

# Estado actual de la investigación sobre turbinas eólicas en Costa Rica

## The current state of research on wind turbines in Costa Rica

Gustavo Richmond-Navarro<sup>1</sup>, Gustavo Murillo-Zumbado<sup>2</sup>, Pedro Casanova-Treto<sup>3</sup>, Juan Francisco Piedra-Segura<sup>4</sup>

---

*Fecha de recepción: 23 de junio de 2018*

*Fecha de aprobación: 28 de setiembre de 2018*

Richmond-Navarro, G; Murillo-Zumbado, G; Casanova-Treto, P; Piedra-Segura, J. Estado actual de la investigación sobre turbinas eólicas en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32-2. Abril-Junio 2019. Pág 54-67.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i2.4349>

1 Ing. Electromecánico. Escuela de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: grichmond@tec.ac.cr

2 Meteorólogo. Escuela Física, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: gmurillo@tec.ac.cr

3 Ing. Mecánico. Instituto de Investigaciones en Ingeniería (IINI), Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: pedro.casanova@ucr.ac.cr

4 Ing. Electromecánico. Escuela de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica y Dirección de Proyectos Caja Costarricense de Seguro Social. Costa Rica. Correo electrónico: jpiedra@tec.ac.cr



## Palabras clave

Turbinas eólicas; Costa Rica; investigación; energía eólica.

## Resumen

Se presenta una revisión de literatura y el producto de entrevistas realizadas a los principales actores en el campo de las turbinas eólicas en Costa Rica. Luego de dar un panorama general del rol de la energía eólica en la matriz energética del país, se profundiza en los logros obtenidos en el campo de la investigación en la academia, centros de investigación y el sector empresarial.

En el campo académico, destaca la turbina eólica fabricada en el Instituto Tecnológico de Costa Rica en la década de 1990, un valioso antecedente por ser el primer aerogenerador fabricado en el país usando tecnología moderna. En cuanto a centros de investigación se brindan detalles del aerogenerador fabricado en Ad Astra Rocket entre 2012 y 2016. Dentro del sector empresarial se enfatiza en la SkyTwister, una turbina eólica que ha sido objeto de investigación y desarrollo por más de 10 años en Costa Rica y que ha recibido múltiples galardones a nivel nacional e internacional.

En síntesis, la investigación en el campo de turbinas eólicas se desarrolla únicamente por Carlos Acosta Nassar con la turbina SkyTwister, la empresa Interdinámica Energía y el Instituto Tecnológico de Costa Rica mediante el Laboratorio de Investigación en Energía Eólica (LIENE).

## Keywords

Wind turbines; Costa Rica; research; wind energy.

## Abstract

The result of some interviews made to the main actors in the wind turbines field in Costa Rica, as well as a literature review are presented in the current work. First, an outline of the roll of wind power in the national electrical power system is given, then, the achievements in wind energy research in the academic field, the research centers and the business sector are pointed out.

In the academic field, the wind turbine built in the 1990s at the Costa Rican Institute of Technology, points out, being the first aerogenerator manufactured in the country using modern technology. With regard to research centers, the details about Ad Astra Rocket's wind turbine, built between 2012 and 2016, are given. In the business sector, an emphasis is made on the SkyTwister, which has been subject of research and development in Costa Rica for more than 10 years and has received multiple awards nationally and internationally.

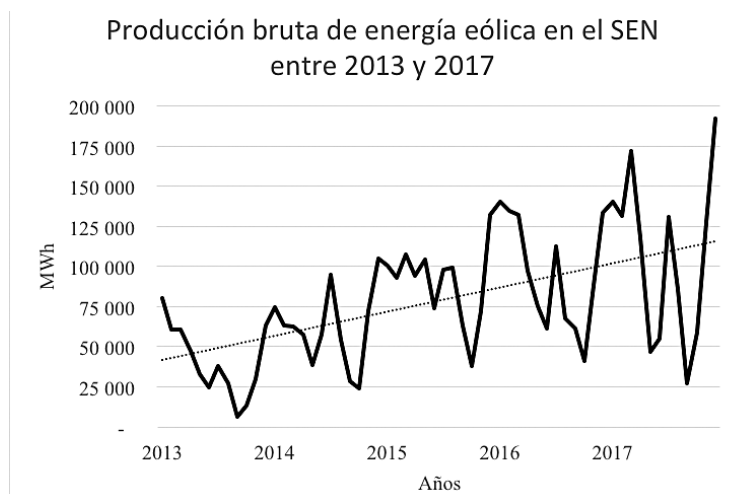
Summarizing, the current research in the field of wind turbines, is exclusively carried out by Carlos Acosta Nassar with the SkyTwister turbine, the company "Interdinámica Energía", and the Costa Rica Institute of Technology through its Wind Power Research Lab (known in Spanish as LIENE).

## Introducción

La República de Costa Rica es un país pequeño en superficie continental, con 51 100 km<sup>2</sup>, pero grande en el uso de energías renovables, en el 2016 su matriz eléctrica superó el 98% de generación renovable en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), con una amplia dominación

hidroeléctrica 74,35% y un 10,30% en eólica [1]. Según datos del Centro Nacional de Control de Energía Costa Rica (CENCE), la producción de energía eólica ha venido al alza en los últimos 5 años, tal como se muestra en la figura 1.

El país se ha posicionado como un destino turístico verde y se propuso en 2012, la ambiciosa meta de alcanzar la carbono neutralidad para el 2021, que posteriormente fue aplazada para el 2100 [2].



**Figura 1.** Producción de energía eólica en el SEN entre 2013 y 2017. Elaboración propia con datos de [3].

Para lograr estos objetivos, entre muchas otras acciones, Costa Rica se ha provisto de parques eólicos públicos y privados, según se detalla en el cuadro 1, siendo públicos los primeros tres de la lista; todos con turbinas eólicas diseñadas en el exterior.

Dentro de los planes de expansión [7] del principal actor en la generación y distribución de electricidad en Costa Rica, el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), se prevé que la capacidad instalada del conjunto de energías eólica + solar + bagazo pase de un 11% en 2015 a un 18% en 2035, refiriéndose a la matriz eléctrica del país. Este bajo crecimiento fue advertido por el Ing. Óscar Jiménez del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) en [8], específicamente en cuanto a solar y eólica; lo cual podría significar un desincentivo para la investigación en este tipo de energías.

Lo anterior se afirma sin desconocer los estudios recientes de penetración para la incorporación de energías renovables variables (particularmente solar y eólica), en donde por medio de simulaciones en estado estacionario y simulaciones dinámicas del SEN, se indica que para el 2018 se pueden añadir 100 MW adicionales de energía eólica, sin problemas de seguridad operativa. Esta potencia debe ser integrada en la zona norte de Guanacaste debido al recurso eólico disponible. Incluso, el SEN no presentaría problemas de estabilidad dinámica con una penetración instantánea superior al 70% de energías renovables variables para el 2024 [9].

En contraste con el crecimiento proyectado, el país inició ensayos técnicos y estudios de potencial eólico desde la década de 1970 [10] y de alguna manera se continúa a la fecha con el desarrollo de investigación en este campo.

En este artículo se detalla el rumbo que han tenido estas investigaciones y se brinda un panorama de los principales retos y desafíos a futuro. Se compone de 4 secciones: investigación en la academia, centro de investigación, sector empresarial y comentarios finales.

**Cuadro 1.** Parques eólicos en operación en Costa Rica

| Nombre               | Ubicación           | Turbinas     | Potencia (kW) por turbina | Potencia total (kW) | Fabricante            |
|----------------------|---------------------|--------------|---------------------------|---------------------|-----------------------|
| Tejona               | Tilarán, Guanacaste | 30           | 660                       | 19 800              | Vestas. Modelo V47    |
| Valle Central        | Santa Ana, San José | 17           | 900                       | 15 300              | Enercon, Modelo E44   |
| Coope Santos         | Los Santos*         | 15           | 850                       | 12 750              | Gamesa, Modelo G52    |
| Plantas Eólicas S.A. | Tilarán, Guanacaste | 58           | 410                       | 19 800              | Kenetech. Modelo VS33 |
| Aeroenergía          | Tilarán, Guanacaste | 9            | 750                       | 6400                | NegMicon. Modelo 750  |
| Tilawind             | Tilarán, Guanacaste | 7            | 3000                      | 20 000              | Vestas. Modelo V90    |
| MOVASA               | Tilarán, Guanacaste | 32           | 750                       | 20 000              | NegMicon. Modelo 750  |
| Vientos del Este     | Tilarán, Guanacaste | 3            | 3000                      | 9000                | Vestas. Modelo V90    |
| Mogote               | Bagaces, Guanacaste | 7            | 3000                      | 20 000              | Vestas. Modelo V90    |
| Altamira             | Tilarán, Guanacaste | 10           | 2000                      | 20 000              | Gamesa. Modelo G87/90 |
| Campos Azules        | Tilarán, Guanacaste | 10           | 2000                      | 20 000              | Gamesa. Modelo G87/90 |
| Vientos de Miramar   | Libería, Guanacaste | 10           | 2000                      | 20 000              | Gamesa. Modelo G87/90 |
| Vientos de La Perla  | Libería, Guanacaste | 10           | 2000                      | 20 000              | Gamesa. Modelo G87/90 |
| PE Guanacaste        | Bagaces, Guanacaste | 55           | 900                       | 49 700              | Enercon. Modelo E44   |
| Chiripa              | Tilarán, Guanacaste | 33           | 1500                      | 49 500              | Acciona. Modelo AW77  |
| Orosí                | Libería, Guanacaste | 25           | 2000                      | 50 000              | Gamesa. Modelo G80    |
| Totales              |                     | 331 turbinas |                           | 372.25 MW           |                       |

Fuentes: [4], [5].

Nota: La potencia total en algunos casos no es el producto de la potencia unitaria por la cantidad de aerogeneradores. Los datos se presentan como se tomaron de las fuentes respectivas. Según [6] en 2017 la capacidad llegó a 382 MW, lo que coincide con la suma simple del producto de la potencia unitaria por la cantidad de turbinas en cada parque.

\* Ubicado entre Desamparados, San José y El Guarco, Cartago.

## Investigación en la academia

La investigación académica en el campo de turbinas eólicas ha sido desarrollada por las principales universidades públicas: Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), Universidad de Costa Rica (UCR) y Universidad Nacional de Costa Rica (UNA). Tomando las primeras 20 universidades según el Ranking Nacional [11] para Costa Rica, se encuentra mediante consulta por diferentes medios, que actualmente en el resto de casas de enseñanza superior no se desarrollan investigaciones en este campo. Cabe mencionar que en el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) existe un Laboratorio de Generación de Energías Renovables, inaugurado en

septiembre de 2017, que cuenta con un sistema de generación de energía eólica compuesto por un aerogenerador en miniatura. El sistema está orientado a experimentar y simular escenarios, para adiestrar en diseño, instalación, operación y mantenimiento de proyectos [12]. Por otra parte en la Universidad EARTH se imparten cursos de capacitación en el tema de energías renovables, incluyendo la energía eólica [13].

### Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC)

En la década de 1980 existió el Centro de Investigaciones en Energía, adscrito a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE) del TEC. En 1990, la VIE inicia contacto con el ECN (Energy Research Centre of the Netherlands). Del ECN visita a Costa Rica el Dr. Hermanus (Herman) Snel en 1994, quien imparte varios cursos a nivel centroamericano y realiza, dentro del TEC, una caracterización del viento en el campus para posteriormente ajustar un perfil NACA<sup>2</sup> a esas condiciones. Con este insumo en el TEC se logra construir e instalar, sin la participación del Dr. Snel, un aerogenerador de eje horizontal, mostrado en la figura 2. Modelos adicionales de las aspas construidas fueron ensayados y fallados por carga estática en la misma institución. En 1996 finalizó la participación del Dr. Snel con el TEC [14]. De estos desarrollos no fue posible ubicar registros escritos. La turbina de la figura 2 fue descartada de la institución entre 2015 y 2016 según testimonio de varios funcionarios del Departamento de Administración de Mantenimiento del TEC.

Adicionalmente, se han generado en esta institución trabajos de graduación y otras publicaciones en el campo del mantenimiento de aerogeneradores, entre otros [15] y [16].

En la actualidad, el TEC posee el proyecto Skygrap: Visualización de vientos en Costa Rica (iReal 4.0) que pretende generar la primera visualización de los vientos del país, con filtros de tiempo y altura [17].

En el campo específico de la investigación en energía eólica y turbinas eólicas, se crea en 2018 el LIENE: Laboratorio de Investigación en Energía Eólica, que pretende desarrollar proyectos como caracterización y aprovechamiento del recurso eólico en zonas de bajo potencial eólico y alta turbulencia, enfocándose en turbinas de pequeña escala [18]. Este laboratorio tiene como antecedente algunas investigaciones, desarrolladas parcialmente en Costa Rica, en torno a modelos para la potencia extraíble de turbinas eólica tipo Magnus [19].

### Universidad de Costa Rica (UCR)

Según se indica en [10], “En la década de los setenta, la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica (UCR) realizó los primeros ensayos técnicos sobre la energía eólica al diseñar e instalar un aerotransductor en la Finca Experimental Fabio Baudrit en Alajuela”.

En julio de 2005, la UCR concluye la construcción del túnel de viento didáctico mostrado en la figura 3, con una sección de trabajo de 270 mm x 265 mm x 530 mm, un rango de operación de velocidades del viento entre 4 y 55 m/s y provisto de un motor de 5 kW [20]. Desde su construcción el equipo ha sido utilizado únicamente con fines didácticos y no se ha empleado para investigación [21].

2 National Advisory Committee for Aeronautics, en español, Comité Consejero Nacional para la Aeronáutica, agencia gubernamental de los Estados Unidos de Norteamérica.



**Figura 2.** Turbina eólica instalada en el TEC, cortesía de [14].



**Figura 3.** Túnel de viento diseñado y construido en la UCR<sup>3</sup>.

3 Cortesía del Ing. Juan Gabriel Monge Gapper. Laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la UCR (2006).

Por otra parte, el Laboratorio de Arquitectura Tropical de la UCR posee un túnel de viento del fabricante GUNT, el cual también ha sido utilizado principalmente con fines educativos, para estrategias y principios de ventilación en cursos de grado y maestría [22].

Recientemente, en 2017 la Escuela de Ingeniería Mecánica adquirió un túnel de viento con una sección de trabajo de 800 mm x 600 mm, con una velocidad máxima en el ducto de hasta 20 m/s y provisto de un motor de 30 kW que acciona un ventilado centrífugo [23]. Estaba previsto que el nuevo túnel entrara en operación durante el segundo semestre de 2018 [21], lo cual se ha prorrogado para el segundo semestre de 2019..

Se ha propuesto en esta institución, al menos en dos ocasiones (ver [24] y [25]), la construcción de otros túneles de viento que sean aptos para investigación.

En cuanto a investigaciones propiamente en el campo de turbinas eólicas, sólo se ubicó un proyecto registrado en la Vicerrectoría de Investigación de la UCR desde 1975 hasta la fecha [26], el cual fue desarrollado entre 2013 y 2015 [27] y posee publicaciones asociadas como [28] y [29]; las cuales versan sobre simulaciones computacionales del perfil aerodinámico S809. Se pueden mencionar otros proyectos sobre el recurso eólico, registrados en la misma Vicerrectoría, uno desarrollado en 1995 [30] y otro llevado a cabo entre 2008 y 2009 [31].

Adicionalmente, dentro de las investigaciones desarrolladas en el marco de esta Vicerrectoría, destaca el estudio de [10] titulado “Perspectivas de la energía eólica en Costa Rica: estado, retos y oportunidades” que presenta un enfoque político, económico y social.

Por otra parte, dentro de la UCR se han desarrollado algunas tesis por parte de estudiantes principalmente de ingeniería eléctrica, relacionadas al tema de energías renovables y específicamente en eólica como [32] y [33].

Un caso de particular interés es el proceso de solicitud de patente de una turbina eólica denominada SkyTwister desarrollada por el profesor Carlos Acosta Nassar, de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCR [34], sin embargo, este tema será abordado en detalle en la sección del sector empresarial.

### **Universidad Nacional (UNA)**

En 2012 el Departamento de Física de la UNA, a través del Dr. Shyam Nandwani inició una cooperación con el profesor Carlos Acosta Nassar, creador de la turbina eólica SkyTwister. La Universidad construyó una torre para el aerogenerador y lo instaló junto con equipos de medición tanto propios como del señor Acosta. Por dificultades técnicas no se han obtenido datos confiables del funcionamiento de este sistema [35]. Una descripción más detallada del trabajo realizado por la UNA con este aerogenerador se brinda en el apartado de sector empresarial del presente artículo.

### **Centros de investigación**

En Costa Rica la mayor parte de los centros de investigación están adscritos a las universidades estatales, por lo que en esta sección se detalla únicamente el trabajo realizado en centros que sean externos a la academia, los cuales en el campo de ingeniería, son escasos.

#### **Ad Astra Rocket Company Costa Rica**

Entre 2012 y 2016 Ad Astra realizó un exitoso proceso de investigación para la construcción de una turbina eólica de 5 kW con aspas de 3,5 metros fabricadas en fibra de vidrio. El objetivo era aprovechar un potencial eólico bajo, con brisas constantes entre diciembre y mayo de 6

m/s (que se reducen a 3 m/s en condición de lluvia), el insumo del recurso eólico fue los datos tomados durante 10 años en el aeropuerto Daniel Oduber Quirós.

El foco de esta investigación fue el aspa de la turbina, para lo cual se realizaron estudios aerodinámicos y se generó un perfil que finalmente fue construido en Costa Rica y al que se le realizaron –también en el país– pruebas de esfuerzo mecánico.

El aerogenerador de Ad Astra se muestra en la figura 4, una particularidad es que su góndola fue diseñada en 2015 por una estudiante del TEC [36]. En el proceso de construcción se afrontaron dificultades por el alto costo de los componentes eléctricos y electrónicos como el generador y el inversor, se descartó -por un asunto de costos- la posibilidad de gobernar el ángulo de ataque de las aspas. Dentro del mismo proyecto se valoró la opción de construir un túnel de viento, el cual fue diseñado, pero no llegó a construirse.



**Figura 4.** Turbina eólica de Ad Astra Rocket con góndola diseñada por [36], imagen tomada de [37] y reproducida con autorización de [38].

Luego de 2016 y a la fecha, no se ha dado seguimiento al proyecto de la turbina eólica, siendo eventualmente el próximo paso la construcción de nuevas aspas que sean más livianas, con mayor resistencia mecánica y con una menor inercia rotacional para favorecer el arranque de la turbina [38].

Previo a 2012, el Ing. Aeroespacial Marco Gómez Jenkins formó parte de Ad Astra y realizó investigación en perfiles aerodinámicos, participó en la manufactura de otro prototipo de turbina eólica que llegó a ser instalado. En este caso se diseñó un software para selección de aspas, el cual, basándose en la potencia del viento entregaba el valor del giro aerodinámico y el ancho de la cuerda [39].

De estos trabajos no se ubican reportes de dominio público.

### **Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)**

El Instituto Costarricense de Electricidad es sin duda y como ya se mencionó, el mayor actor en el sector de producción y distribución de energía eléctrica en Costa Rica. Entre muchas otras



cosas, se puede afirmar que a través de ese Instituto pasa toda la energía producida en los parques eólicos detallados en el cuadro 1.

A pesar de no ser un centro de investigación propiamente dicho, posee una numerosa cantidad de investigadores e investigaciones realizadas, tanto en el campo del recurso eólico<sup>4</sup>, como en almacenamiento de energía (tema de interés en virtud de las fluctuaciones que presentan las fuentes renovables como la energía eólica o solar), esto a cargo del Grupo de Investigación en Almacenamiento de Energía [40].

Es importante indicar que el ICE no realiza investigación relacionada con el diseño de aspas, torres o perfiles aerodinámicos de turbinas eólicas [4].

## Sector Empresarial

Dentro del sector empresarial en el campo de turbinas eólicas, el principal giro del negocio en Costa Rica es la realización de los estudios del potencial eólico, así como la importación, venta e instalación de equipos. Por ejemplo, Dyscresa reporta ser una microempresa que desarrolla proyectos eólicos de pequeña escala, con turbinas importadas [41]. Nace en 2006 y ofrece consultorías, diseño y servicios de instalación en energías renovables, entre otros campos, en el de turbinas eólicas [42].

### Interdinámica Energía

Es una empresa especializada en soluciones con fuente de energía renovable, en mayor medida hidroeléctrica; sin embargo, posee dentro de su cartera de soluciones, la generación eólica a pequeña escala. Su galería de proyectos en línea muestra tres sitios con pequeños aerogeneradores instalados en Costa Rica [43]. Durante 2017 y 2018 han realizado investigación, de carácter privado y confidencial, sobre el diseño de una turbina eólica de eje vertical [44].

### Turboeoms S.A. y Balances Dinámicos S.A.

La única iniciativa empresarial que ha abarcado investigación y diseño de una turbina eólica en Costa Rica, ha sido por parte del físico Carlos Acosta Nassar, mediante las empresas Turboeoms S.A. en cuanto a comercialización y Balances Dinámicos S.A. en lo referente a la producción del aerogenerador [35]. La turbina eólica fue llamada SkyTwister, obtuvo varios galardones y entró en un proceso de obtención de patente [45], además estuvo instalada tanto en la UCR [34] como en la UNA [35].

En el caso de la UCR, en [35] se detalla que en 2008 la casa de enseñanza adquirió dos turbinas por un monto de 16 millones de colones, pero por múltiples dificultades de diversas índoles, el proyecto no concluyó exitosamente. Por su parte, [34] destaca lo novedoso del diseño de la turbina SkyTwister, enfatizando que Carlos Acosta también fue profesor de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCR. Las dos turbinas SkyTwister adquiridas por la UCR estuvieron instaladas en el techo del edificio de ingeniería de la universidad, como se muestra en la figura 5.

En el año 2012 la SkyTwister visita la UNA, por una iniciativa de cooperación entre su inventor y el Dr. Shyam Nandwani. Ambos presentaron un trabajo [45] que contiene resultados técnicos del funcionamiento de la turbina.

---

4 La información generada es confidencial [47].

Reportan que las SkyTwister R1,0 poseen 1 m de radio, 18 álabes y una potencia máxima teórica de 1kW operando con vientos de 11 m/s. Sus resultados experimentales preliminares indican potencias de hasta 28 W con vientos de hasta 5 m/s.



**Figura 5.** Turbina SkyTwister instalada en la UCR, cortesía de [34].

El documento cubre aspectos como mantenimiento, detalles de fabricación, materiales, aspectos de conversión de la energía mecánica en eléctrica y medición de variables eléctricas y mecánicas.

Menciona como aspecto por destacar que la SkyTwister opera por transferencia de momentum y no por diferencia de presión como las turbinas eólicas convencionales de eje horizontal.

Se concluye que la turbina fue localizada en un sitio con vientos poco favorables, sin embargo, destaca que durante la fase de pruebas la turbina operó bien y generó electricidad; posteriormente se enumeran mejoras de índole mecánica que han hecho más confiable la turbina.

Carlos Acosta Nassar ha continuado con su investigación con recursos privados hasta la fecha, los reportes sobre sus resultados no han sido publicados.

Luego de la experiencia en la UNA, nuevas versiones de la turbina SkyTwister fueron instaladas en diversos sitios en Costa Rica: Hotel Sheraton en Escazú (figura 6), Coronado de San José, La Fortuna de Bagaces (2014) y San Rafael de Alajuela (2015). Todas han sido desinstaladas para ser objeto de mejoras. Este aerogenerador también ha sido exportado, particularmente hacia Texas, en Estados Unidos de Norteamérica.



**Figura 6.** Turbina SkyTwister instalada en el Hotel Sheraton, cortesía de [46].

En total, la investigación ha producido 12 variantes de la SkyTwister, con mejoras en todos sus componentes incluyendo partes eléctricas, mecánicas y aspectos específicos como la cola de la turbina, que se encarga de alinear el aerogenerador con la dirección predominante de la corriente de viento incidente [46].

Al momento de la consulta de esta información, no se encontraba en operación ninguna SkyTwister. Además, vale la pena indicar que no ha sido publicado en ningún sitio de dominio público una curva de potencia de esta turbina eólica.

## Comentarios finales

Costa Rica es un país que posee parques eólicos desde la década de 1990 y figura en Latinoamérica como referente en el campo de la energía eólica, no obstante, sólo se han desarrollado y concretado tres iniciativas aisladas de investigación en el campo de los aerogeneradores en el país. Al día de la redacción de este artículo solamente se mantiene activa una de ellas, el trabajo de Carlos Acosta Nassar con la SkyTwister.

En la academia por su parte, se encuentra en etapa de fundación el Laboratorio de Investigación en Energía Eólica (LIENE) dentro del TEC, que promete investigar aspectos como el recurso eólico y las turbinas eólicas de pequeña escala. El eventual éxito y resultados de este laboratorio dependerán en gran medida de la estabilidad y arraigo que logre desarrollar en la institución promotora, lo cual no ha ocurrido anteriormente en los proyectos llevados a cabo en la academia en este campo, por lo que se puede afirmar que este será el principal desafío del LIENE.

Finalmente, un conjunto de actores que deben ser al menos mencionados, son los investigadores vinculados con el tema de la energía eólica que, siendo costarricenses, trabajan en el extranjero. Algunos de ellos son<sup>5</sup>: PhD Carlos Arce León de LM Wind Power en los Países Bajos, PhD Fernando Borbón del Centro Nacional de Energía Renovables (CENER) en España, MSc Sebastián Flores de DEWI-OCC en Alemania, MSc Ricardo Faerron Guzmán de Stuttgarter Lehrstuhl für Windenergie en Alemania y MSc Alessandra Salgado de la International Renewable Energy Agency (IRENA) en Alemania.

5 La lista no pretende ser exhaustiva.

Un gran reto para el país es lograr desarrollar de manera estable y sostenible la investigación en turbinas eólicas, echando mano del recurso humano de alto nivel que posee dentro de sus fronteras y aprovechando la oportunidad que le brinda la existencia de varios investigadores en este campo, que laboran en el extranjero y poseen amplia experiencia en la industria de clase mundial.

## Agradecimientos

Al Instituto Tecnológico de Costa Rica y a su Vicerrectoría de Investigación y Extensión por el financiamiento parcial para esta investigación, mediante el proyecto 134105.

Al LIENE: Laboratorio de Investigación en Energía Eólica del TEC.

## Referencias

- [1] Presidencia de la República de Costa Rica, «Sitio Web Oficial - Presidencia de la República de Costa Rica,» 03 Enero 2017. [En línea]. Available: <http://presidencia.go.cr/comunicados/2017/01/costa-rica-supera-98-de-generacion-renovable-por-segundo-ano-consecutivo/>. [Último acceso: 03 Abril 2018].
- [2] M. Avendaño A, «La utopía de una Costa Rica carbono neutral en 2021,» *El Financiero: Economía y Política*, 11 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.elfinancierocr.com/economia-y-politica/la-utopia-de-una-costa-rica-carbono-neutral-en/IYM5MH2PNZCP7BOHSZ5NV7CAQM/story/>. [Último acceso: 03 Abril 2018].
- [3] Instituto Costarricense de Electricidad, «Centro Nacional de Control de Energía,» 03 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://appcenter.grupoice.com/CenceWeb/CenceMain.jsf>. [Último acceso: 03 Abril 2018].
- [4] R. Quirós Balma, Interviewee, *División Corporativa Electricidad, ICE*. [Entrevista]. 09 Febrero 2018.
- [5] J. Bonilla Morales, «Energía eólica en Costa Rica: Potencial-plantas instaladas-restricciones-red de medición,» Instituto Costarricense de Electricidad, 17 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/12a7d75f-c615-4587-b3c4-d6d89ee2bc1d/Eolico+JavierBonilla+ForoER.pdf?MOD=AJPERES>. [Último acceso: 06 Abril 2018].
- [6] Elpais.cr, «Costa Rica alcanzó en 2017 la mayor generación eólica de su historia,» *Economía*, 10 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.elpais.cr/2018/01/10/costa-rica-alcanzo-en-2017-la-mayor-generacion-eolica-de-su-historia/>. [Último acceso: 06 Abril 2018].
- [7] Instituto Costarricense de Electricidad, «Plan de expansión de la generación eléctrica 2016-2035,» Planificación y desarrollo eléctrico, proceso expansión del sistema, San José, Costa Rica, 2017.
- [8] Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, «Debate de Infraestructura 2018,» 05 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=No7vu0tZvko&t=3463>. [Último acceso: 11 Abril 2018].
- [9] A. Energynautics GmbH, «Ánisis de Opciones para Manejar una Mayor Incorporación de Energías Renovables Variables,» Banco Interamericano de Desarrollo, Darmstadt, 2018.
- [10] L. Contreras y P. Sauma, «Perspectivas de la energía eólica en Costa Rica: estado, retos y oportunidades,» Observatorio del Desarrollo y Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, 2017.
- [11] Ranking Web of Universities, «Ranking Web de Universidades,» Enero 2018. [En línea]. Available: [http://www.webometrics.info/es/Latin\\_America\\_es/Costa%20Rica](http://www.webometrics.info/es/Latin_America_es/Costa%20Rica). [Último acceso: 03 Abril 2018].
- [12] Banco Centroamericano de Integración Económica, «INA inaugura Laboratorio de Generación de Energías Renovables con apoyo del BCIE,» 04 Septiembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.bcie.org/prensa/noticias/articulo/ina-inaugura-laboratorio-de-generacion-de-energias-renovables-con-apoyo-del-bcie/>. [Último acceso: 01 Abril 2018].
- [13] Universidad EARTH, «Curso Energía Eólica -EARTH La Flor,» 16 Mayo 2014. [En línea]. Available: <https://www.earth.ac.cr/es/2014/05/16/curso-energia-eolica-earth-la-flor/>. [Último acceso: 13 Abril 2018].
- [14] G. Jiménez Soto, Interviewee, [Entrevista]. 01 Diciembre 2017.
- [15] C. Vargas González, «Mantenimiento Preventivo aplicado a Aerogeneradores Neg Micon NM750.,» Instituto Tecnológico de Costa Rica, Tilarán, 2004.

- [16] A. L. Loría García, «Diseño de un modelo de toma de decisiones para mantenimiento basado en el monitoreo del deterioro multiestado para un sistema de aerogeneración instalado en Costa Rica,» Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, 2016.
- [17] Instituto Tecnológico de Costa Rica, «Skygrap: Visualización de vientos en Costa Rica (iReal 4.0),» [En línea]. Available: <https://www.tec.ac.cr/en/node/15303/proyectos/skygrap-visualizacion-vientos-costa-rica-ireal-40>. [Último acceso: 11 Abril 2018].
- [18] Instituto Tecnológico de Costa Rica, «LIENE: Laboratorio de Investigación en Energía Eólica,» [En línea]. Available: <https://www.tec.ac.cr/laboratorio-investigacion/liene-energia-eolica>. [Último acceso: 11 Abril 2018].
- [19] G. Richmond-Navarro, W. R. Calderón-Munoz, R. LeBoeuf y P. Castillo, «A Magnus wind turbine power model based on direct solutions using the Blade Element Momentum Theory and symbolic regression,» *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 8, n° 1, pp. 425-430, 2017.
- [20] Monge & Gapper, «Túnel de viento para visualización de flujo,» 2006. [En línea]. Available: <http://windtunnel.mogap.net/>. [Último acceso: 04 Abril 2018].
- [21] R. Murillo Muñoz, Interviewee, *Escuela de Ingeniería Civil, UCR*. [Entrevista]. 02 Abril 2018.
- [22] E. Vargas Soto, Interviewee, *Laboratorio de Arquitectura Tropical, UCR*. [Entrevista]. 03 Abril 2018.
- [23] J. G. Monge Gapper, «Ingreso de nuevo Túnel de Viento de Capa Límite,» 05 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <http://www.eim.ucr.ac.cr/?q=node/159>. [Último acceso: 04 Abril 2018].
- [24] J. G. Monge-Gapper, «Dimensionado y Construcción de un túnel de viento de baja velocidad,» *Ingeniería*, vol. 16, n° 2, pp. 45-54, 2006.
- [25] J. G. Monge-Gapper, «Concepto para un túnel de viento con vórtice variable,» *Métodos y Materiales*, vol. 4, n° 1, pp. 33-40, 2014.
- [26] Universidad de Costa Rica, Vicerrectoría de Investigación, «Sistema de información y gestión de proyectos, programas y actividades,» [En línea]. Available: <http://www.vinv.ucr.ac.cr/sigpro/web/>. [Último acceso: 04 Abril 2018].
- [27] P. Casanova Treto y K. Solís Ramírez, «Comportamiento aerodinámico del perfil S809 mediante técnicas de la dinámica de los fluidos computacional,» [En línea]. Available: [https://vinv.ucr.ac.cr/sigpro/web/app\\_dev.php/projects/B3225](https://vinv.ucr.ac.cr/sigpro/web/app_dev.php/projects/B3225). [Último acceso: 04 Abril 2018].
- [28] W. Martins Ribeiro, J. C. Costa Campos, Á. M. Bigonha Tibiriça, H. M. Pereira Rosa, R. Fernandes Brito y P. Casanova Treto, «Utilização de uma malha estruturada na análise do aerofólio s809,» de *Congresso Nacional de Matemática Aplicada à Indústria*, Caldas Novas - Goiás, 2014.
- [29] J. C. Gaigher Junior, J. C. C. Campos, Á. M. Bigonha Tibiriça, H. M. Pereira Rosa, M. M. Beraldo, A. C. de Andrade, R. Fernandes Brito y P. Casanova Treto, «S809 airfoil: Reynolds number effect on the aerodynamics of wind turbine blades,» de *23rd ABCM International Congress of Mechanical Engineering*, Rio de Janeiro, Brasil, 2015.
- [30] C. Quesada Mateo, «Análisis espacial de correlación de archivos planos mediante SIG: Una aplicación con datos de viento para un proyecto eólico en Costa Rica,» [En línea]. Available: <http://www.vinv.ucr.ac.cr/sigpro/web/projects/95718>. [Último acceso: 04 Abril 2018].
- [31] J. Amador Astúa, E. Rivera Fernández y E. Alfaro Martínez, «Elaboración de mapas del recurso eólico en Costa Rica,» [En línea]. Available: <http://www.vinv.ucr.ac.cr/sigpro/web/projects/A8401>. [Último acceso: 04 Abril 2018].
- [32] Universidad de Costa Rica, «Catálogo del sistema de bibliotecas, documentación e información,» [En línea]. Available: <http://aleph.sibdi.ucr.ac.cr/F>. [Último acceso: 03 Abril 2018].
- [33] Universidad de Costa Rica, «Red de Unidades de Información Especializada,» [En línea]. Available: <http://ruie.ucr.ac.cr/catalogo/>. [Último acceso: 06 Abril 2018].
- [34] C. A. Parral, «Patentan novedoso diseño de turbina eólica para generar electricidad,» *Girasol*, vol. 14, n° 44, pp. 3-7, 2011.
- [35] E. Alonso, «Informe Estado de la Ciencia, Tecnología e Innovación. Uso del conocimiento científico tecnológico,» Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. CONARE., San José., Julio, 2013.
- [36] E. Vargas Gómez, «Diseño de góndola y componentes que integran las partes mecánicas y eléctricas de un aerogenerador,» Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial, ITCR., Liberia, Costa Rica, 2015.

- [37] K. Mora Pérez, «Hoy en el TEC,» Estudiante de Diseño Industrial colabora en Diseño de dispositivo para Ad Astra Rocket, 08 Diciembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2015/12/08/estudiante-diseno-industrial-colabora-diseno-dispositivo-ad-astra-rocket>. [Último acceso: 04 Abril 2018].
- [38] J. A. Castro Nieto, Interviewee, *Chief Scientist, Ad Astra Rocket Company Costa Rica*. [Entrevista]. 21 Febrero 2018.
- [39] M. Gómez Jenkins, Interviewee, *Space Systems Laboratory (SETEC), ITCR*. [Entrevista]. 05 Diciembre 2017.
- [40] A. Árias Pérez, «Almacenamiento de Energía para la integración de energías renovables fluctuantes,» Foro iberoamericano energías renovables no convencionales, San José, Costa Rica, 2015.
- [41] M. Alabi, Interviewee, *DYSCRESA*. [Entrevista]. 02 Abril 2018.
- [42] Diseños y Soluciones Creativas, «Dyscresa,» [En línea]. Available: <http://www.dyscresa.com/#>. [Último acceso: 03 Abril 2018].
- [43] Interdinámica Energía, «Sistema de energía aislados,» Eólica, [En línea]. Available: <http://www.interdinamic.com/>. [Último acceso: 26 Abril 2018].
- [44] I. L. Coronado, Interviewee, *Interdinámica Energía*. [Entrevista]. 26 Abril 2018.
- [45] S. S. Nandwani y C. Acosta-Nassar, «Diseño, Construcción y Estudio de un Molino del Viento en el clima del Heredia, Costa Rica.,» de *12th World Wind Energy Conference & Renewable Energy Exhibition*, Havana, Cuba, 2013.
- [46] C. Acosta Nassar, Interviewee, *Inventor de la turbina SkyTwister*. [Entrevista]. 24 Abril 2018.
- [47] A. Arias Pérez, Interviewee, *Ingeniería y Construcción. ICE*. [Entrevista]. 13 Abril 2018.