

AVANCES TECNOLÓGICOS Y PERSPECTIVAS DE LA ENERGÍA EÓLICA. RETOS PARA CUBA

Por Dr. CT. **Conrado Moreno Figueredo***, Dr. C. **José Augusto Medrano Hernández****
e Ing. **Jorge Líder Macías Ramos*****

*, ** Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba.

*<https://orcid.org/0000-0001-8986-3205>
E-mail: conradomor2014@gmail.com

**<https://orcid.org/0000-0002-2404-3748>
E-mail: jmedrano@mecanica.cujae.edu.cu

*** Universidad Técnica de Manabí
<https://orcid.org/0000-0003-3287-0770>
E-mail: lider.macias@utm.edu.ec

Resumen

Se presentó la situación de la energía eólica en el mundo de hoy a partir de una revisión de los artículos y bases de datos más actualizadas. Se empleó como métodos investigativos la revisión documental y el análisis-síntesis. Se obtuvo valoraciones sobre el estado actual de la tecnología, sus retos y sugerencias para aumentar la capacidad instalada a nivel mundial, la contribución de la energía eólica para el 2030 en todo el mundo, las tendencias en el desarrollo de la tecnología eólica y los futuros diseños, la evolución de la tecnología y los objetivos de los nuevos desarrollos. También se presentaron ideas sobre los planes de desarrollo de la energía eólica en Cuba para el 2030 y sus retos. Se concluye que se precisa de un proyecto que busque soluciones a los problemas diagnosticados en uno de los parques eólicos existentes, para adaptarlas a las características del resto.

Palabras clave: Agroecología, educación nutricional, sistemas alimentarios sostenibles.

TECHNOLOGICAL ADVANCES AND PERSPECTIVES OF WIND ENERGY. CHALLENGES FOR CUBA

Abstract

The situation of wind energy in the world today was presented based on a review of the most up-to-date articles and databases. Documentary review and analysis-synthesis were used as research methods. Assessments were obtained on the current state of the technology, its challenges and suggestions for increasing installed capacity worldwide, the contribution of wind energy by 2030 worldwide, trends in wind technology development and future designs, the evolution of the technology and the objectives of new developments. Ideas on wind energy development plans in Cuba for 2030 and their challenges were also presented. It was concluded that a project is needed to find solutions to the problems diagnosed in one of the existing wind farms, in order to adapt them to the characteristics of the rest.

Keywords: Wind power, wind turbines, technologies.

I. Introducción

La energía eólica es una de las fuentes de energía que ha tenido un mayor crecimiento en los últimos años, pues ha presentado un crecimiento en forma exponencial, lo cual se podría atribuir a una respuesta a la amenaza latente de escasez y posible agotamiento de recursos energéticos tradicionales en un periodo relativamente mediano de tiempo, tales como: hidrocarburos, combustibles fósiles, manantiales hídricos, entre otros.

Un estudio de los avances tecnológicos y de las perspectivas de la energía eólica en el mundo y en Cuba constituye una necesidad para una proyección futura acertada en cuanto al cambio de matriz energética en el 2030, pasando de un 4 % de participación de las fuentes renovables de energía en la producción de electricidad a un 24 % en ese año.

La crisis energética de años anteriores ha provocado un aumento de las inversiones en energías renovables, con un auge notable en la solar fotovoltaica (FV) y un significativo surgimiento de las inversiones energéticas en este campo de las renovables. En 2023 la solar fotovoltaica lideró el incremento, aportando las tres cuartas partes de todas las adiciones de energías renovables globales.

El progreso en adiciones de energías renovables fue global, pero varió entre regiones y tecnologías. En los Estados Unidos, el único crecimiento relativo en 2022 fue solo en solar FV, con un total de capacidad incrementada mayor del 50 % hasta cerca de 33 GW, mientras que las adiciones en energía eólica cayeron desde 2014 al más bajo nivel (REN21 Renewables 2024).

En la Unión Europea (UE), las adiciones en solar FV se incrementaron de 41 GW en 2022 hasta 56 GW en 2023, las adiciones en energía eólica en 2023 totalizaron 17 GW, algo superior con respecto a 2022. China continuó dominando el sector de las energías renovables, poniendo en marcha una cantidad de solar FV que fue equivalente al total mundial de adiciones en solar FV en 2022. China también tiene en operación alrededor de 30 GW de parques eólicos marinos al final de 2023, cerca de la mitad de capacidad mundial.

El sector de las renovables también enfrentó retos que tuvieron lugar en 2023. Los conflictos geopolíticos en Europa, el Medio Este y otros lugares continuaron la ruptura de las cadenas de suministro y el transporte internacional, lo que impactó en los mercados energéticos: las emisiones globales de gases efecto invernadero se incrementaron un 1,1 % con un récord de 37,5 billones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) emitidas desde las plantas de carbón y que contribuyeron en cerca de las dos terceras partes del incremento.

La resistencia a las renovables ha continuado hasta, incluso, entorpecer el desarrollo del sector, independientemente de los avances en la tecnología y el crecimiento de la conciencia social sobre los problemas medioambientales. El progreso en la implementación, las políticas y las inversiones relacionadas con las energías renovables en todo el mundo permanece desigualmente distribuido geográficamente y estos aspectos influyen en la disparidad de su desarrollo e incrementan la desigualdad en el crecimiento energético (REN21 Renewables 2024).

Por su parte, la energía eólica ha continuado su constante desarrollo desde hace más de 20 años. El año 2023 terminó con un nuevo récord en nuevas turbinas instaladas: en total, el mundo añadió 116 000 MW en nuevas capacidades. Según las estadísticas preliminares publicadas por la Asociación Mundial de Energía Eólica (WWEA por sus siglas en inglés) (WWEA, 2023), la capacidad global de energía eólica sobrepasó un millón de megawatt y ha alcanzado 1 046 000 megawatt, cifra muy próxima a la predicción de la WWEA en otoño de 2023 (figura 1).

El volumen de la capacidad añadida es 35 % mayor que en 2022, cuando el mundo solo añadió 86 gigawatt, lo que significa un crecimiento global de 12,5 %, significativamente superior a 2022, cuando el viento creció solo un 10,2 %.

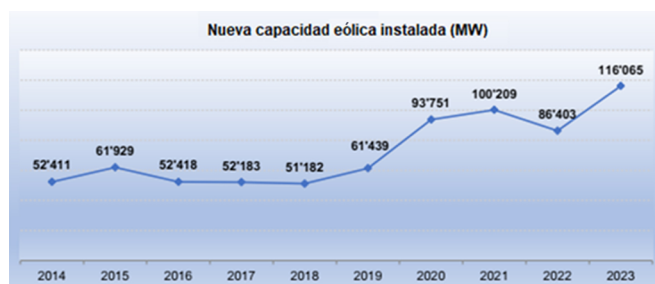


Fig. 1. Nueva capacidad instalada en el mundo en 2023 (WWEA Annual Report 2023).

Entre los primeros 10 países con mayores crecimientos se citan, Brasil con 20,8 % y China con 19 %. Los Países Bajos (34%), Finlandia (22%), Vietnam (24 %) y Chile (26 %) tuvieron razones de crecimiento por encima del promedio global, mientras que los líderes anteriores –USA, Alemania, India, España y Reino Unido– estuvieron por debajo del 10 % (figura 2).

Con 1 046 000 megawatt de capacidad total instalada, el mundo ha alcanzado un nuevo hito. El límite de 1 millón de megawatt de capacidad eólica global se alcanzó 25 años después de que el mundo instaló 10 000 megawatt y 15 años después de alcanzar 100 000 megawatt.

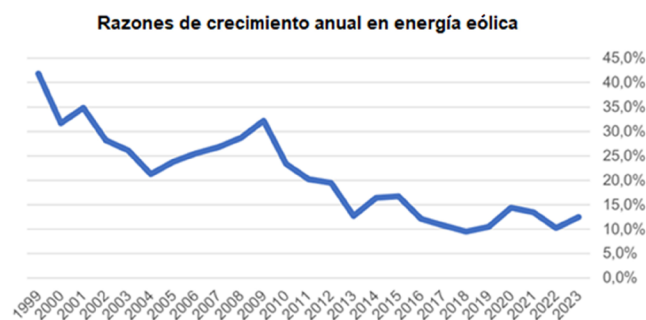


Fig. 2. Razones de crecimiento anual de la energía eólica (WWEA Annual Report 2023).

Futuros crecimientos se esperan en los próximos años, impulsados por las nuevas políticas que han comenzado a hacer efectos en muchos países, en respuesta a la escalada de crisis climáticas y de combustibles fósiles. Han comen-

zado a ejecutar sus ambiciosos planes de construcción de parques eólicos de gran escala, tanto en tierra como en mar. Como resultado, se estima que en corto tiempo el potencial de crecimiento sea alto. Una triplicación de la potencia eólica antes del fin de esta década y un incremento de diez veces para la mitad de este siglo no es solo factible, sino también, una aspiración realista.

La repotenciación, es decir, reemplazar una vieja y pequeña turbina eólica por una nueva, mayor y más eficiente, es una opción importante para futuros crecimientos en potencia eólica de generación de electricidad. Se estima que por repotenciación solamente, se puede duplicar hoy la generación con energía eólica.

La capacidad de energía eólica instalada en estos momentos satisface alrededor del 5 % de la demanda de electricidad global -otro mito importante. Más de diez países tienen ahora una potencia que alcanza más del 20 % de su demanda, liderados por Dinamarca que genera el 56 % de su electricidad con el viento, frente a un 43 % en 2016; Alemania, Países Bajos, Portugal, el Reino Unido y Uruguay son, entre otros, los países que generan alrededor de la tercera parte o más de su electricidad con el viento.

Estos países han demostrado que el mundo puede alcanzar entre un 40 y un 50 % de generación de electricidad con el viento, como lo señaló la WWEA en un escenario de un largo plazo.

Existen barreras para un desarrollo mayor: los mercados energéticos están aún fuertemente distorsionados por los subsidios de los combustibles fósiles, los cuales han alcanzado nuevas alturas en los dos últimos años. Eliminar estos subsidios es esencial para crear un nivel importante para llegar a emisión cero con renovables.

Otro gran obstáculo es el tiempo que se consume para aprobar y planear los procedimientos. Como señaló la WWEA hace varios años, son más de cinco años el tiempo promedio de los procesos de planeación y aprobación—en algunos países diez años o más. Este proceso debe llevarse a un periodo de tiempo razonable; en circunstancias normales, dos años debe ser suficiente.

Una buena inserción de la comunidad es otro prerrequisito para un crecimiento más rápido, las personas de la localidad constituyen un factor clave, pues pueden convertirse en factores activos del desarrollo de la energía eólica; mientras que la falta de una buena inserción de la comunidad puede frenar o eliminar proyectos eólicos. Una nueva tendencia es que un incremento del número de jurisdicciones ha comenzado a establecer normas legales para este propósito.

II. Desarrollo

La energía eólica en Cuba

En Cuba, la capacidad instalada en parques eólicos conectados a la red era, a fines de 2017, de 11,7 MW (figura 3). Cuatro parques eólicos se encontraban en operación en el país: Turiguanó (0,45 MW), Los Canarreos (1,65 MW), Gibara 1 (5,1 MW) y Gibara 2 (4,5 MW).

El primer parque eólico (Turiguanó) se encuentra fuera de operaciones por roturas irreversibles. El último de ellos se instaló a fines de 2010. Está compuesto por seis turbinas eólicas Goldwind 750 kW. Esta nueva capacidad instalada

representó un crecimiento de 61,5 % en 2010 con respecto al año anterior, por lo que Cuba ocupó en ese año, el lugar 58 en el ranking mundial de la Asociación Mundial de Energía Eólica; hoy ocupa el lugar 81 (Moreno *et al.*, 2017).

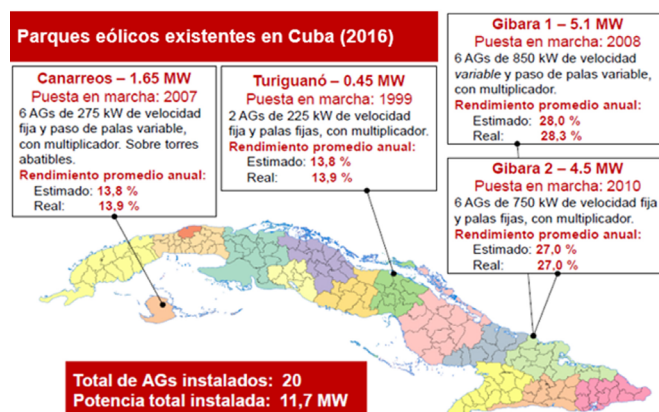


Fig. 3. Parques eólicos en operación en Cuba (Moreno, 2017).

Conociendo que el factor de capacidad (FC) es un indicador de la operatividad y efectividad de un parque eólico, se toma como representativo del grado de funcionabilidad de los cuatro parques eólicos manejados por la Unión Eléctrica (UNE). Cuando en 2008 comenzaron a funcionar los parques eólicos operados por la Unión Eléctrica, el factor de capacidad rozaba el 28 %. Hoy por hoy no llega al 6 % (Angulo, 2024).

Este factor de capacidad está vinculado, principalmente, con el comportamiento del recurso eólico y la complementariedad con la turbina eólica, pero, además, en estos valores se han incluido factores tales como: la disponibilidad de los aerogeneradores y la operatividad de la red eléctrica donde se evacua la energía que produce el parque eólico (Rodríguez, Burgos, Arnalte, 2003).

En particular, en los parques eólicos cubanos, las causas de las paradas han sido múltiples, las que más han influido, según Piferrer (2013), Grupo de la política (2013) y Jiménez (2016), han sido:

- Problemas en el sistema eléctrico (básicamente en la red eléctrica)
- Labores de operación y mantenimiento
- Problemas de origen ambiental (corrosión, descargas eléctricas)
- Problemas en el sistema mecánico
- Problemas en el sistema de captación (rotor y aspas).

De manera general, se puede decir que una inadecuada gestión tecnológica y problemas financieros han impactado negativamente en el rendimiento de los parques eólicos de la UNE donde se incluyen los dos que son objeto de estudio en este trabajo (Angulo, 2024).

Las labores de operación y mantenimiento han influido notablemente en las paradas de los parques. Estos mantenimientos han sido, por lo general, correctivos y, en menor medida, preventivos. Esto se confirma a partir de los tiempos desde que se produce la avería hasta que se detecta y, finalmente, se subsana.

Como ya se mencionó, en estos problemas influye sensiblemente la falta de recursos financieros para el mantenimiento y la carencia de piezas de repuesto para solucionar las averías. Desde hacía casi 10 años prácticamente no se compraban piezas de repuesto, hasta que recién, en este año 2024, se recibió un financiamiento que permitirá recuperar el parque eólico Gibará 1 en un tiempo breve.

Seguidamente, se exponen algunos de los factores que han influido en la baja disponibilidad de los parques eólicos cubanos y en particular en los parques eólicos de Gibara (Piferrer, 2013).

Cuando el parque eólico Gibara 1 comenzó a funcionar, se observó que componentes del sistema, es decir, las tarjetas eléctricas y electrónicas y los sensores se dañaban con frecuencia por el salitre. Es lógico que presente una alta agresividad de la corrosión, pues se ubica en paralelo a una zona costera ubicada en el norte del país, separado por unos 200 m del mar (distancia promedio estimada).

Normalmente, las zonas costeras de hasta 1 km de distancia del mar, sin el efecto de apantallamiento, presentan un alto y extremo nivel de agresividad corrosiva constante en el tiempo. Se reporta que la costa norte presenta un nivel de agresividad mayor que la costa sur. Este efecto se debe a que la dirección predominante del viento en Cuba es del noreste (Piferrer, 2013).

En este caso, la solución fue sencilla, pero muy funcional. Consistió en cortarles el paso a las partículas corrosivas con la instalación de un filtro con malla en las ventanas que se lava periódicamente. Con la aplicación de este sencillo método se ha podido detectar un mejor comportamiento de estos circuitos frente a una elevada agresividad corrosiva como la que se ha comprobado en la tecnología (figura 4).



Fig. 4. Malla colocada para filtrar el aire que entra en el interior del aerogenerador (Piferrer, 2013).

En el parque eólico Gibara 2 han influido las fallas por baja presión del aceite en el sistema mecánico relacionado con el grupo hidráulico, lo que ha influido en los variados sistemas en que este incide, como el freno mecánico del eje rápido después de la caja multiplicadora. Este sistema hidráulico presenta defectos de fábrica que se detectaron desde su operación inicial. También, falló el servicio de un generador y no se ha recuperado, por lo que una turbina no está funcionando (Infante *et al.*, 2021), (Arbella, Trinchet, & Mora, 2021).

En general, en ambos parques eólicos ha incidido, con mucha frecuencia, las fallas en la red eléctrica cuando ocurren faltas de fluido eléctrico en la red, en las líneas de evacuación que los inutilizan y provocan la parada. Se agrega que la resina de la envoltura de las palas ha sido dañada por descargas eléctricas, fenómeno que afecta habitualmente los parques eólicos por el alto riesgo de impacto directo del rayo, debido a la altura y ubicación de las instalaciones.

Estos daños también se solucionan. La primera reparación se ejecutó por contrato con una compañía extranjera. Las posteriores se realizan en los Astilleros de Gibara donde hay una amplia experiencia en el uso del poliéster reforzado con la resina de vidrio.

Hoy funcionan nueve de las doce máquinas. En el Gibara 1 están fuera de servicio dos, principalmente, por fallas en las aspas debido a desgastes por el paso de los años y fatigas por el efecto de los ciclones y en el Gibara 2 la ya señalada por salida de servicio del generador.

Innumerables han sido las soluciones sencillas y complejas ejecutadas por los propios ingenieros y técnicos de ambos parques, las que han evitado roturas de largo plazo o han ahorrado amplias sumas de dinero por concepto de importación. La mayor parte de las reparaciones han sido de carácter correctivo.

Problemas de carácter general que han incidido en la baja disponibilidad de los parques eólicos en operación (Grupo de la política, 2013):

- Insuficiente capacitación de operadores y operarios de mantenimiento.
- Inexistencia de planes de mantenimiento en el que se incluyan actividades de carácter preventivo, han prevalecido las acciones correctivas tras fallos pronosticables.
- Desaprovechamiento de la información captada por los sistema de control de los aerogeneradores (SCADA), falta de retroalimentación a la ingeniería de sus registros y resultados, lo que afecta el los procesos de mejora continua y de diseño de los futuros proyectos desde las ideas iniciales.
- Lentitud en la corrección de averías, muchas veces, por faltar repuestos, lo que provoca que se dependa de la iniciativa y conocimientos de los operadores y causa sensibles pérdidas de disponibilidad.
- Inexistencia de una entidad encargada de la operación y mantenimiento, que aproveche las experiencias alcanzadas y los procedimientos que se han establecido y adaptado a las normas y procedimientos internacionales de la industria eólica,
- Limitada participación de la industria nacional en la producción de partes y componentes, lo que afecta la disminución de los costos de inversión, de operación y mantenimiento, así como disminución del tiempo de parada.

Parques eólicos en el plan de desarrollo

En el año 2014 fue aprobada por el Consejo de Ministros y por la Asamblea Nacional del Poder Popular, la Política para el Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables de Energía y el Uso Eficiente de la Energía en Cuba.

El programa contemplaba, en sus inicios, la puesta en marcha de 13 parques eólicos en 2030 (Tabla 1) con una potencia total instalada de 633 MW. Se estimaba que la generación de electricidad alcanzaría 1968 GWh/año, lo que representaría el 6 % de la demanda eléctrica de ese año. Esta generación evitaría el consumo de 540 millones de toneladas de combustible y evitaría 1,67 MMton CO₂ por año (figura 5).

Tabla 1. Parques eólicos que se preveían desarrollar en el Programa de Desarrollo hasta el 2030

Parque Eólico	Provincia	Municipio	Cantidad AGs de 1.5 MW	Potencia a instalar (MW)
La Herradura-1	LTU	J. Mndez.	34	51
La Herradura-2	LTU	J. Mndez.	20	51
Río Seco	HLG	Banes	34	51
Turiguano Norte	CAV	Morón	34	51
Cabo Lucrecia	HLG	Banes	34	51
Gibara-3	HLG	Gibara	34	51
Jigüey-1	CMG	Esmeralda	34	51
Punta de Mulas	HLG	Banes	34	51
Nuevas Grandes	LTU	Manatí	34	51
Punta del Fraile-1	GTM	Maisí	34	51
Punta del Quemado-1	GTM	Maisí	34	51
Punta del Fraile-2	GTM	Maisí	24	36
Punta del Quemado-2	GTM	Maisí	24	36
Totales			408	633

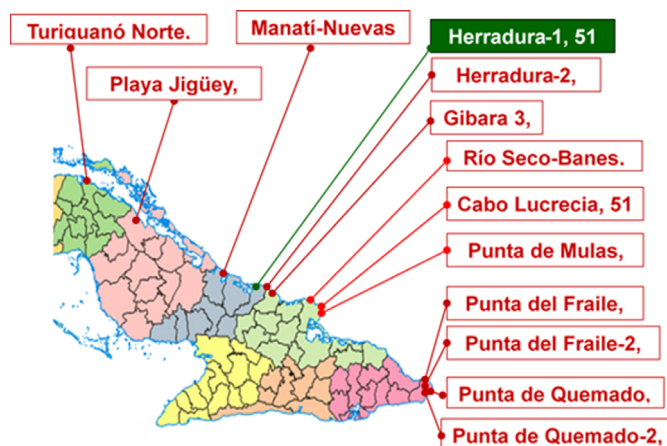


Fig. 5. Ubicación de los 13 parques eólicos a desarrollar hasta el 2030.

De estos 13 parques eólicos planificados en esos inicios, la aspiración se ha reducido a dos en este año 2024: el Herradura 1 en Las Tunas y el Río Seco en la provincia de Hol-

guín, debido, fundamentalmente, a problemas financieros y estructurales internos.

El Herradura 1 se anunció en el 2013 y en sus inicios contemplaba 34 aerogeneradores para generar, de conjunto, 51 megawatt; así que sería mucho mayor que los parques eólicos de Gibara, los primeros de Cuba, a 40 kilómetros al este, en la provincia de Holguín. Gibara 1 y Gibara 2 entraron en operación en los años 2008 y 2010 respectivamente con un total de 9,6 megawatt generados por 12 aerogeneradores de 50 metros de altura.

En 2022 se informaba que, en esta primera etapa de ejecución del proyecto, se había recibido del fabricante, mercancías correspondientes a 22 aerogeneradores y sus componentes, 34 virolas, 34 juegos de palas y 320 postes eléctricos centrifugados. Es decir, la mayor parte de los recursos necesarios están disponibles en Cuba hace años, pero ha sido la falta de recursos económicos la causa fundamental de retrasos para el completamiento de la obra civil, dígame, los viales, las cimentaciones, las redes y la subestación eléctrica, entre otras.

Para el completamiento de los suministros se requería en esos momentos la importación de: el sistema de control de los aerogeneradores (SCADA), AVC (compensación de potencia reactiva), la plataforma de administración de energía, el empalme de fibra óptica, los cables de interconexión entre las unidades, las celdas de media tensión, el aislamiento, los conductores y herrajes para las líneas de interconexión al Sistema Electroenergético Nacional, las pinturas anticorrosivas para cinco bases, las pinturas impermeabilizantes para ocho bases, las herramientas especiales para instalación, así como la asistencia técnica y el alquiler de grúa para el montaje.

Herradura 1 sería financiado con un crédito estatal chino que incluía la transferencia de tecnología desde ese país y debía estar operativo en 2018. Ya en estos momentos cuenta con financiamiento del gobierno cubano y se pretende ponerlo en marcha en 2025, con los 22 aerogeneradores que están in situ.

El parque eólico Río Seco, en la provincia de Holguín, está en construcción con crédito operativo de la India. El proyecto tendrá una potencia nominal de 50 megawatt y está en fase inicial de construcción. Ya se comenzaron las obras en el vial que conducirá hasta el futuro parque eólico.

Resultados y discusión

Los resultados del análisis anterior indican los grandes retos que tiene que enfrentar la energía eólica, en el mundo, en general, y en Cuba, en particular. Se puede generalizar que la gran barrera que enfrenta esta fuente, en el mundo, y las renovables, en general, son los subsidios de la electricidad con combustibles fósiles. Es necesario eliminarlos para crear condiciones que aceleren la implementación de los parques eólicos, tanto en tierra como en mar y así influir, significativamente, en la eliminación de emisiones a la atmósfera.

Los otros retos generales son: disminuir a dos años como máximo el tiempo de planeación y aprobación de los procesos de construcción y puesta en marcha de parques eólicos e incrementar la inserción de los miembros de la comunidad en los procesos de implementación y aprobación de las instalaciones eólicas.

Además de estos, los puntos claves son, precisamente, los puntos débiles que limitan el desarrollo de la energía eólica: el costo de la energía producida por esta fuente, la garantía del suministro de la energía generada, la reciclabilidad, el impacto visual, la percepción social y la logística.

La reducción del costo de generación viene aparejada con el aumento del tamaño de las máquinas y su altura. La garantía del suministro de la energía se relaciona con la necesidad de herramientas de predicción más precisas y las soluciones de almacenamiento de energía de gran escala. La reciclabilidad se deriva de la obtención de nuevos materiales que permitan que, al final de su vida, no constituyan una fuente contaminante del medio.

Por su parte, la reducción del impacto requiere que en el terreno no se instalen gran cantidad de aerogeneradores que afecten el paisaje, por lo que se debe evitar la instalación de estas tecnologías en zonas de alto valor paisajístico y contribuir al desarrollo de máquinas de mayor potencia. La reducción de los problemas logísticos está asociada con la necesidad de solucionar problemas de infraestructuras de transportación (carreteras, equipos de transporte e izaje, etc.) además de máquinas de menor peso y tamaño específico.

Mientras que en la reducción de los costos de generación también debe trabajarse en la disminución del costo específico de los aerogeneradores, la reducción de los costos de instalación, los costos de O y M, mejoras en el rendimiento de la transformación y una mejora de la disponibilidad.

Debe trabajarse en la búsqueda de nuevos materiales:

- para las palas, fibra reforzada y materiales básicos tipo sándwich con vistas a mejorar las propiedades mecánicas, reducir el peso específico, reducir los tiempos de fabricación y los costos de producción
- nuevos revestimientos con mayor resistencia a la erosión, mejores características de auto limpiado y protección contra los rayos ultravioletas
- nuevos aceros, con mejores propiedades para la torre y estructuras de soporte y técnicas relacionadas con la soldadura
- nuevos tipos de hormigón, con mejores características, para fabricar cimentaciones mono pilares, de gravedad para aplicaciones marinas profundas
- mejora de técnicas de fundición: hierro dúctil libre de escoria y estructuras ligeras de material compuesto para sustituir los componentes de hierro fundido
- nuevos perfiles aerodinámicos para el incremento de la eficiencia de la transformación de la energía del viento en energía mecánica o eléctrica, nuevos diseños de palas con nuevos materiales para reducir el ruido, velocidad variable, más eficiente, con nuevos generadores y nuevos convertidores.

Deben mejorarse las tecnologías mecánicas con:

- trenes de potencia con varias salidas para reparto de par en varios generadores
- cajas con engranajes helicoidales de evolvente ovoide para distribución de cargas
- sistema Windrive de convertidor hidrodinámico de par para regulación de velocidad variable hasta 10 MW

- sistema GyroTorque limitador de fluctuaciones del par motor y que permite la regulación de la velocidad variable
- nuevas tecnologías dirigidas a reducir el peso y el costo de inversión y O y M
- reducir las etapas de multiplicación.

Las tecnologías deben simplificarse con la integración del tren de potencia, diseños sin caja multiplicadora, generadores de imanes permanentes, estrategias de regulación pasiva, orientación libre a sotavento y diseños de fácil montaje y desmontaje. También las innovaciones deben centrarse en la reducción del impacto ambiental con:

- diseños reciclables a través del empleo de nuevos materiales
- la reducción del ruido acústico con la introducción de nuevos perfiles aerodinámicos, con nuevos diseños de punta de pala y velocidad variable
- la reducción del impacto visual con el aumento de la potencia de los aerogeneradores y diseños estéticos e integrados al paisaje.

Debe proyectarse el desarrollo de aerogeneradores para nuevos mercados, dirigidos a: altos y bajos vientos, sitios con orografía compleja, aplicaciones marinas offshore, aerogeneradores de pequeña potencia, aplicaciones aisladas de la red como sistemas eólico-diésel, desalación de agua de mar, producción de hidrógeno, integración a edificios.

En Cuba, a estos retos de carácter global, se suman los propios del país, característicos del proceso político-social que, además de ser lentos como en todo el mundo, están afectados por problemas puramente financieros. Algunos de estos retos locales han sido citados ya y pueden resumirse como sigue:

- insuficiente capacitación de operadores y operarios de mantenimiento
- inexistencia de planes de mantenimiento con actividades de carácter preventivo
- desaprovechamiento de la información captada por los SCADA, y la retroalimentación a la ingeniería de sus registros y resultados
- lentitud en la corrección de averías por falta de repuestos
- necesidad de una entidad encargada de la operación y mantenimiento que aproveche las experiencias alcanzadas y los procedimientos que se han establecido y adaptado a las normas y procedimientos internacionales de la industria eólica
- producción de elementos partes y componentes por la industria nacional
- diseño de medidas de estímulo aplicables a inversiones extranjeras para desarrollar y operar parques eólicos y para crear estructuras de servicios especializados.

III. Conclusiones

En general en el mundo, las principales barreras para el desarrollo eólico están relacionadas con los subsidios a los combustibles fósiles, los largos tiempos para los procesos

de planeación y aprobación de los permisos necesarios y la centralización existente, sin el involucramiento de los gobiernos y la población local.

En el caso de Cuba, se llega a la conclusión de que, independientemente de la falta de recursos financieros que entorpece el normal comportamiento de los parques eólicos, el sistema está carente de un amplio proyecto de I + D + i, con el objetivo general de mejorar las prestaciones de los parques eólicos cubanos, que priorice la formación de recursos humanos y fortalezca las capacidades estructurales para el aprovechamiento de la energía eólica en la generación de electricidad.

Se necesita investigar las posibilidades de uso y fabricación de aerogeneradores de mediana potencia por las potencialidades que presentan para el país en la generación distribuida, por su tamaño, versatilidad y experiencia en su uso y explotación, así como que se contemple la formación, a través de cursos de ciclo corto, de recursos humanos listos para la instalación, operación y mantenimiento de instalaciones eólicas.

Es necesario el fortalecimiento de las capacidades locales para el aprovechamiento de la energía eólica, tomando como caso de estudio Gibara, a partir del fortalecimiento de las capacidades de gestión tecnológica para elevar el rendimiento; la realización de campañas de medición para el pronóstico de generación eólica con una red de medición a 100 m de altura; así como el diseño de un nuevo modelo organizativo, de un modelo de mantenimiento y de una herramienta informática para la gestión del mantenimiento, según las especificidades de sus parques eólicos y que se puedan extender a otras zonas de desarrollo.

IV. Referencias bibliográficas

- Angulo, P. (2024, 18-21 de junio). *Proyecto Resiliencia energética mediante el desarrollo de la tecnología eólica para la generación de electricidad*. IV Convención y Exposición de la Industria, CUBAINDUSTRIA 2024, La Habana, Cuba.
- Arbella, Y., Trinchet, C.A & Mora, C. (2021). Monitoreo de condición en las turbinas de viento del parque eólico Gibara II aplicando métodos de la industria 4.0. *RILCO*, Año 5, (46). <https://www.rilco.org/wp-content/uploads/2022/02/memoria10.pdf>
- Infante, A. *et al.* (2021). Evaluación de los costos de operación, mantenimiento y de parada de los parques eólico de Gibara, Holguín, *Polo del conocimiento, Revista Científico-Académica Multidisciplinaria*, 6 (1). <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2225/html>
- Jiménez, C. (2016). *Análisis de fallos en parques eólicos*. [Trabajo de fin de grado], Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/51097>
- Moreno, C. *et al.* (2017), *Doce Preguntas y Respuestas sobre Energía Eólica*. Vol. 2. La Habana: Editorial Cubasolar, p. 288.
- Pilferer, J. (2013, 3-5 de junio), *Influencia de los parámetros ambientales agresivos sobre el parque eólico de Gibara*. XII Conferencia Mundial de Energía Eólica, La Habana, Cuba.
- REN21's Renewables Global Status Report (2024). <https://www.ren21.net/gsr-2024/>
- Rodríguez, J.L., Burgos J.C & Arnalte, S.(2003). *Sistemas eólicos de producción de electricidad*. Madrid, España: Editorial Rueda.
- Trinchet, C.A., Arbella, Y. & Batista, L. (2023). Mejoras a la disponibilidad técnica en parques eólicos, *RILCO*. Año 5, (46). https://www.rilco.org/wp-content/uploads/2024/02/Memoria_12_Congreso.pdf
- WWEA Annual Report 2023. <https://wwindea.org/AnnualReport2023>

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses vinculado con la investigación presentada.

Contribucion de los autores:

Conceptualización, curación de datos; análisis formal: Conrado Moreno Figueredo, José Augusto Medrano Hernández

Investigación, metodología: Conrado Moreno Figueredo, José Augusto Medrano Hernández y Jorge Líder Macías Ramos

Supervisión: Conrado Moreno Figueredo

Redacción-borrador original: Conrado Moreno Figueredo, José Augusto Medrano Hernández y Jorge Líder Macías Ramos

Redacción-revisión y edición: Conrado Moreno Figueredo

Recibido: 12 de julio de 2024

Aceptado: 5 de agosto de 2024