

TECNOLOGÍAS DIGITALES APLICADAS A LA FORMACIÓN EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PARQUES EÓLICOS

*DIGITAL TECHNOLOGIES APPLIED TO TRAINING IN OPERATION
AND MAINTENANCE OF WIND FARMS*

Priscila Silveira Ebert, Alberto Ceña ¹

Recibido: 13/2/2023 y Aceptado: 24/5/2023
ENERLAC. Volumen VII. Número 1. Julio, 2023 (44 - 55)
ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522 (digital)



Foto de Betzy Arosemena de Unsplash.

1 CEO BEPTE Consultores.
España
acena@bepete.com



RESUMEN

La industria de la energía eólica se considera hoy madura y competitiva en costes con otras fuentes de energía, lo que ha propiciado el rápido crecimiento de la capacidad instalada en todo el mundo en la última década. Este rápido crecimiento ha creado un gran mercado laboral y, en consecuencia, han surgido grandes oportunidades para que las instituciones educativas impartan formación relacionada con la energía eólica. El principal objetivo de la investigación en este campo está relacionado con la mejora del rendimiento y la prolongación de la vida útil de las turbinas eólicas mediante la inversión en estrategias de funcionamiento y mantenimiento. En este sentido, este artículo pretende presentar algunas herramientas de formación desarrolladas por el proyecto Windext. Estas herramientas están enfocadas a apoyar a centros de enseñanza y empresas del sector en la formación de personas en operación y mantenimiento de parques eólicos.

Palabras clave: Energía eólica, formación, herramientas digitales, Windext, Operación y mantenimiento.

ABSTRACT

The wind energy industry is considered mature and cost competitive with other sources of energy, which has enabled a large growth in installed power worldwide in the last decade. This rapid growth has created a large job market and accordingly, great opportunities have arisen for educational institutions to provide training related to wind energy. The main focus of research in this area is related to improving the performance and extending the life of wind turbines by investing in operation and maintenance strategies. In this sense, this paper aims to present some of the training tools developed by the Windex project. These tools are focused on supporting education centers and companies of the sector in the training of people in operation and maintenance of wind farms.

Keywords: *Wind Energy, training, digital tools, Windex, Operation and maintenance.*

INTRODUCCIÓN

En la última década el número de parques eólicos instalados en el mundo ha crecido significativamente, sólo en el último año se han incorporado un total de 93,6 GW de energía eólica en todo el mundo, de los cuales 86,93 GW proceden de instalaciones onshore y 6.068 GW de instalaciones offshore. con lo que la capacidad total instalada alcanza los 837 GW (GWEC, 2021). Uno de los factores que ha motivado este gran crecimiento han sido los avances tecnológicos, con rotores más grandes instalados

a mayor altura y mejores tecnologías de generación que han aumentado la producción y reducido los costes.

No obstante, aun con este incremento, los parques eólicos son muy vulnerables a interrupciones en su producción. Estas pausas pueden ser causadas por problemas impredecibles, tales como restricciones ambientales o limitaciones en el despacho de energía, o por fallas en los equipos que conforman el parque eólico (Silva, Ferrari y Wingerden, 2023).

Aunque la energía eólica se ha convertido en una fuente de electricidad madura y competitiva en costes, las pérdidas de producción siguen siendo un problema en el sector. Esto no solo se debe a la pérdida de ingresos, sino también a las causas subyacentes que originan los fallos o a posibles daños en caso de paradas de emergencia. Para aumentar el rendimiento de los parques eólicos y, en consecuencia, su rentabilidad, se invierte cada vez más en estrategias optimizadas de explotación y mantenimiento (Xia y Zou, 2023).

Además de los retos ya conocidos, como, por ejemplo, la economía circular de los componentes, el avance de la tecnología trae consigo nuevos desafíos y con ellos la necesidad de un gran número de ingenieros, científicos e investigadores locales. La creación de empleo durante la transición energética mundial es un tema relevante y al que hay que prestar atención porque el rápido crecimiento de este sector empuja a cada vez más personas a trabajar en él y esto requiere formación, habida cuenta además, el alargamiento de la vida útil de los activos eólicos.

La educación y la formación desempeñan un papel vital en el desarrollo de la industria eólica (Xie, Feng y Qiu, 2013), compleja en toda la cadena de producción desde la fabricación hasta la operación de los parques, ubicados en muchos casos en terrenos complejos y de climatología complicada. La educación tiene

varias funciones vitales, entre ellas: promover la concienciación pública, desarrollar la confianza de los consumidores, formar al personal de apoyo técnico, capacitar a los ingenieros y a los analistas políticos (Jennings, 2009). La formación puede proporcionar conocimientos estructurales para que las personas sepan gestionar el recurso eólico y los equipos en aspectos como el diseño, la fabricación, el transporte, la instalación, el funcionamiento y el mantenimiento (Yelda et al., 2012).

En este contexto, el presente artículo presenta algunas herramientas didácticas desarrolladas a partir del proyecto Windext, financiado por el programa Erasmus+ de la Comisión Europea, con el fin de formar a futuros profesionales en el ámbito de la explotación de los parques eólicos. El proyecto Windext comenzó en 2020 y su principal objetivo es desarrollar contenidos y definir técnicas de enseñanza para diferentes grupos destinatarios, relacionados con temas como, la prolongación de la vida útil, la reutilización de componentes y las estrategias de funcionamiento y mantenimiento de aerogeneradores.

EL MERCADO Y LAS FUTURAS OPORTUNIDADES DE LA ENERGÍA EÓLICA

El gran crecimiento de la energía eólica contribuye, por un lado, a la generación de energía renovable y apoya la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y, por otro, contribuye a algunas cuestiones sociales, como la creación de empleo local (Msigwa, Ighalo e Yap, 2022).

El estudio desarrollado por (Ram, Aghahosseini y Breyer , 2020) presenta algunos datos relativos al número de oportunidades de empleo generadas por la energía eólica. Los datos presentan los empleos generados desde 2010 y hacen una proyección hasta 2050. A continuación, se presentan algunos datos obtenidos en este estudio.

- **Europa:** Se espera que la energía eólica genere alrededor de 400.000 empleos en 2025, principalmente en tierra, y unos 50.000 adicionales en parques eólicos marinos, con una estimación adicional de 264.000 puestos de trabajo para 2050.

- **Eurasia:** Con un gran potencial para la energía eólica, se observa que la mayor parte de los puestos de trabajo de 2020 a 2030 están asociados al desarrollo de la energía eólica, creando unos 353.000 empleos en 2025.

- **Mena:** Se calcula que creará 260.000 empleos hasta 2030.

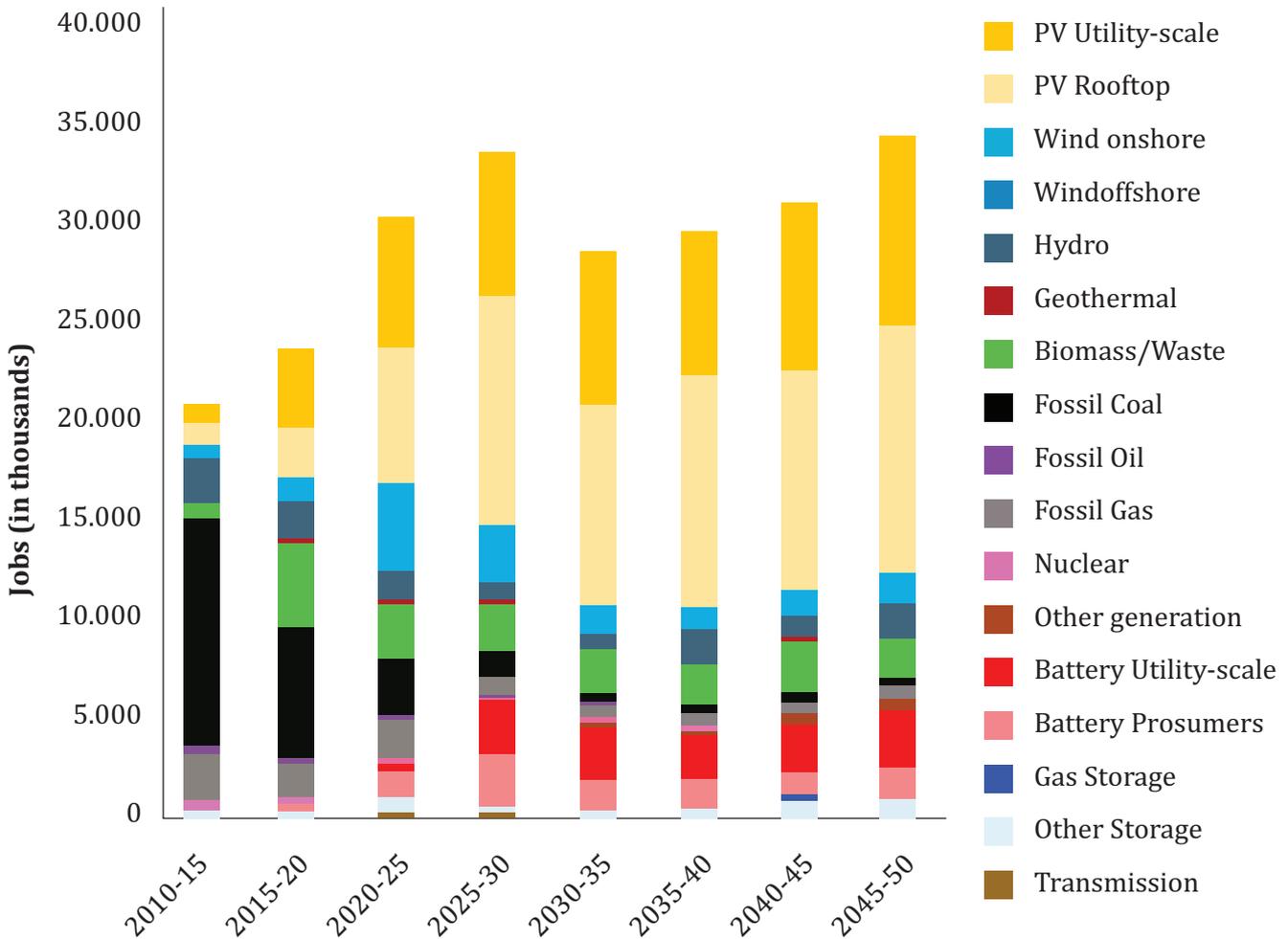
- **África subsahariana:** En ese continente se observa que la energía solar fotovoltaica será la principal creadora de empleo durante el periodo de transición, con un 65% del total de puestos de trabajo creados en 2050. En cuanto a la energía eólica, se crearán 283.000 empleos hasta 2025.

- **SAARC:** Sólo la energía eólica generará 504.000 oportunidades en 2030.

- **Sudamérica:** En 2050 se crearán unos 800.000 empleos en energía eólica.

Desde una perspectiva global, el sector de la energía experimentará un aumento de alrededor del 70% más de puestos de trabajo directos de aquí a 2030, y la creación total de empleo será 1,5 veces mayor en 2050 en comparación con 2015. Las fuentes de energía con más potencial según las proyecciones son la energía solar fotovoltaica, con una previsión de 22,2 millones de empleos para 2050, seguida por el almacenamiento en baterías con 4,5 millones de empleos para la misma fecha, y finalmente la energía eólica con 1,4 millones de empleos para 2050, como se ilustra en la Figura 1 (Ram, Aghahosseini y Breyer, 2020).

Figura 1. Creación de puestos de trabajo estimados por fuente de 2015 a 2050



Fuente: (Ram, Aghahosseini y Breyer, 2020)

Un reciente estudio realizado por el International Renewable Energy Agency (IRENA) presenta los 10 principales generadores de oportunidades en el sector eólico: China representa el 44% de los puestos de trabajo, seguida de Estados Unidos, Alemania, Reino Unido, India, Brasil, Dinamarca, España, México y Países Bajos (IRENA y OIT, 2021). Una de las razones por las que estos países registran las tasas de empleo más elevadas está relacionada con la cadena de suministro. Sólo China alberga el 45% de las 800 empresas fabricantes de componentes para aerogeneradores de todo el mundo.

Este gran número de puestos de trabajo pone de manifiesto la necesidad de atención especial al apartado de seguridad y salud para garantizar unas condiciones de trabajo confiables, en la parte de fabricación, pero sobre todo en la operación y mantenimiento, dadas las condiciones exigentes de trabajar con tensión, en altura y en condiciones ambientales exigentes.

Teniendo en cuenta los datos de empleo es posible observar que la necesidad de formar a los futuros profesionales del sector y en la práctica ya se observa una carencia de trabajadores para la

gestión de los activos eólicos, fundamentalmente en las tareas de mantenimiento especializado.

HERRAMIENTAS DIGITALES ALIADAS A LA ENSEÑANZA DE LA ENERGÍA EÓLICA

En los últimos tiempos, ha habido una creciente discusión acerca de un concepto innovador: la llamada “Industria 4.0”. La industria 4.0 es una tendencia global de automatización y digitalización que engloba el uso intensivo de tecnologías digitales como el internet de las cosas, la inteligencia artificial y la robótica para hacer la producción más eficiente, flexible y personalizada (Bhagwan y Evans, 2023). En lo que respecta a la educación en energía eólica, la Industria 4.0 tiene un importante papel que desempeñar con la incorporación de tecnologías avanzadas. La llegada de este nuevo concepto ha provocado cambios en diversos sectores de la sociedad y los centros de formación deben seguir el ritmo de estos avances y mantener actualizadas sus técnicas para garantizar una formación más precisa y eficaz (Borges et al., 2019). Sin embargo, en el sector eólico se ha constatado que el vínculo entre educación e industria presenta algunas carencias, dado que la industria evoluciona mucho más rápido (Fitch-Roy, 2013) pero también por el progresivo envejecimiento de las máquinas al extenderse su vida útil.

Otro gran problema es la calidad de la formación ofrecida, en muchos casos la formación teórica se aleja de los problemas que se plantean en la realidad. Para minimizar este problema, se ha hecho un mayor esfuerzo en el uso de estrategias de educación en línea y herramientas digitales que brinden la posibilidad a docentes y estudiantes de realizar ejercicios prácticos con la ayuda de simuladores. Esto permite una comprensión más profunda de la funcionalidad básica de los aerogeneradores, el análisis de cargas y los modos de control de las máquinas.

Otra herramienta destacada es la realidad virtual, que contribuye a la aproximación entre

el mundo real y el virtual, mediante entornos que se aproximan a la realidad ante las dificultades de acceder en muchos casos a la góndola del aerogenerador.

Proyecto WindEXT

El proyecto comenzó a desarrollarse en 2020 y tiene como grupos de interés instituciones de formación, fabricantes y proveedores independientes de servicios.

El objetivo general es desarrollar un curso de entrenamiento en el cual se utilicen diferentes tipos de recursos y técnicas de enseñanza. Estos recursos están vinculados a temas de gran importancia en el desempeño posterior de la actividad profesional, tanto en tierra como en el mar, a modo de ejemplo: el análisis de las causas raíz de los fallos, la medida de la disponibilidad y la pérdida de rentabilidad, el uso de SCADAs, los modelos de contrato y los indicadores de rendimiento, como los KPI, el uso final y el reciclaje de componentes, el diagnóstico de averías y las estrategias comerciales.

Con el uso de estas herramientas de libre acceso, estudiantes, empresas y trabajadores del área podrán hacer uso de los mismos para expandir sus conocimientos y desarrollar de una manera práctica nuevas habilidades que podrían ser de utilidad en un futuro.

Herramientas digitales desarrolladas por el proyecto WindEXT

Durante el proyecto se desarrollaron una serie de contenidos que están disponibles en una plataforma Moodle. A través de esta plataforma se puede acceder a las diferentes secciones, módulos y herramientas digitales que se presentan a continuación. Cada uno de ellos desarrollados para cumplir con ciertos objetivos de aprendizaje y al mismo tiempo en su conjunto forman un curso de formación completo.

Plataforma Moodle: En la plataforma se integran diversos contenidos y el acceso a las diferentes herramientas digitales creadas para reforzar el conocimiento y el aprendizaje de los usuarios. La plataforma se divide en cuatro secciones: introducción a las tecnologías de aerogeneradores, mantenimiento, repotenciación y extensión de la vida útil, y herramientas digitales.

Cascade Damage Explorer (CaDWEx): Es un software que permite el análisis de fallos en cascada de componentes. A modo de ejemplo, se han analizado y enumerado los posibles modos de fallo de una caja de cambios. Es posible analizar tanto los fallos individuales como los subsiguientes.

WindEXT Simulation (WExSiM): Este software consiste en 5 diferentes escenarios en los que se deben realizar operaciones tanto de mantenimiento como de seguridad. Para la realización de los mismos se hace uso de gafas de realidad virtual. A su vez, cada práctica contiene un manual de los pasos a seguir y se puede acceder a este durante la misma. Como se puede observar en la Figura 2. Las 5 posibles prácticas a realizar son:

- Mantenimiento y sustitución de una transmisión de guiñada
- Bloqueo del eje de alta velocidad y lubricación de las pastillas
- Evacuación del elevador de servicio
- Funcionamiento de la llave dinamo-métrica hidráulica
- Sustitución de fusibles del armario de alta tensión



Foto de Artur Zudin de Unsplash.

Figura 2. Captura de práctica de Elevador.



Fuente: windEXT

WindEXT Laboratory (WExLaB): Mediante el uso de programas desarrollados en Simulink (están compilados no es necesario disponer de licencias de este software) es posible aprender los fundamentos teóricos del diseño, la producción y los costes de los aerogeneradores. Esta aplicación está dividida en módulos que permiten analizar distintos factores como se muestra en la Figura 3.

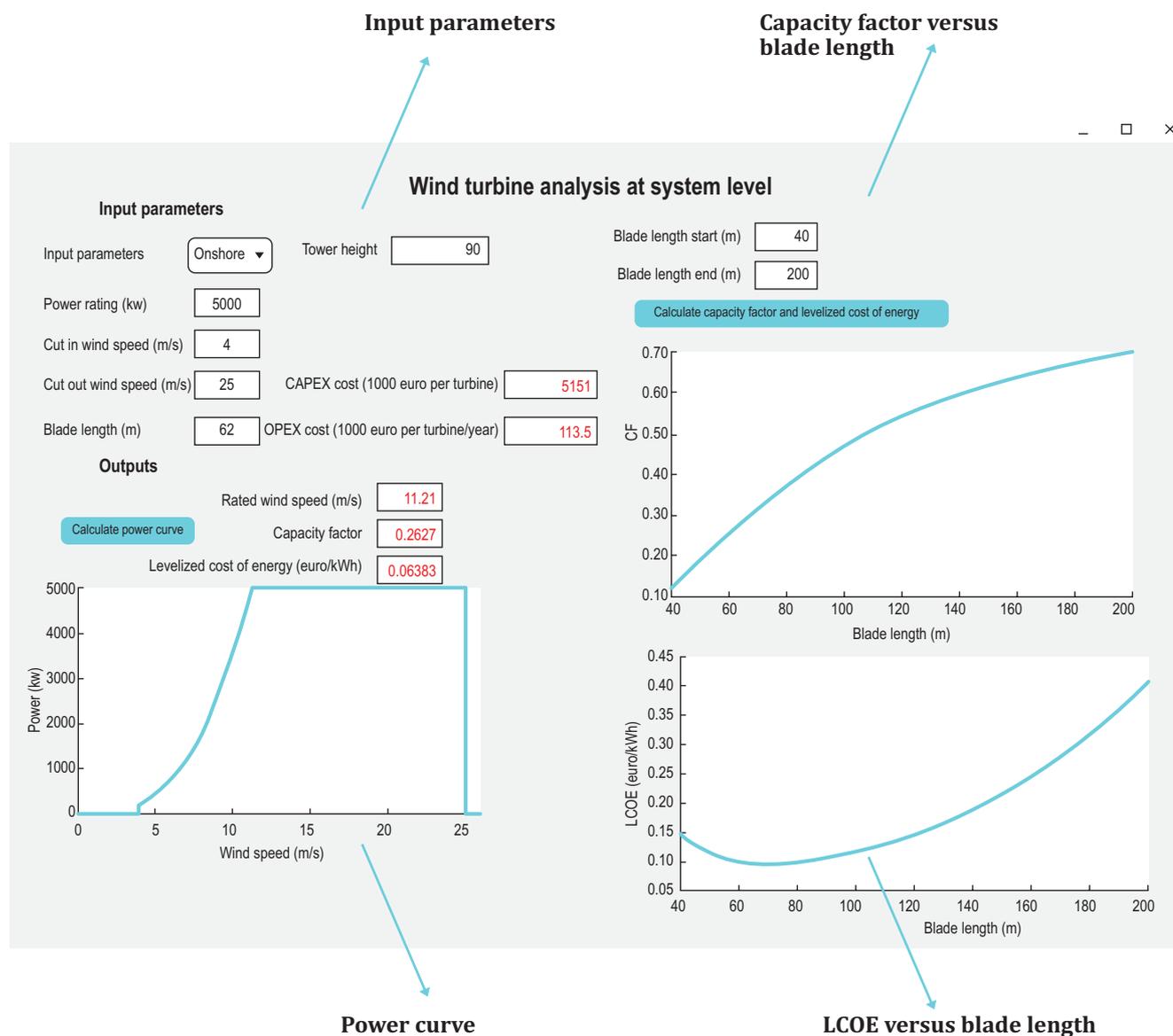
- **Análisis a nivel de sistema:** A partir de esta aplicación se puede calcular la curva de potencia, los costos CAPEX y OPEX, el LCOE y el factor de capacidad de la turbina.

- **Análisis modal:** Esta aplicación permite a los usuarios calcular las frecuencias naturales de la pala y la torre y realizar el diagrama de Campbell.

- **Análisis de carga:** Utilizando esta aplicación podemos calcular las cargas aerodinámicas en las palas de la turbina y las cargas operativas de las mismas.

- **Análisis operacional:** Con el uso de esta aplicación se analiza el rendimiento del aerogenerador, pudiendo calcular algunos parámetros de operación como lo son el ángulo de inclinación, el par, la potencia y la deflexión de la punta de la pala.

Figura 3. Ejemplo de aplicación de una de las herramientas de WExLaB

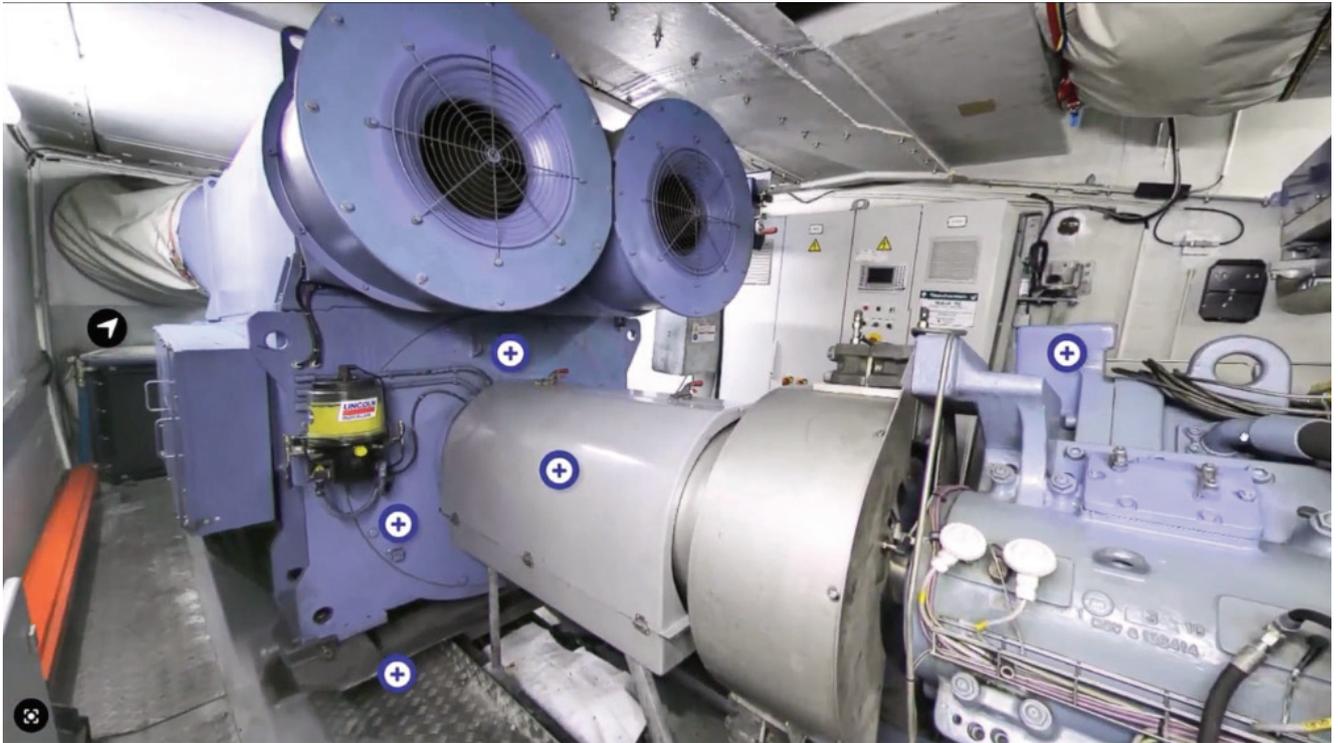


Fuente: windEXT

WindEXT Virtual Reality (WExVir): A diferencia de WindEXT Simulation, esta herramienta nos permite adentrarnos en un aerogenerador con imágenes reales de 360° utilizando H5P. Durante el recorrido por el aerogenerador se pueden observar conceptos y detalles sobre los distintos componentes del mismo como presentado en la Figura 4.

Invertir en la conexión entre industria y educación es el gran reto actual del sector de las energías renovables

Figura 4. Captura de WindEXT Virtual Reality (Nacelle)



Fuente: windEXT

Así como acceder a las diferentes tareas del mantenimiento, fundamentalmente preventivo, pero también correctivo y predictivo, como se muestra en la guía de herramientas de la figura 5.



Foto de Betzy Arosemena de Unsplash.

Figura 5. Guía de herramientas WexViR



Fuente: windEXT

A través de esta herramienta es posible asimilar mejor los contenidos teóricos utilizando recursos interactivos.

CONCLUSIONES

La capacidad mundial instalada de energía eólica crece a un ritmo acelerado cada año, y este crecimiento promueve una serie de beneficios, como la reducción de las emisiones de CO₂, la diversificación de la matriz energética y la creación de nuevos puestos de trabajo. Sin embargo, para que la generación de energía sea eficiente es necesario, entre otras cosas, contar

con profesionales capacitados para resolver los diferentes problemas relacionados con el tema. Invertir en la conexión entre industria y educación es el gran reto actual del sector de las energías renovables.

En este sentido, este trabajo presentó una iniciativa que busca contribuir a la solución de esta problemática, con el desarrollo de una plataforma de capacitación a través del proyecto WindEXT. La plataforma cuenta con varios tipos de contenidos, desde contenidos teóricos hasta softwares de realidad virtual y con ella es posible mejorar los conocimientos en el área de operación y mantenimiento de aerogeneradores. ■

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación del proyecto a través del Programa Erasmus + de la Unión Europea así como a las demás instituciones implicadas en el desarrollo del proyecto Asociación Empresarial Eólica (AEE), 8.2 Consulting AG, Renewable Skills & Consultant GmbH, DP2i, INESC TEC - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciencia, TESICNOR, S.A, Delft University of Technology, Universidad de Castilla - La Mancha y Universidad de Chipre, SGS Tecnos SA.

REFERENCIAS

- Bhagwan, N. & Evans, M. (2023). A review of industry 4.0 technologies used in the production of energy in China, Germany, and South Africa, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 173, 113075, ISSN 1364-0321.
- Borges, P. R., Moreira, P. A., Lopes, T.L.S., Robert, L. F. O. y Pena, H. W. A. (2019). *Treinamentos utilizando a realidade aumentada e virtual: comparação da inovação e tradicionalismo na formação profissional*. Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana. En línea <https://www.eumed.net/rev/oel/2019/06/realidade-aumentada-virtual.html>
- Fitch-Roy, O., et al. (2013). *Workers wanted: The EU wind energy sector skills gap*. 10.13140/RG.2.2.22454.55360.
- GWEC (2021). *Global Wind Report 2020*. Ed. Global Wind Energy Council (GWEC).
- GWO and GWEC (2021), *Global Wind Workforce Outlook 2021-2025*, Brussels, Frederiksberg and London, June, <https://gwec.net/global-wind-workforce-outlook-2021-2025/>
- IRENA & ILO (2021), *Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2021*, International Renewable Energy Agency, International Labour Organization, Abu Dhabi, Geneva.
- Jennings P. (2009). New directions in renewable energy education. *Renewable Energy*. Volume 34 (2). 435-439.
- Msigwa, G., Ighalo, J. O., Yap, P.S. (2022). Considerations on environmental, economic, and energy impacts of wind energy generation: Projections towards sustainability initiatives, *Science of The Total Environment*, Volume 849, 157755, ISSN 0048-9697.
- Ram, M., Aghahosseini, A., Breyer, C. (2020). *Job creation during the global energy transition towards 100% renewable power system by 2050*. Technological Forecasting & Social Change. Volume 151, 157755, ISSN 0048-9697.
- Silva, J. G., Ferrari, R., Jan-Willem van Wingerden, J.W. (2023). Wind farm control for wake-loss compensation, thrust balancing and load-limiting of turbines, *Renewable Energy*, Volume 203, Pages 421-433, ISSN 0960-1481.
- windEXT. *Advanced maintenance, lifetime extension and repowering of wind farms supported by advanced digital*. Disponible en: <https://www.windext.com/>
- Xie, Y. Feng, Y., Qiu, Y. (2013). The present status and challenges of wind energy education and training in China. *Renewable Energy*. Volume 60, Pages 34-41, ISSN 0960-1481.
- Xia, J. Zou, G. (2023). Operation and maintenance optimization of offshore wind farms based on digital twin: A review, *Ocean Engineering*, Volume 268, 113322, ISSN 0029-8018.
- Yelda K, Seçil V, Ali K, Mehmet Y. (2012). The levels of awareness about the renewable energy sources of university students in Turkey. *Renewable Energy*. Volume 44. 174e9.