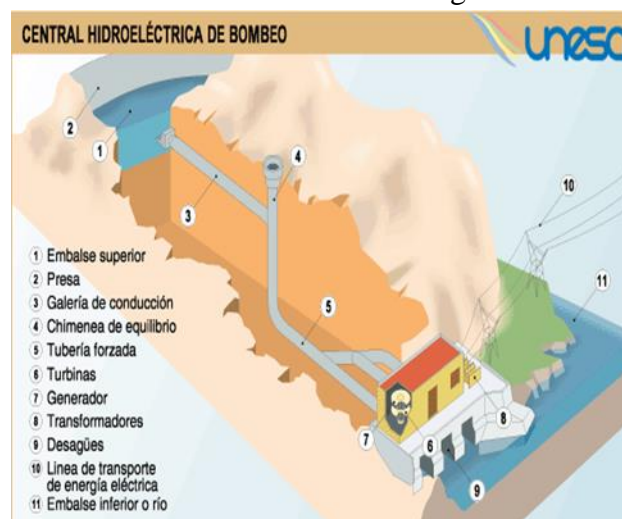


Figura4.Centrales de bombeo y sus partes diferenciadas.Fuente:Sector electricidad

(<http://www.sectorelectricidad.com/16510/como-funciona-una-central-hidroelectrica-de-bombeo/>)

Baterías

Aunque esta solución no se puede llevar a cabo de manera rentable económicamente hablando a gran escala por el número de baterías que serían necesarias, así como su poca vida útil, aunque tengan una gran profundidad de descarga.

Hidrógeno

Sobre el uso del hidrógeno se ha desarrollado las tablas 2 y 3.

Mediante la electrolisis se produce hidrógeno. Mediante las pilas de combustible que mediante electricidad generamos hidrógeno o viceversa.

En el caso la idea es la producción de hidrógeno a través de la electricidad, esta estaría generada por aerogeneradores. Esto se debe a que como se ha comentado anteriormente en el punto 2.

Algunos proyectos son:

Sotavento Project: Consta de un electrolizador de 300 kW, un compresor de pistón, un sistema de almacenamiento de H₂ de 1725 Nm³ y un motor de 55 kW. Esta planta es operada por Gas Natural Fenosa con el objetivo de extrapolar su comportamiento al de una instalación industrial capaz de gestionar toda la producción del parque eólico de Sotavento siguiendo diferentes estrategias: balanceo, desbroce de picos y aumento del factor de capacidad del parque eólico. El objetivo principal de esta instalación es lograr la gestión de la energía eólica producida por el parque eólico Sotavento, permitiendo que la energía eólica sea una fuente manejable. Se encuentra en Galicia.

ITHER PROJECT: La instalación consta de un parque eólico de 635 kW con tres aerogeneradores diferentes, instalación solar fotovoltaica de 100 kW con siete tecnologías distintas, un gran electrolizador de tecnología alcalina y subsistemas de gestión de energía, interconexión a red eléctrica, almacenamiento de hidrógeno, y así final de hidrógeno en pilas de combustible. Desde junio de 2010 esta instalación es complementada con una estación de servicio para vehículos de hidrógeno. Con esta última fase, las instalaciones engloban todos los ámbitos relacionados con las tecnologías del hidrógeno, desde la producción por medio de electrólisis de agua, hasta la dispensación de hidrógeno tanto a vehículos como a autobuses con pilas de combustible, pasando por el almacenamiento a baja y alta presión y por la compresión. Se genera hidrógeno verde procedente de fuentes renovables de sus instalaciones para su consumo en aplicaciones estacionarias o móviles. En este proceso se evalúa la eficiencia y funcionalidad del proceso. Se sitúa en Aragón.

Hidroeólica. Es un proyecto situado en El Hierro. La central eólica es capaz de almacenar la demanda eléctrica de El Hierro. El excedente eólico que no es aprovechado por la población se destina a bombear agua entre el depósito inferior y el superior; agua que queda acumulada en este último depósito y será la responsable de producir electricidad a partir del salto hidráulico en momentos de escasez de viento.

La combinación de la generación eólica e hidráulica consigue convertir una fuente intermitente, la eólica, en un suministro constante y controlado, aportando novedosos avances al sector de las energías renovables.

La central de motores diésel solamente entra en funcionamiento en casos excepcionales cuando no hay ni viento ni agua suficiente para producir la energía demandada.

RES2H2. Este proyecto se lleva a cabo en España y Grecia. La instalación consta de:

Aerogenerador de media potencia.

Electrolizador de potencia nominal 55kW y producción máxima de hidrógeno de 11 Nm³/h, capaz de parcializar su producción para adecuarla a la capacidad del depósito de hidrógeno o al aporte energético.

Deposito para el almacenamiento de hidrógeno con capacidad de 500 Nm³ de H₂ a una presión de 25 bar. Se dispone con ello de una reserva de energía de aproximadamente 750 kWh para los momentos en que la potencia eólica no sea suficiente para abastecer los consumos eléctricos.

Seis pilas de combustible de 5 kW cada una, con un consumo de hidrógeno a potencia nominal de 4 Nm³ de H₂ /h a una presión de 5 bar.

Seis inversores monofásicos de potencia nominal 5 kW conectados para generar un red eléctrica trifásica asilada.

Cargas de volcado variables con un total de 30 kW que simulan los consumos.

Planta desaladora por ósmosis inversa de 30 kW de potencia máxima, con una producción variable entre 7 y 115 m³/d.

Los objetivos que se persiguen son:

Optimización los sistemas integrados de energía del viento y del hidrógeno, de acuerdo a condiciones específicas.

Aumentar la penetración de la energía eólica.

Emplear todo el potencial eólico disponible en áreas donde las redes eléctricas tienen capacidad limitada.

Proposición de que la producción comercial de hidrógeno a otras escalas es viable técnicamente

con mejoras en la eficiencias de los equipos como electrolizadores o sistemas de almacenamiento.

Probar que la producción nominal de hidrógeno a partir de la eólica es viable económicamente, reduciendo los costes de operación a través del diseño de aerogeneradores y unidades de electrolisis para su integración.

IV. VERTIDOS DE ENERGÍAS RENOVABLES

Uno de los mayores inconvenientes que presenta la energía eólica es que hacer con las palas del aerogenerador una vez que han finalizado la vida útil de estas.

Cabe recordar que la vida útil de una turbina eólica es de 20-25 años, aunque su vida útil puede extenderse mediante tres alternativas: extensión de la vida útil sustituyendo los equipos que mayor mantenimiento tienen por unos nuevos, repotenciación parcial o revamping que es la sustitución de los componentes principales de la turbina como las palas, repotenciación total que es desmantelamiento completo de la turbina antigua instalando una turbina completamente nueva.

En particular se pueden reciclar los cables de acero y cobre de las turbinas eólicas, sin embargo, es posible reciclar alrededor del 85% de los componentes de un aerogenerador.

Las palas de los aerogeneradores al final de su vida útil terminan en vertederos, aunque hoy en día existen diversos programas a nivel mundial para buscar soluciones que permitan su reutilización o que se puedan reciclar.

En Estados Unidos la empresa Global Fiberglass Solutions está trabajando en un método que permita el desarme de cada pala de manera que el material del que se componen las palas se utilizado en la fabricación de paredes y suelos.

A nivel europeo nos encontramos con el proyecto FiberEuse.

FiberEuse. Su objetivo es la reutilización de compuestos reforzados en fibra al final de su vida útil. Cumplir este objetivo pasa por nuevas soluciones de TIC basadas en la nube para la integración de la cadena de valor, la exploración de

nuevos mercados, el análisis de las barreras legislativas.

En Dinamarca como ejemplo de reutilización de palas destaca el aparcamiento para bicicletas o un puente en la ciudad de Aalborg.



Figura5. Reutilización de palas de aerogenerador como aparcamiento de bicicletas. Fuente: Energías renovables (<https://www.energias-renovables.com/eolica/nuevo-retro-para-la-eolica-reciclar-14-20200617>)

El puente de Aalborg tendrá 49 metros de largo y 3 metros de alto, se realiza con dos palas de aerogeneradores.

Si no es posible su reutilización se pasa a su reciclaje si es que es posible. Existen varios tipos de reciclaje: Reciclaje mecánico: triturar y separar el material para su reutilización en la fabricación de otros materiales fibrosos o como material relleno.

Reciclaje térmico: se pueden incinerarse para generar energía. Otras alternativas son la pirolisis y la gasificación, mediante ellas se pueden preservar los materiales fibrosos para ser utilizados en otras aplicaciones.

Reciclaje químico: procesos como la solvolisis que implica la reutilización de disolventes y procesos térmicos para la separación de la resina de las fibras.

El aceite o lubricante que se utiliza en el rotor del aerogenerador es el único residuo que se genera con este tipo de energía, actualmente se usa un lubricante sintético ya que tiene mayor tiempo de vida útil como prestación principal.

DecomBlades. Este proyecto ha conseguido una financiación durante 3 años del fondo de inversión de Dinamarca. Está compuesto por 10 socios. El objetivo de este proyecto es la investigación y el desarrollo de soluciones para reciclar el material compuesto en las palas de las turbinas eólicas. El

proyecto se centra en tres procesos específicos: trituración de palas de aerogeneradores de modo que el material pueda reutilizarse en diferentes productos y procesos; uso de material de hoja triturado en la producción de cemento; y, finalmente un método para separar el material compuesto a altas temperaturas también conocido como pirolisis.

Respecto al reciclaje de las pilas de combustible.

Durante la fabricación de las pilas de combustible el residuo de la pila es el polvo de grafito durante el mecanizado de las placas bipolares. Este polvo se ha recogido mediante un aspirador durante toda la fase de mecanizado, este polvo es posible usarlo en procesos de fabricación como es la pulvimetalurgia o el sinterizado, procesos en los que se compacta este polvo para la obtención de piezas de gran precisión.

El único componente que se degrada en las pilas de combustible debido al uso son las membranas MEAs (ensamblaje membrana-electrodo), que pueden ser sustituidas una vez llegan al final de su ciclo de vida, cuando se agota el efecto del catalizador, o bien pueden ser reutilizadas volviendo a catalizarlas.

HYTECHCYCLING. Algunos de los componentes de las pilas de combustible como los metales del grupo del platino y los elementos de tierras raras, estos también se utilizan en catalizadores de electrolizadores, electrodos y electrolitos. Ambos grupos son identificados por la Comisión Europea como materiales críticos que deben ser reducidos o reemplazados. El objetivo principal del proyecto es entregar documentación de referencia y estudios sobre tecnologías y estrategias de reciclaje y desmantelamiento existentes y nuevas aplicadas a las tecnologías de pilas de combustible e hidrógeno (FCH). Los resultados de este proyecto fomentaron el uso de catalizadores sin materias primas fundamentales, es decir, pilas de combustibles basadas completamente en materiales cerámicos en lugar de las que usan níquel en el ánodo. Se han explorado tecnologías de reciclaje adecuadas con las que recuperar más de un material a la vez. La disolución electroquímica selectiva, por ejemplo, es

una táctica que permite recuperar el platino y su soporte carbónico.

V. RESUMEN

A lo largo del presente artículo se ha hablado de la necesidad de reducir las emisiones de CO₂ mediante el uso de energías renovables, sin embargo, no hay que perder de vista que las renovables presentan actualmente algunas dificultades para una integración plena en el sistema eléctrico español debido principalmente a la intermitencia de las renovables en la generación de electricidad.

Se destaca el uso de renovables para las centrales de bombeo como una forma de almacenamiento de la electricidad generada por las renovables, así como el uso del hidrógeno como otra manera de almacenamiento de esta electricidad producida.

Se puede observar que hay varios proyectos que combinan de manera satisfactoria el uso de las energías renovables con el hidrógeno.

Como punto negativo se encuentra la dificultad de la reutilización de las palas de los aerogeneradores en este caso, aunque se ven algunos usos que se están estudiando y proyectos con el objetivo de que al finalizar la vida útil de los aerogeneradores se pueda reciclar o reutilizar el 100 %.

VI. REFERENCIAS

- [1] Espejo, M. C. (2004). *La energía eólica en España*. doi: 10.14198/INGEO2004.35.03
- [2] (2020). Hay que reciclar 14000 palas de aerogeneradores. *Revista energías renovables julio / agosto*, 28-30.
- [3] Rodríguez, R., Luis, Valdés, Castro, Rolando, Tricio, Gómez, Verónica y Lucio, García, Jesús H. (2018). Diseño de una planta eólica de hidrógeno en el laboratorio de alumnos a partir de una central experimentada aislada de 70 kW. *Latin-American Journal of Physics Education*, 12(3).
- [4] Funez, Guerra, C., Almansa, Rodríguez, E. y Fuentes, Ferrea, D. (2010). El hidrógeno como vector energético del futuro. *Energía & Minas Revista Profesional, Técnica y Cultural de los Ingenieros Técnicos de Minas*, (8), 20-27.
- [5] Carpintero de Toro, Fernando. *Eólica y vector hidrógeno*.
- [6] Pino, L., F.J. (2010). *Análisis de sistemas integrados de producción de hidrógeno a partir de energía eólica aportaciones al modelado dinámico*

- de sistemas (tesis doctoral). Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- [7] Calderon, G., M. (2010). *Estudio, Diseño y Optimización de un sistema integrado de gestión energética para una instalación autónoma fotovoltaica/eólica con apoyo de hidrógeno* (tesis doctoral). Universidad de Extremadura, Extremadura, España.
- [8] Salazar, L., M. J. (2016). *Sistema para aprovechamiento de la energía eólica a baja escala y su acumulación en forma de hidrógeno* (trabajo de fin de grado). Universidad de Valladolid, Valladolid, España.
- [9] Sanchez, R., L. (2018). *Análisis de ciclo de vida de las tecnología eólica e hidráulica en España* (trabajo de fin de grado). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- [10] Moeckel, P., A. C. (2018). *Producción de hidrógeno a partir del excedente de energía eléctrica proveniente de renovables* (trabajo de fin de grado). Universidad Sevilla, Sevilla, España.
- [11] Aso A., I. (2008). Energía eólica e hidrógeno una simbiosis anticipada. *DYNA* 83, (3), 127-133
- [12] Catedras de la Universidad Pontificia de Comillas (2010). *Catedras*. <http://web.upcomillas.es/catedras/crm/descargas/2009-2010/LibroH2jornada-WEB.pdf>
- [13] REE (s.f.). *Centro de Control de Energías Renovables*. <https://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/centro-de-control-de-energias-renovables>
- [14] Tecpa (s.f.). *Energía eólica ventajas e inconvenientes*. <https://www.tecpa.es/energia-eolica-ventajas-inconvenientes/>
- [15] World Energy Trade (2020). *Las aspas de las turbinas eólicas no son reciclables*. <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-eolica/las-aspas-de-las-turbinas-eolicas-no-son-reciclables-y-se-han-convertido-en-toneladas-de-desechos>
- [16] Fibereuse (s.f.). *Objetivos del proyecto*. <http://fibereuse.eu/index.php/objectives>
- [17] Asociación energía eólica (2020). *Estudio macroeconómico de la eólica*. https://aeeolica.org/images/Publicaciones/Estudio-Macroeconomico-2020/AEE_Estudio_Macroeconomico-2019.pdf
- [18] Television noruega (2019). <https://www.tv2nord.dk/aalborg/vil-dt-projekt-skroetede-mollevinger-bliver-til-ny-bro-i-lindholm>
- [19] Xataka (2020). *Palas de los aerogeneradores* <https://www.xataka.com/energia/miles-aerogeneradores-se-acercan-al-final-su-vida-util-gran-pregunta-que-haremos-sus-palas-despues>.
- [20] Proyecto Sotavento (s.f.). *Objetivos*. <http://www.sotaventogalicia.com/>
- [21] Hidrogeno Aragón (s.f.). *Proyectos y objetivos*. <https://hidrogenoaragon.org/es/proyectos/>
- [22] Energías renovables (<https://www.energias-renovables.com/eolica/como-producir-hidrogeno-con-energia-eolica-20200417>)
- [23] Proyecto DecomBlades (s.f.). *Objetivos e instalaciones*. <https://www.evwind.es/2021/01/28/decomblades-consortium-awarded-funding-for-wind-turbine-blade-recycling-project/79050>
- [24] Proyecto HYTECHCYCLING (s.f.). *Objetivos e instalaciones*. <http://hytechcycling.eu/project/>
- [25] Almarza, C., J. (2010). *Diseño y fabricación de una pila de combustible de hidrógeno de baja potencia* (trabajo de fin de grado). Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, España.
- [26] REE. (2018). *Publicaciones sobre las energías renovables*. https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/Renovables-2018.pdf [fotografía]
- [27] Tema III. Generación eléctrica y sistemas asociados. Asignatura Centrales eléctricas. Profesor Rafael Salvador Barroso Rodríguez. [fotografía]
- [28] Evwind (s.f.). *Eólica e hidrogeno caminos unidos*. <https://www.evwind.com/2020/01/21/hidrogeno-a-partir-de-eolica-y-solar-el-futuro/> [fotografía]
- [29] Sector electricidad (s.f.). *Funcionamiento de las centrales de bombeo*. <http://www.sectorelectricidad.com/16510/como-funciona-una-central-hidroelectrica-de-bombeo/> [fotografía]
- [30] Energías renovables (s.f.). *El reciclaje en la eólica*. <https://www.energias-renovables.com/eolica/nuevo-reto-para-la-eolica-reciclar-14-20200617> [fotografía]