

Nota Técnica

Potencial solar y eólico de Venezuela, escenarios de sistemas híbridos de suministro de energía eléctrica para la Isla de Toas Estado Zulia

Solar and wind potential of Venezuela, hybrid power supply system scenarios for the Toas Island, Zulia State

Alexis Alexander Barroso Molina^{a*}

^a Universidad Católica Andrés Bello, Facultad de ingeniería, Caracas, Venezuela.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6841805>

Recibido: 26-05-2022

Aceptado: 11-07-2022

Resumen

La generación de electricidad en Venezuela está dominada por los combustibles fósiles y las hidroeléctricas a gran escala, predominado sobre otras fuentes energéticas. El objetivo de esta investigación es determinar el potencial solar fotovoltaico y eólico y plantear escenarios de sistemas híbridos de energía eléctrica para la Isla de Toas, Estado Zulia. En una primera parte se realizó una investigación documental sobre dicho potencial, luego con datos obtenidos de irradiación solar y velocidad del viento, mediante Global Solar, NASA Power y el uso de la aplicación Homer se presenta un proyecto factible de una micro red aplicado a la Isla de Toas, Municipio Almirante Padilla, Edo. Zulia. Demostrando así que el escenario fotovoltaico, eólico, batería e interconexión es la opción que mejor aplica, con un costo nivelado de electricidad de 0,3 \$/kWh, ofrece mayor confiabilidad y disponibilidad, con posibilidad de transmitir los excedentes a la red eléctrica.

Palabras clave: Costo nivelado de electricidad, energía eólica, energía fotovoltaica, micro red.

Código UNESCO: 3322.02- Generación de Energía. Código CAPE: 30404010 - Generación de Energía Eléctrica.

Abstract

Electricity generation in Venezuela is dominated by fossil fuels and large-scale hydroelectric plants, predominating over other energy sources. The objective of this research is to determine the solar photovoltaic and wind potential and to propose scenarios of hybrid electric energy systems for Toas Island, Zulia State. In the first part, a documentary research on this potential was carried out, then with data obtained from solar irradiation and wind speed, through Global Solar, NASA Power and the use of the Homer application, a feasible project of a micro grid applied to Toas Island, Almirante Padilla Municipality, Zulia State, was presented. Thus demonstrating that the photovoltaic, wind, battery and interconnection scenario is the best applicable option, with a levelized cost of electricity of 0.3 \$/kWh, offering greater reliability and availability, with the possibility of transmitting surpluses to the electric grid.

Keywords: Levelized cost of electricity, wind energy, photovoltaic energy, microgrid.

UNESCO Code: 3322.02- Energy Generation. CAPE Code: 30404010 - Electric Power Generation.

PUBLICACIONES EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA, revista científica de publicación continua, dos números al año, editada en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) en la ciudad de Barquisimeto, Venezuela, bajo la Licencia CC BY-NC-SA. ISSN:1856-8890, EISSN:2477-9660. Depósitos legales: pp200702LA2730, ppi201402LA4590.

***Autor de correspondencia.**

Alexis Alexander Barroso Molina*. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5109-9077>. Correo: abarroso@ucab.edu.ve, alexisbarroso@gmail.com. Ingeniero Electricista. Especialista en Sistemas de Potencia, Maestría en Ingeniería Eléctrica. Profesor investigador en el Centro de Innovación y Desarrollo en Ingeniería (CIDI), Facultad de Ingeniería, Universidad Católica Andrés Bello, Distrito Capital, Caracas, Venezuela.

1. Introducción

Venezuela empieza a desarrollar un poderoso sector energético a partir del siglo XX, debido principalmente a la explotación en gran escala del petróleo. El auge de este recurso implicó un cambio social y económico del país, saliendo así del periodo agrícola o rural a la modernidad [1]. El petróleo catapultó el desarrollo, mejorando las condiciones del entorno, pero creando una alta dependencia sobre este importante recurso no renovable [2]. Por otra parte, los subsidios a los combustibles fósiles y a la electricidad [3] [4] se han convertido en un factor que han limitado el aprovechamiento de otras fuentes primarias de energía como la solar y eólica a gran escala.

La actividad de generación del sistema eléctrico venezolano está dominada por el consumo de combustibles de origen fósil e hidroeléctrico a gran escala [5]. Esta última fuente ha sido dominante (60%) en la producción de electricidad. El creciente interés ambientalista está forzando a que los países minimicen las fuentes de generación de energía eléctrica convencional y se hagan esfuerzos para la producción por medios menos agresivos al ambiente. Es decir, mediante fuentes renovables o aquellas con emisiones mínimas contaminantes [6].

Por otra parte, entre los objetivos del desarrollo sostenible se encuentra el de la energía asequible y no contaminante (ODS 7), que implica el acceso universal a la misma, elemento indiscutible para la lucha contra la pobreza. Se hace urgente masificar soluciones energéticas cónsonas con el ambiente, escalables y a bajos costos [7]. Aquí resalta la importancia de la electricidad, la misma está adquiriendo un papel cada vez más central en la vida de los consumidores y, para un número cada vez mayor de hogares, promete convertirse en la fuente de la que dependen todas las necesidades diarias tales como: movilidad, cocina, iluminación, calefacción y refrigeración [8]. Además, los usos comunes que incluye el alumbrado público, bombeo de agua, uso residencial, equipos en centros de salud y escuelas [9].

En la literatura se ha demostrado que el acceso a la energía mejora las condiciones de vida de la población en aspectos como la salud, educación, seguridad y desarrollo sostenible [10] [11]. Mediante la ampliación de la red eléctrica y programas de tecnologías renovables los países de América Latina y el Caribe han aumentado sustancialmente sus índices de cobertura a la electricidad, del 88% en 2000 al 97% en 2016 [12]. Asimismo en los últimos años se ha observado un drástico descenso en el costo de la generación solar fotovoltaica y eólica, lo que ha reducido la escala económica de los de dichos proyectos [12] [13]. La ausencia en el suministro de electricidad puede traer como consecuencia la falta de oportunidades de desarrollo, salud, flujo migratorio entre otros problemas de índole social y económica [14].

Asimismo, las interconexiones eléctricas entre islas son utilizadas para conectar diferentes redes, se realizan a través de cables submarinos para proporcionar beneficios como la mejora de la confiabilidad y la sostenibilidad [15]. Además, permite el de intercambiar los excedentes de energía de un sistema al otro. Por otro lado, el software HOMER (*Hybrid Optimization for Electric Renewables*, por sus siglas en inglés) se utiliza para la optimización, en función de costos mínimos, en diferentes estudios sistemas híbridos y micro redes conectadas o no a la red [16] [17] [18]. La aplicación incluye varios recursos de generación, como generadores de combustibles fósiles, sistemas fotovoltaicos, eólicos, biomasa e hidráulicos. También contiene múltiples tecnologías de almacenamiento de energía, como el almacenamiento en baterías, hidrógeno y los supercondensadores.

El objetivo del presente estudio fue determinar potencial de las energías renovables solar fotovoltaica y eólica en Venezuela y plantear escenarios de sistemas híbridos de suministro de energía eléctrica para la Isla de Toas, Estado Zulia. Se estructura de la manera como sigue: un apartado para el desarrollo del trabajo conformado por la materiales y métodos, resultados y discusión, y finalmente se presenta la sección sobre las conclusiones.

2. Desarrollo

2.1 Materiales y Métodos

Se planteó una búsqueda documental en fuentes digitales confiables, sobre el potencial solar y eólico en Venezuela y un proyecto factible sobre el diseño de un sistema híbrido, mediante una micro red, en un programa de simulación y optimización, con tres escenarios: solar fotovoltaico, eólica y su combinación, aplicado a la Isla de Toas, Municipio Almirante Padilla, Edo Zulia. Las simulaciones fueron realizadas en la aplicación HOMER [19], el software permite calcular los costos nivelados de electricidad (LCOE, por sus siglas en inglés), de manera de comparar tecno-económicamente las diferentes configuraciones. La salida de potencia del arreglo fotovoltaico se obtiene a través de la ecuación [19]:

$$P_{PV} = f_{PV} Y_{PV} \frac{I_T}{I_S} [1 + \alpha (T_c + T_s)] \quad (1)$$

Donde f_{PV} es el factor de reducción de potencia, toma en cuenta la reducción de salida en condiciones reales como la suciedad de los paneles, pérdidas de cableado, sombreado, envejecimiento y temperatura. Y_{PV} es la capacidad del panel en kW, I_T la radiación solar que incide en el arreglo fotovoltaico (kW/m^2), I_S radiación incidente en condiciones de prueba estándar (1 kW/m^2), α coeficiente de dilatación ($^{\circ}\text{C}^{-1}$), T_c temperatura del panel fotovoltaico ($^{\circ}\text{C}$), T_s es la temperatura bajo condiciones estándar $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$. En cuanto a la turbina eólica la manera de cuantificar la energía potencial, es a través de la ecuación (2) la cual calcula la potencia disponible por unidad de área barrida por las hélices [19]:

$$P_t = 0,5\rho C_p \sum (V_i^3 t_i) \quad (2)$$

Donde V_i es la velocidad media para un intervalo (m/s), t_i relación entre el número de horas correspondientes al intervalo de tiempo elegido con respecto al total de número de horas (h), C_p el coeficiente de potencia de la turbina de viento dado por el fabricante (adimensional), ρ es la densidad del aire (kg/m^3). El cálculo de los costos asociados con la generación de energía se realiza mediante la ecuación (3) [19]:

$$C_{VPN} = \frac{C_{\text{anual tot}}}{FRC} \quad (3)$$

Donde $C_{\text{anual total}}$ es el costo total anualizado (unidades monetarias/año) y FRC es el factor de recuperación de capital (adimensional) y está dado (4) [19]:

$$FRC(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (4)$$

N es el número de años e i la tasa de interés (%). Para poder realizar comparaciones entre las diferentes tecnologías empleadas en la generación de energía eléctrica, a través de diversas fuentes, se usa el costo nivelado de electricidad (LCOE) como [19]:

$$LCOE = \frac{C_{\text{anual tot}}}{E_t} \quad (5)$$

E_t es la energía total suministrada en un año (kWh/año).

Los estudios se realizaron en tres escenarios, interconectados a la red eléctrica de la Región Zuliana, a través del cable submarino El Mojan-Isla de Toas, desde la subestación El Moján a 24 kV. Las condiciones de irradiación solar promedio es de $6,01 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$, velocidad del viento promedio anual de $5,5 \text{ m/s}$, valores obtenidos de Global Solar Atlas [20] y NASA Power [21]. Dichos escenarios son:

- a. Escenario 1: Solar-Eólica-Batería-Interconexión.
- b. Escenario 2: Solar-Batería-Interconexión.
- c. Escenario 3: Eólica-Batería-Interconexión.

2.2 Resultados y discusión

a. Potencial de energía solar en Venezuela

Venezuela es un país se encuentra ubicada en la zona intertropical del hemisferio norte, entre 0° 38' 53" y 12° 11' 22" de latitud norte, 59° 48' 10" y 73° 25' 00" de longitud oeste [22]. Su posición geográfica le confiere extraordinarias condiciones climatológicas en cuanto a la potencialidad solar, siendo la fotovoltaica la más prometedora fuente en el futuro próximo [9].

En cuanto a estudios del potencial solar se tiene que las primeras mediciones datan del año 1983, cuando el Ministerio de Ambiente y Recursos Renovables y la Fuerza Aérea Venezolana estimaron un potencial de 4,5 kWh/m²/día en el Estado Amazonas y de 6,4 kWh/m²/día en el noroeste del país [23]. De manera similar, en el 2004 se presentó las estimaciones realizadas por el entonces Ministerio de Energía y Petróleo para el Plan de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2005-2024 [24] donde se concluye que se puede instalar sistemas fotovoltaicos en cualquier zona del país, siendo la región costera la de mayor potencial ubicado en el rango 5,2 a los 6,7 kWh/m²/día. Por otra parte, la zonas sur y sur occidente como la región Andina, Amazonas y Gran Sabana con menor irradiación, puede ser aprovechada, ya que se encuentra en el rango de 4,4 a 4,9 kWh/m² /día. En cuanto a información mediante métodos SIG (sistemas de información geográfica) aplicados a radiación solar como NASA Power [21] y Global Solar Atlas [20], coinciden con los estudios de [24] en el plano de potencial fotovoltaico con respecto a Venezuela, con rangos de producción entre 1.899 y 2.045 kWh/kWp, como se muestra en la Figura 2.

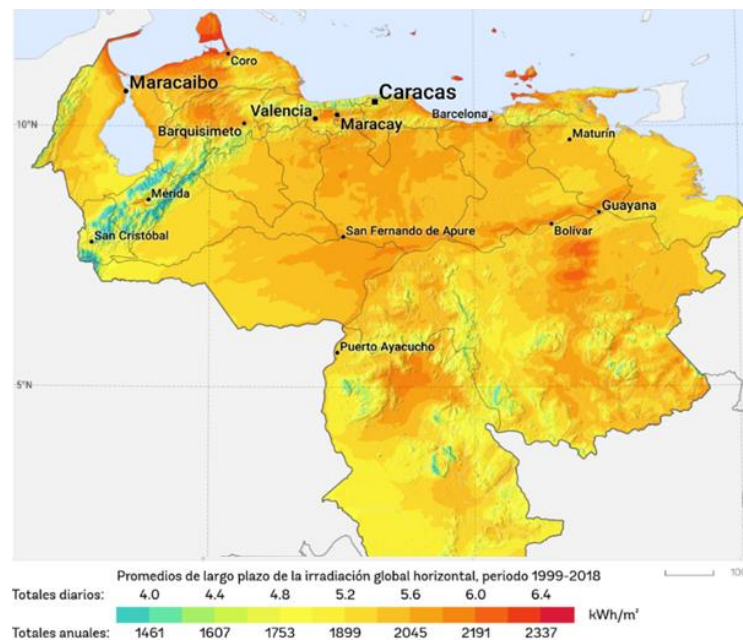


Figura 2: Promedios de irradiación global horizontal en Venezuela [20].

En cuanto a los costos por tecnologías se muestra en el Cuadro 1 que han venido descendiendo, desde las primeras unidades, a tener hoy en día un rango entre 32 y 44 \$/MWh en grandes escalas para sistemas fotovoltaicos [13].

Cuadro 1: Costo de generación Fotovoltaica global nivelado [13].

Tipo de tecnología	Mín (\$/MWh)	Máx (\$/MWh)
Techo residencial	151	242
Techo en Comercio e Industria	75	154
Comunidad	64	148
Escala de tipo cristalino	36	44
Escala de tipo película fina	32	42

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser dimensionados para distintos tipos de necesidades energéticas y pueden expandirse al agregar mayor cantidad de paneles [25]. Han sido usadas en áreas remotas como electrificación rural, bombeo de agua, telecomunicaciones y señalización [26]. En el caso venezolano, pese a tener un enorme potencial de energía solar, no se han aplicado de manera masiva, solo algunas aplicaciones rurales e intentos fallidos por parte de las autoridades gubernamentales [27]. Por otra parte, para producir un Megavatio de potencia, según el tipo de tecnología, se necesita entre 20.234 y 40.469 m² [28], equivalente a 2,02 y 4,04 Ha respectivamente [29].

b. Energía eólica en Venezuela

En evaluaciones sobre la energía eólica en Venezuela se tienen los estudios de La Rosa et al [30] y [24] donde clasifican tres zonas, según su potencial (ver Figura 3):

- Alta potencialidad: Estado Nueva Esparta, fachada oriental, Isla La Orchila, otras dependencias insulares ubicadas costa afuera y la Guajira y el Estado Sucre.
- Mediana potencialidad: Paraguaná y Valle medio del río Chama (Lagunillas – Mérida).
- Baja potencialidad: Barquisimeto, Maracaibo zona sur del país.

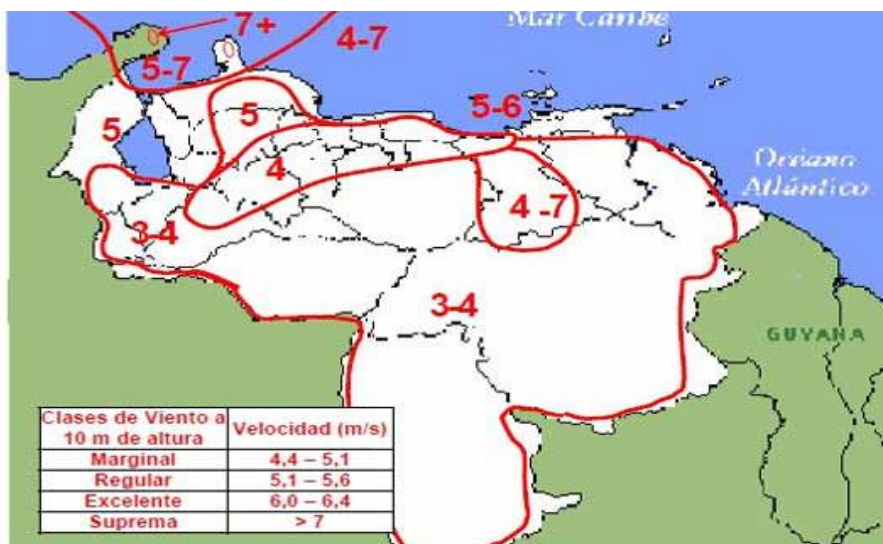


Figura 3: Mapa de líneas de Vientos en Venezuela a 10 m de altura [24].

Por otra parte, según mediciones de estaciones meteorológicas [31] se estima que los estados Falcón, Zulia y Nueva Esparta, los valores promedios son mayores o iguales a los 5 m/s, a 10 m de altura. Llegándose a registrar valores supremos mayores a 7 m/s. En consecuencia, se podría desarrollar la energía eólica a mediana y gran escala. Los costos globales oscilan entre los 28 a 54 \$/MWh [13] proyectos en tierra firme y los 89 \$/MWh costa afuera, como se presenta en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Costo de generación global nivelada tecnología eólica [13].

Tipo de tecnología	Mín (\$/MWh)	Máx (\$/MWh)
Eólica - en tierra	28	54
Eólica: costa afuera	89	89

c. Caso de estudio: sistema hibrido fotovoltaica-eólica Isla de Toas, Edo. Zulia

La Isla de Toas está ubicada en el Municipio Almirante Padilla, Estado Zulia, la Figura 4 muestra la localización, coordenadas 10°57'22", -071°40'38", ocupa una superficie de 5,4 km². Posee una población de 7.678 hab [32]. Está conectada al sistema eléctrico de la Región Zuliana por un sistema de cuatro cables submarinos a 24 kV desde la subestación El Mojan, dicho sistema alimenta las cargas de Isla de Toas, Maraca y San Carlos [33].

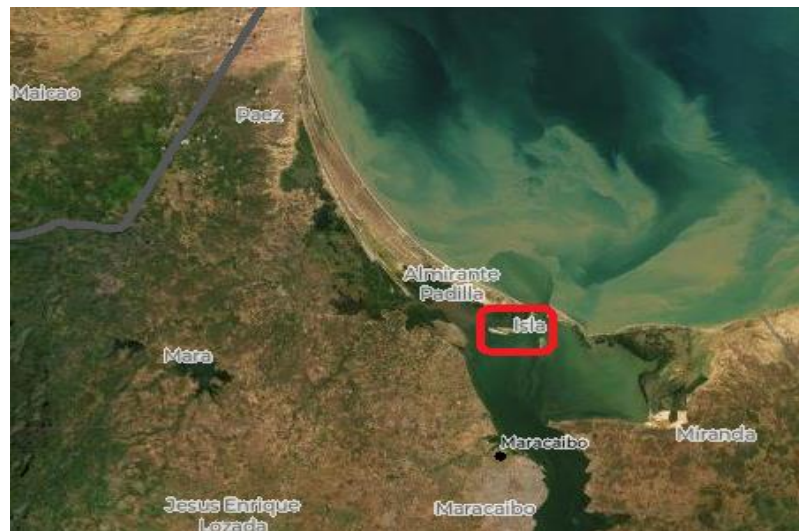


Figura 4: Mapa físico-político Isla de Toas [20].

Se consideró un sistema hibrido en base a energías solar fotovoltaica y eólica en combinación a la red eléctrica existente. El diagrama esquemático se muestra en la Figura 5. Para llevar a cabo la propuesta fue requerida la data de irradiación global, irradiación normal directa, índice de claridad y velocidad del viento. Los datos fueron extraídos de NASA Power [21] que provee data solar y meteorológica para el estudio de energías renovables, eficiencia energética, entre otros. Se determinó una potencia media anual de 2.192 kW/m² y energía promedio diario de 6,01 kWh/m²/día [21]. Con respecto a la velocidad del viento promedio anual de 5,5 m/s a 50 m de altura, considerada de tipo regular [30]. La ubicación propuesta es el sur-oeste de la isla.

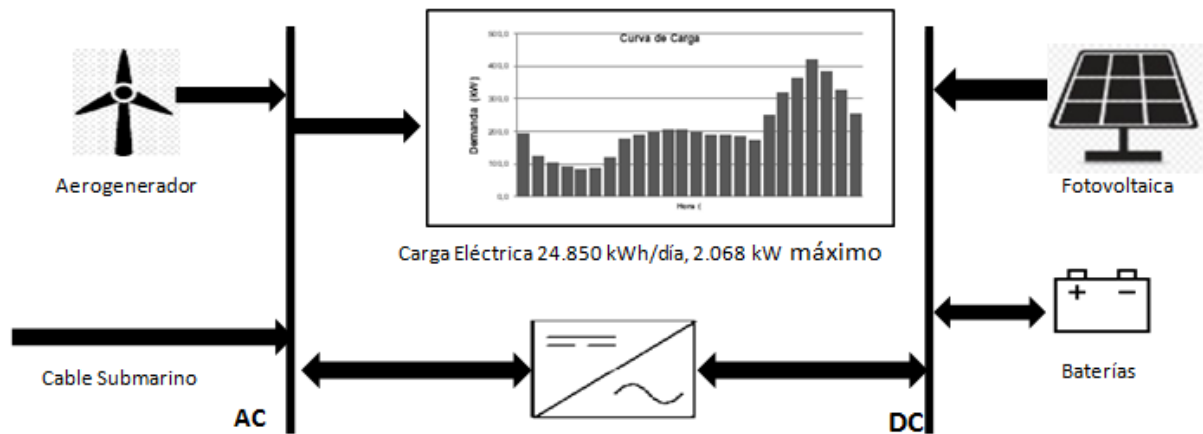


Figura 5: Diagrama del sistema para la Isla de Toas. **Fuente:** Elaboración propia.

La curva de demanda estimada para la Isla se muestra en la Figura 6, siendo el punto máximo de 2.067 kW, se calculó según metodología descrita en [34], aplicando factores correspondientes para un conjunto de viviendas de 1.988 unidades [32]. El consumo de energía promedio por hogar es de 8,7 kWh/día, según los cálculos realizados a partir de las estimaciones realizadas. No se consideró cocinas eléctricas ni bombas de agua. Además, se consideró un 20% de demanda comercial y 2% en el crecimiento anual [32].

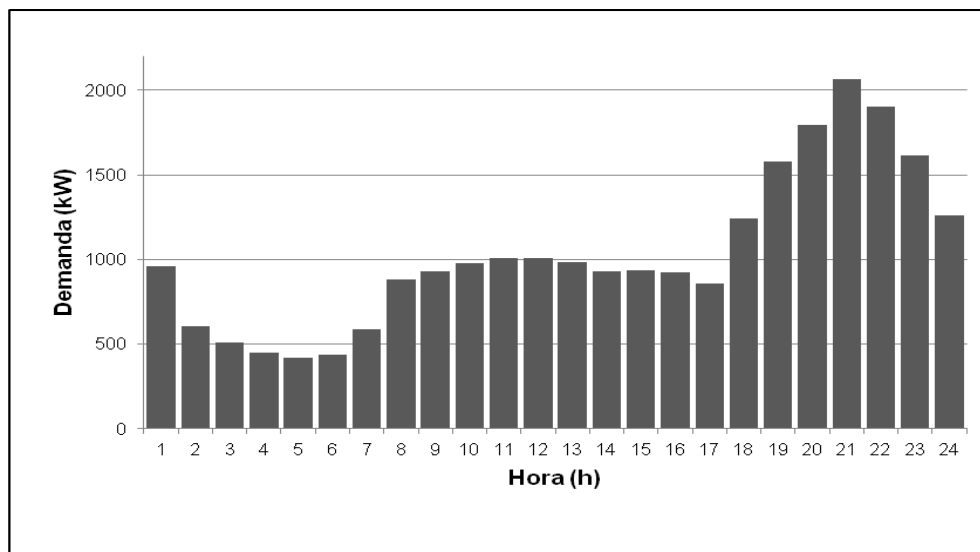


Figura 6: Curva de carga estimada Isla de Toas. **Fuente:** Elaboración propia.

El Cuadro 4 presenta los resultados categorizados por sus costos nivelados de electricidad (LCOE) para un conjunto de escenarios, en base al programa HOMER, la unidad monetaria expresada en dólares americanos. Los resultados muestran que la solución óptima es la combinación Solar fotovoltaica-eólica-batería-interconexión por tener el menor LCOE.

Cuadro 4: Solución a los diferentes escenarios para la Isla de Toas.

#	Combinación de la energías alternativas	Capital (\$)	LCOE (\$/kW h)	Costos Operación y Mantenimiento Anual (\$)	Fracción de Energía Renovables (%)
1	Fotovoltaica-Eólica-Batería-Interconexión	8.540.000	0,30	197.500	69
2	Fotovoltaica -Batería-Interconexión	3.895.000	0,35	77.900	37
3	Eólica-Batería-Interconexión	6.405.500	0,40	164.600	51

Fuente: Elaboración propia.

El sistema propuesto para la Isla de Toas está constituido por un sistema fotovoltaico de 2,5 MWp, parque eólico con capacidad de 3 MWp y una configuración de baterías de litio de 1 MWh. Además, se tomó en cuenta la interconexión con el cable submarino. El comportamiento se presenta en la Figura 7, donde se muestra la relación generación- demanda con las diferentes tecnologías, en un ciclo de una semana. Está configuración mejora la confiabilidad del sistema, ya que se cuenta con una variedad de recursos energéticos. Por otra parte, el exceso de energía podría ser transmitido a otras áreas del sistema. El costo nivelado de energía es de 0,3 \$/kWh, el 68% de la potencia consumida es energía renovable y el resto a través de la interconexión.

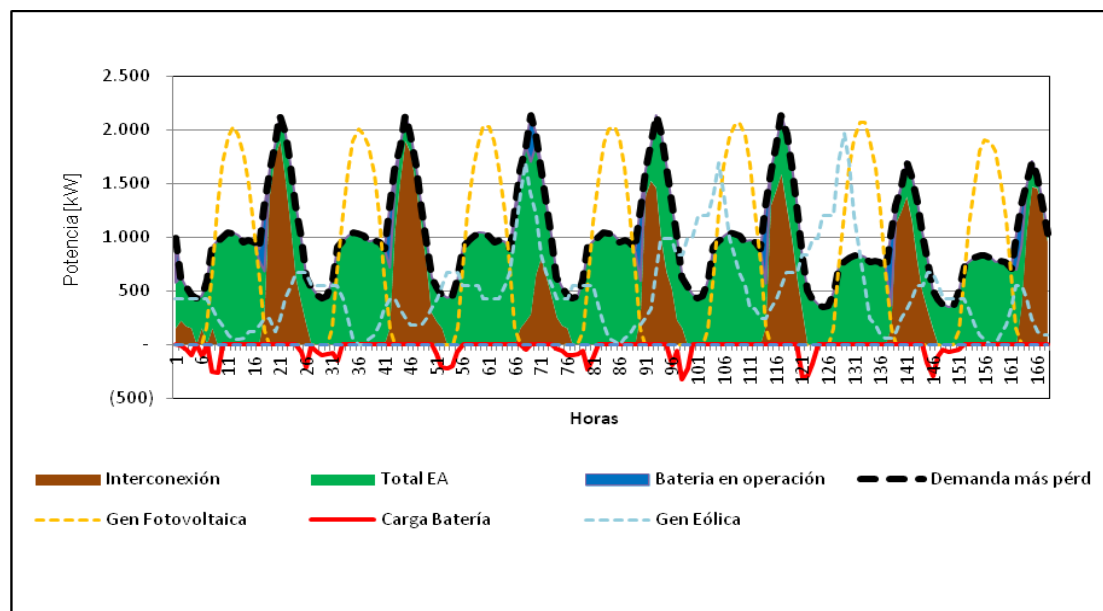


Figura 7: Curva demanda-generación estimada para una semana, escenario 1. **Fuente:** Elaboración propia.

Por otra parte, el escenario 3 se concibió eólico con una capacidad instalada de 4,1 MWp y una batería de 1 MWh. Este sistema depende de la interconexión con el sistema en un 49%, donde la posibilidad de aplicar racionamientos eléctricos es alta, debido a la indisponibilidad de generación [35]. Similarmente, el escenario 2 es solar fotovoltaico, capacidad instalada de 2,1 MWp y una batería de 1 MWh se tiene una mayor dependencia de la interconexión con 73% en horas de baja o nula irradiación solar.

3. Conclusiones

La posición geográfica del país ofrece condiciones idóneas para la explotación de diferentes tipos de energías alternativas como la solar fotovoltaica y la eólica. Las micro redes, en base a sistemas híbridos, son un recurso útil como alternativa de generación de electricidad. Representan una alternativa ecológica con aplicaciones en zonas urbanas y rurales, no tienen problemas de depender de un suministro de combustibles y de los problemas relacionados con su distribución.

El desarrollo de un sistema híbrido fotovoltaico-eólico-interconexión de energía es viable tanto desde el punto de vista técnico como económico. La viabilidad técnica se logra garantizando que el sistema pueda satisfacer la demanda y la económica se consigue asegurando que el LCOE sea el más bajo en comparación con otros sistemas de generación.

La viabilidad de cada escenario puede compararse por su LCOE, costo de capital, operación y mantenimiento y fracción de energías renovables. La solución óptima aplicada al caso de la Isla de Toas con un costo nivelado de electricidad de 0,3 \$/kWh mejora la confiabilidad del sistema, por la disponibilidad de recursos de generación. Los otros escenarios poseen una alta dependencia de la interconexión, viéndose afectada por no disponibilidad del suministro, además de tener mayores costos nivelados.

Para la explotación de las fuentes primarias de energía como la solar y la eólica se requerirá contar con un programa nacional que estimule el desarrollo industrial, la investigación, formación y el desarrollo tecnológico en estos tipos de sistemas. Se necesita un cambio de paradigma, crear una cadena de valor que permita la extensión en el uso de estas tecnologías, así como centros de investigación con financiamiento. Además, las comunidades se beneficiarían por el mejoramiento de la calidad de vida al disponer al acceso a nuevas fuentes de electricidad, limpia confiable y constante en la zona.

Referencias

- [1] M. Salas, "Sociedad, Estado y renta petrolera en Venezuela: una relación unidireccional," vol. 57, no. 2, 2016.
- [2] J. Morales, "Petróleo en México y Venezuela: Historia, Política y Símbolo," *Revista Digital A&H*, vol. 7, no. 13, 2021.
- [3] L. E. Arce Clavijo, "Petróleo y planificación social en Venezuela," *Universidad Nacional de Colombia.*, pp. 203-238, 2010.
- [4] E. Selman and R. Fornet, "Venezuela: análisis económico de un país en crisis," *Centro Regional de Estrategias Económicas Sostenibles*, pp. 1-15, 2014.
- [5] MPPEE, Anuario Estadístico Sector Eléctrico Venezolano, Caracas, 2014.
- [6] F. Gonzalez-Longatt, "Propuesta de una Línea de Investigación en Fuentes Alternas de Energía y Generación Distribuida," 2007. <http://fglongatt.org/OLD/Articulos/A2007-01.pdf>.
- [7] J. Nathwani and D. Kammen, "Affordable Energy for Humanity: A Global Movement to Support Universal Clean Energy Access," *IEEE*, pp. 1780-1789, 2019.
- [8] IEA, World Energy Outlook 2021, Paris: International Energy Agency, 2021.
- [9] AIE, "Trends in Photovoltaic Applications 2020," International Energy Agency, 2020.
- [10] M. Á. Caraballo Pou and J. M. García Simón, "Energías renovables y desarrollo económico. Un análisis para España y las grandes economías europeas," *El Trimestre Económico*, pp. 571-609, 2017.
- [11] J. Goldemberg, T. B. Johansson and A. K. & W. R. H. Reddy, "Basic needs and much more with one kilowatt per capita," *AMBIO A Journal of the Human Environment*, p. 190-200, 1985.
- [12] Banco interamericano de Desarrollo, "Documento de Marco Sectorial de Energía," BID, 2018.

- [13] Lazard, "Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis version 3.0, USA," 2020. <https://www.lazard.com/media/451086/lazards-levelized-cost-of-energy-version-130-vf.pdf>.
- [14] A. Bhide and C. Rodríguez Monroy, "Energy poverty: A special focus on energy poverty in India and renewable energy technologies," *Elsevier*, pp. 1057-1066, 2011.
- [15] M. Alves, R. Segurado and M. Costa, "Increasing the penetration of renewable energy sources in isolated islands through the interconnection of their power systems. The case of Pico and Faial islands, Azores," *Energy*, pp. 502-510, 2019.
- [16] O. Longe, L. Myeni and K. Ouahada, "Renewable Energy Solution for Electricity Access in Rural South Africa," *IEEE*, pp. 772-776, 2019.
- [17] M. Nurunnabi, N. Kumar, E. Hossain and H. Pota, "Size Optimization and Sensitivity Analysis of Hybrid Wind/PV Micro-Grids- A Case Study for Bangladesh," *IEEE*, pp. 120-140, 2019.
- [18] E. Hamatwi, C. Nyirenda and I. Davidson, "Cost Optimization and Design of a Hybrid Distributed Generation System for a DC Microgrid," *IEEE*, pp. 384-389, 2018.
- [19] Homer Energy, "Homer pro 3.14 user manual," 2020.
- [20] G. S. Atlas, The World Bank Group, 2022. <https://globalsolaratlas.info>.
- [21] NASA, "Power Data Access Viewer v2.0.0," NASA, 08 05 2021. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
- [22] Maps of World. "Mapa de Venezuela, Latitud y Longitud de Venezuela," 2021. <https://espanol.mapsofworld.com/continentes/sur-america/venezuela/latitud-y-longitud-de-venezuela.html>.
- [23] P. Fausto, "Estudio del desarrollo de las energías alternativas en Venezuela," *ANALES Unimet*, vol. 4, no. 1, pp. 147-164, 2004.
- [24] MEM, PDSen 2005-2024, Caracas: MEM, 2004.
- [25] H. Nademi, A. Das, R. Burgos and L. Norum, "A New Circuit Performance of Modular Multilevel Inverter Suitable for Photovoltaic Conversion Plants," *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, pp.393-404, 2016.
- [26] German Agency for Technical Cooperation, NU CEPAL, "Fuentes renovables de energía en Latina y el Caribe: situación y propuestas de políticas," *Repositorio digital CEPAL*, 2004. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/31904>
- [27] A. López-Gonzalez, *Energías Renovables en Venezuela: Experiencias y lecciones para un futuro sostenible*, La cueva del Elefante, 2021.
- [28] SEIA, "Solar Industries Association," Nclud, 2021. <https://www.seia.org/initiatives/siting-permitting-land-use-utility-scale-solar>.
- [29] A. Barroso, "Factibilidad de Energías Alternativas en la Generación de Electricidad en la Región Insular, Estado Nueva Esparta" *Tekhné*, vol. 25, no. 1, pp. 9-17, 2022.
- [30] C. La Rosa and R. Andressen, "Energía eólica evaluación meteorológica de su aprovechamiento en Venezuela," *Instituto de Geografía y Desarrollo Regional y de los Postgrado en Geografía, UCV*, vol. 28, no. 43, 2012.
- [31] F. González Longatt, J. Serrano, M. Burgos y J. Riquelme, "Wind-resource atlas of Venezuela based on on-site anemometry observation," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol 39, pp. 898-911, 2014. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114006248>
- [32] Instituto Nacional de Estadística INE, "Censo, Resultados por Entidad Federal y Municipio del estado Zulia 2011," Caracas, 2014.
- [33] J. Espina Alvarado, *Alternativa Tecnológica para la Generación de Energía Eléctrica en el Municipio Almirante Padilla, Estado Zulia, Maracaibo: URBE*, 2019.

- [34] A. Naranjo, Proyecto del Sistema de Distribución Eléctrico, Caracas: Equinoccio USB, 2014.
- [35] L. Oquendo, "Colapso eléctrico y colapso gerencial en Venezuela.," *Revista Venezolana de Gerencia*, vol 24, no 86, pp 595-597, 2019.
- [36] MPPEE, PDSEN 2013-2019 Plan de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional, 2013.
- [37] UCAB-IIES, "Informe de coyuntura Venezuela junio 2021" 2021. <https://elucabista.com/wp-content/uploads/2021/06/Informe-de-coyuntura-IIES-UCAB-06-2021-21062021-VF.pdf>.
- [38] OPEP, "Annual Statistical Bulletin 2021," 2021. https://asb.opec.org/ASB_Chapters.html.
- [39] Globalpetrolprices.com, Retail energy price data, https://es.globalpetrolprices.com/diesel_prices/
- [40] ONU, "Naciones Unidas Venezuela," 2022. <https://venezuela.un.org/es/sdgs/7>.
- [41] Westinghouse, Distribution Systems, Pennsylvania, 1965.
- [42] M. Contreras and V. Vasil, "Technical evaluation of the wind resource in Venezuela," *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11, no. 7, 2016.
- [43] J. Gómez, "Bases para la formación de una matriz de generación eléctrica con elevada participación de energías renovables," *Acadring*, 2019.
- [44] J. Kraft and A. Kraft, "On the Relationship between Energy and GNP," *Journal of Energy and development*, vol. 3, no. 2, pp. 401-403, 1978.
- [45] S. Hunt and G. Shuttleworth, *Competition and Choice in Electricity*, England: John Wiley&Sons, 1996.

Cómo citar:

A.A. Barroso Molina, "Potencial solar y eólico de Venezuela, escenarios de sistemas híbridos de suministro de energía eléctrica para la Islas de Toas Estado Zulia", *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, vol. 16, nro.1, pp.16-26, 2022.

Fuente de financiamiento

El autor declara que no recibió financiamiento para el desarrollo de esta investigación.

Conflictos de interés

El autor declara no presentar conflicto de intereses.