**II Conferencia Internacional en Desarrollo Energético Sostenible**

**Título**

**Avances tecnológicos y perspectivas de la energía eólica. Retos para Cuba**

***Title***

**Technological advances and perspectives of wind energy. Challenges for Cuba**

1. Conrado Moreno Figueredo, Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables, CETER, Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría, CUJAE, Cuba, E-mail: conrado@ceter.cujae.edu.cu
2. José Augusto Medrano Hernández, Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables, CETER, Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría, CUJAE, Cuba, E-mail: jmedrano@ceter.cujae.edu.cu

**Resumen:** El presente trabajo tiene como objetivo presentar la situación de la energía eólica en el mundo de hoy a través de una revisión de los artículos y bases de datos más actualizadas. El estado actual de la tecnología y lo que debe hacerse para aumentar la capacidad instalada en el mundo y en Cuba y cuáles son los retos. Se presenta la contribución de la energía eólica para el 2030 en el mundo y en Cuba. 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. El desarrollo de nuevos aerogeneradores para los nuevos mercados y las tecnologías del futuro. Se presentan los planes de desarrollo de la energía eólica en Cuba para el 2030 y sus retos.

***Abstract:*** The present work aims to present the situation of wind energy in today's world through a review of the most up-to-date articles and databases. The current state of technology and what must be done to increase installed capacity in the world and in Cuba and what the challenges are. The contribution of wind energy is presented for 2030 in the world and in Cuba. Trends in the development of wind technology and future designs. The evolution of technology and the objectives of new developments. The development of new wind turbines for the new markets and the technologies of the future. The development plans of wind energy in Cuba for 2030 and its challenges are presented.

**Palabras Clave:** energía eólica, aerogeneradores, tecnologías.

***Keywords:*** wind power, wind turbines, technologies.

**1. Introducción**

Es ineludiblemente necesario reducir el consumo de combustibles fósiles tanto en todo el mundo como en Cuba con el fin de:

* Reducir las emisiones de gases efecto invernadero y frenar el cambio climático
* Reducir los riesgos de la garantía de suministro
* Reducir la dependencia energética desde el exterior
* Reducir el costo de la energía generada

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

Actualmente Cuba se encuentra inmersa en la búsqueda de soluciones para cambiar la matriz energética en el 2030 pasando de una participación de las fuentes renovables de energía de un 4% en la producción de electricidad a un 24 % en ese año. De aquí que un estudio de los avances tecnológicos y de las perspectivas de la energía eólica en el mundo y en Cuba sea de entrada una necesidad para una proyección futura acertada.

**2. Metodología**

Para la realización de este trabajo se empleó el método histórico-lógico dirigido a descubrir mediante una rigurosa y profunda búsqueda informativa los trabajos que sobre la actualidad de la energía eólica en el mundo y en Cuba se encuentran a disposición. La búsqueda de los problemas que arrastra la energía eólica en estos momentos y las soluciones que se encuentran en investigación y desarrollo fueron analizadas sobre la base de la literatura existente.

Para el trabajo se estudiaron los escenarios para los niveles de penetración de la energía eólica en la matriz energética de los próximos 35 años. Teniendo en cuenta la tendencia de instalaciones desde 1971 sobre la base de estudios llevados a cabo por la IEA y el WEC la electricidad total producida estará entre los 40000 y 74000 TWh en el 2050. De acuerdo con la evaluación de la Asociación Mundial de Energía Eólica (WWEA) la generación de energía eólica puede estar 8000 TWh y 74000 TWh. Estas diferencias están acorde con diferentes escenarios de desarrollo (Bajo, Medio y Alto). De acuerdo a lo anterior el rango de potencia instalada en el 2050 se encontrara entre 4 TW y 16 TW. La capacidad actual instalada es de 0,40 TW aproximadamente. Por tanto, para 2050 en un escenario bajo y conservador se espera un incremente de unas 10 veces mientras que en un escenario optimista se espera un aumento de unas 40 veces. En un escenario medio pudiera alcanzarse un incremento de 25 veces el actual, es decir, 9,8 TW.

**3. Resultados y discusión**

## 3.1. Desarrollo de la energía eólica en el mundo

El crecimiento exponencial del desarrollo de la energía eólica en el mundo, particularmente en los últimos años, ha llevado a esta fuente a ocupar un lugar prominente en el sector energético. El desarrollo tecnológico y la innovación en el diseño y la fabricación en las turbinas eólicas han traído como resultado el despliegue de parques eólicos de gran escala en la tierra (parques eólicos terrestres) y un acelerado desarrollo de los parques eólicos fuera de costa o marítimos. Hoy, de acuerdo con la Asociación Mundial de Energía Eólica y otras fuentes como el reporte anual REN212017, esta energía contribuye con 4 % en la generación de electricidad mundial, y se explota en más de cien países. Las modernas turbinas eólicas han hecho posible la transición de una tecnología sin alto valor a una opción de forma de generación de electricidad de las más apreciadas. Los elementos que más han influido a este mejoramiento de la tecnología, la innovación y el despliegue mundial de esta fuente de energía lo han sido la seguridad energética, el cambio climático y el acceso energético, a la vez que el desarrollo de nuevos empleos y los aspectos económicos han añadido beneficios. En la Figura. 1.9 se puede apreciar el desarrollo de la energía eólica en cuanto a capacidad acumulada hasta 2016 de acuerdo con el Reporte Global Anual Renewables 2017 de REN21 (Fig. 1.).



Fig. 1. Capacidad instalada en parques eólicos (2005-2016), en GW. (Fuente: REN21).

Ya en 2018 la capacidad total instalada alcano los 565 Gigawatt de acuerdo con la estadística preliminar de la Asociación Mundial de Energía Eólica de este año. En el 2018 fueron añadidos cerca de 50 GW algo similar al pasado año 2017. Todas las turbinas instaladas hasta finales del pasado año cubren más del 5% de la demanda mundial de electricidad. Para muchos países la energía eólica se ha convertido en un pilar de sus estrategias de eliminar los combustibles fósiles y la energía nuclear. Dinamarca implanto un nuevo record con un 43% de su energía proveniente de la energía del viento. Un creciente número de países han alcanzado la participación de dos dígitos con energía eólica donde se incluyen Alemania, Irlanda, Portugal, España, Suecia y Uruguay.

China, que es el mayor mercado eólico, instalo una capacidad adicional de 10 Gigawatt algo menor que en 2016 aunque continua en esa posición de líder sin discusión en el marco eólico mundial. Junto a la eólica desarrolla también la energía solar con gran intensidad haciendo así de las renovables su principal fuente de energía en el futuro.

Los principales mercados en el 2017, además de China fueron:

USA……………………………6,8GW/90GW (añadió 6,8 GW y acumula 90 GW)

Alemania…………………… 6,1GW/56GW

India……………………………4,6GW/32,9GW

Reino Unido……………………3,3GW/17,9GW

Brasil………………………… 2GW/12,8GW

Francia…………………………. 1,7GW/13,8GW

Basado en el actual desarrollo, la WWEA ha revisado sus pronósticos para el futuro crecimiento global de la capacidad eólica. Para finales de 2020, por lo menos 700 000 MW se esperan a nivel mundial. Para el 2030, una capacidad global de 2 000 000 MW es posible.

En Cuba, la capacidad instalada en parques eólicos conectados a la red era a fines de 2017 de 11,7 MW. Cuatro parques eólicos se encuentran en operación en el país: Turiguanó (0,45 MW), Los Canarreos (1,65 MW) y Gibara I (5,1 MW). El último de ellos se instaló a fines de 2010, el parque eólico Gibara I 2, de 4,5 MW. 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 2010 el lugar 58 en el *ranking* mundial de la Asociación Mundial de Energía Eólica; hoy ocupa el lugar 81.

El programa contempla la puesta en marcha de 14 parques eólicos en 2030 con una potencia total instalada de 656 MW. Se estima que la generación de electricidad alcanzará 1968 GWh/año, lo que representará el 6 % de la demanda eléctrica de ese año. Esta generación evitará el consumo de 540 millones de toneladas de combustible y evitará 1,67 MMton CO2 por año.

**3.2. Potencia y diámetro del rotor actual de los aerogeneradores**

En Europa están en el mercado aerogeneradores de 2-6 MW con rotores de 80-140 metros de diámetro. A nivel de prototipo se ubican autogenerados de 6-10 MW con diámetros de 140-180 metros

En los Estados Unidos se comercializan aerogeneradores de 2-3 MW de 80-100 metros de diámetro de rotor y prototipos de 2-5 MW

En Asia, a nivel comercial hay aerogeneradores de 2-3 MW con 80-100 metros de diámetro y prototipos de 5-6 MW

**3.3. Soluciones para seguir aumentando la capacidad instalada de energía eólica**

Los puntos claves son precisamente los puntos débiles que limitan el desarrollo de la energía eólica. Estos son fundamentalmente el costo de la energía producida por esta fuente, la garantía del suministro de la energía generada, en 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 la vida no constituyan un elemento contaminar. La reducción del impacto requiere que en el paisaje no se instalen gran cantidad de aerogeneradores por lo que el desarrollo de máquinas de mayor potencia es un aspecto a continuar desarrollando además de evitar la instalación de estas en zonas de alto valor paisajístico. La reducción de los problemas logísticos viene unida a la necesidad de la solución de infraestructuras de transportación (carreteras, equipos de transporte e izaje, etc.) además de máquinas de menor peso y tamaño especifico.

En la reducción de los costos de generación también debe trabajarse en la reducción del costo especifico 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 como 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
* Desarrollo de nuevos revestimientos con mayor resistencia a la erosión, mejores características de auto limpiado y protección contra los rayos ultravioletas
* Desarrollo de nuevos aceros con mejores propiedades para la torre y estructuras de soporte y técnicas relacionadas con la soldadura
* Desarrollo de 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

El incremento de la eficiencia de la transformación de la energía del viento en energía mecánica o eléctrica lleva aparejado la obtención de nuevos perfiles aerodinámicos, nuevos diseños de palas con nuevos materiales y reducción del 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 hasta10 MW
* Sistema GyroTorque limitador de fluctuaciones del par motor y permite la regulación de la velocidad variable
* Estas nuevas tecnologías deben ir dirigidas a reducir el peso y el costo de inversión y O y M
* Reducción de 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 deben moverse las innovaciones a 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 aumentando 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 hidrogeno entre otras
* Integración a edificios

**3.4. Retos de la tecnología eólica en Cuba**

El reto más importante para el desarrollo de la energía eléctrica FV en Cuba es el relacionado con el financiamiento, por ello es sumamente importante tener en cuenta los costos reales actuales y su evolución en el tiempo, con vistas a definir una estrategia, paulatina y sostenida, de poder ir aumentando las instalaciones y aplicaciones eólicas en la magnitud mayor posible. A este problema se le agregan los siguientes retos:

* Desarrollo de redes eléctricas para evacuación de la energía en zonas previstas
* Elaboración de planes de mantenimiento eficientes
* Elaboración y desarrollo de planes capacitación de operadores y operarios de mantenimiento
* Realización de estudios científicamente fundamentados sobre los impactos sobre la flora y la fauna
* Implementación de programas de investigación sobre las condiciones Ingeniero-Geológicas e Hidrogeológicas de las regiones de emplazamiento de parques eólicos**.**
* Elaboración de pronósticos específicos para las zonas de los parques eólicos, relacionados con los vientos extremos de huracanes, tormentas locales y tornados, son los mayores riesgos para aerogeneradores y parques eólicos
* Investigación sobre posibles inundaciones costeras por marejadas de tormentas causadas por huracanes y otros eventos estacionales que provoquen penetraciones del mar en algunas zonas de interés
* Implementación del diseño de protecciones con alta seguridad contra rayos al diseñar las protecciones de los aerogeneradores
* Estudio de conjunto con el IPF sobre los futuros parques eólicos para su ubicación en sitios alejadas de zonas de interés para el turismo internacional, evitando interferencias visuales o ruidos que afecten al atractivo paisajístico u otros.
* Desarrollo de infraestructuras portuarias, carreteras y vías férreas, redes eléctricas, de telecomunicaciones y suministro de agua;
* Es imprescindible armonizar el crecimiento eólico propuesto para cada plazo con la evolución pronosticada de las demandas eléctricas, las capacidades de generación y de transferencia de las redes del SEN.
* Desarrollo de infraestructuras de telecomunicaciones ya que las zonas de emplazamiento de parques eólicos presentan problemas en este aspecto, en algunas son débiles y en otras no existen;
* Elaboración de planes que aseguren la disponibilidad de medios de transportación e izaje de aerogeneradores, no se poseen medios para manipular segura y eficientemente los componentes de grandes aerogeneradores.
* Problemas con la disponibilidad de áridos y otros materiales de construcción y su transportación a los sitios previstos
* Desarrollo de capacidades constructivas para evitar retrasos y otras insuficiencias en la preparación técnica de las obras por limitaciones de este tipo
* Desarrollo de la energía eólica para la generación distribuida
* Desarrollo de sistemas de almacenamiento de la energía: bombeo hidráulico, aire comprimido, baterías, hidrogeno

**4. Conclusiones generales**

Hoy la energía eólica ha alcanzado una penetración global de más de un 5% a nivel global. Asumiendo que en el 2050 se alcance una penetración de un 40% se llegarían a 16000 TWh de generación a partir de la energía eólica en el año 2050. Asumiendo un factor de utilización de 20% esto equivaldría a 9 TW. Tal capacidad de la energía eólica llevaría a alcanzar solo un 40% de los requerimientos de electricidad libres del sistema energético global con combustibles fósiles. Para llegar a un 100% con energías renovables se necesitaría una completa transformación de la red eléctrica y de otros cambios y esfuerzos en paralelo de conjunto con la energía solar, las opciones de redes inteligentes, eficiencia energética, mini y micro redes eléctricas, sistemas de almacenamiento y la bioenergía. Estas áreas son nuevas áreas emergentes de rápido crecimiento que son componentes altamente importantes en el sector energético.

En el Informe de la Asociación Mundial de Energía Eólica (WWEA) sobre Evaluación de Recurso Eólico se reporta un potencial mundial de la energía eólica de 95 TW basado esto en varios estudios nacionales y regionales.

Desde el lago de la tecnología se puede decir que esta tecnología es es madura pero se mantiene un dinámico y continuo desarrollo. Es necesario perfeccionar los mecanismos de operación y mantenimiento a largo plazo y no existen los suficientes centros de ensayo de aerogeneradores especializados en determinados sectores Aun no se conoce exactamente el límite de potencia que pueden alcanzar los aerogeneradores ni se conoce la máxima potencia que puede penetrar en la red. Es necesario profundizar en las nuevas aplicaciones que ya se presentan y que se aproximan en el futuro y que los gobiernos y empresas se introduzcan más en los temas de investigación pues no hay desarrollo sin investigación

**5. Referencias bibliográficas**

1. IPCC AR5 Report [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR AR5](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR%20AR5) LONGERREPORT.pdf
2. [http://www.ipcc.ch/publications and data/ar/wg3/en/ch1s1-3](http://www.ipcc.ch/publications%20and%20data/ar/wg3/en/ch1s1-3) html
3. IEA Wind 2017 Annual Report, July 2013, ISBN 0-9686383-7-9
4. Monthly Generation Report (Renewable Energy Sources) 2016¡7-2018, A CEA Report <http://wwe.cea.nic.in/reports/articles/god/renewable> energy.pdf
5. Bai Jianhua, “China´s experiences and Challenges in Large-scale Wind Power Integration”, State Grid Energy Reseach Institute, Regional Training Workshop on Large-Scale Wind Power Penetration, 23-26 Sep 2013, Beijing

[File://Users/apple/Google%20Drive/GRIDWWEA/Session%202.2\_Bai\_Jianhua\_EN-pdf](file://Users/apple/Google%20Drive/GRIDWWEA/Session%202.2_Bai_Jianhua_EN-pdf)

1. World Enegy Scenarios: Composing energy futures to 2050, World Energy Council 2013, [http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/World-Energy-Scenarios Composing-energy-futures-to-2050 Executive summary.pdf](http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/World-Energy-Scenarios%20Composing-energy-futures-to-2050%20Executive%20summary.pdf)
2. Paolo Franki, Head Renewable Energy Division, IEA, “World Renewable Energy: Outlook 2030-2050, Les energies renowvelables au service de l´humanité, CMRS-Ademe-Unesco, Paris, 3 October 2013
3. Technology Roadmap: Wind Energy 2013, IEA Report
4. REN21 2018. Renewables 2018 Global Status Report