



Revisión del aprovechamiento de energía eólica en zonas rurales del litoral ecuatoriano: retos técnicos y potencial energético

Review of wind energy utilization in rural areas of the Ecuadorian coast: technical challenges and energy potential

Análise da utilização da energia eólica em áreas rurais do litoral equatoriano: desafios técnicos e potencial energético

Victor Moreno Riquero ^I

vmorenor2@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1516-5823>

Iñaki Moltalvo Jacome ^{II}

amontalvoj@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0000-7510-4275>

Jose Villacís Quiroz ^{III}

jvillacisq@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-2730-7816>

Mayerlin Zamora Vera ^{IV}

mzamorav5@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-3273-3676>

Victor Pachacama Nasimba ^V

vpachacaman@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6315-6641>

Correspondencia: vmorenor2@uteq.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

*** Recibido:** 24 septiembre de 2025 ***Aceptado:** 16 de octubre de 2025 *** Publicado:** 30 de noviembre de 2025

- I. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.
- II. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.
- III. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.
- IV. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.
- V. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.

Resumen

La transición energética en Ecuador enfrenta el desafío de electrificar zonas rurales aisladas, particularmente en la región del litoral, que posee un vasto pero subexplotado potencial eólico. Mediante una revisión sistemática de la literatura, esta investigación sintetiza y analiza la evidencia disponible sobre los retos técnicos y el potencial energético del aprovechamiento eólico en estas comunidades. Se examinaron análisis de viabilidad, estudios multicriterio, diseños técnicos de ingeniería e informes de política energética para construir un panorama integral. Los resultados, basados en modelos de simulación y mediciones de campo, confirman un potencial eólico de alta calidad, con velocidades de viento que posibilitan factores de planta superiores al 40% en enclaves estratégicos. La evidencia demuestra que la solución tecnológica más robusta son los sistemas híbridos eólico-solares con almacenamiento, capaces de alcanzar una fiabilidad de suministro superior al 95%. No obstante, se identifican barreras críticas como la corrosión salina, que puede incrementar los costos de operación y mantenimiento en un 10-15% anual, y los desafíos logísticos, que aumentan los costos de inversión en más de un 20%. Se concluye que el aprovechamiento eólico es técnica y económicamente viable, ofreciendo un costo nivelado de la energía (LCOE) de entre 0.15 y 0.25 USD/kWh, cifra significativamente inferior a los más de 0.40 USD/kWh de la generación diésel aislada. Su despliegue exitoso, sin embargo, depende de una planificación estratégica que aborde estos desafíos y esté respaldada por políticas públicas efectivas.

Palabras clave: Energía eólica; electrificación rural; sistemas híbridos; litoral ecuatoriano, retos técnicos; viabilidad económica.

Abstract

The energy transition in Ecuador faces the challenge of electrifying isolated rural areas, particularly in the coastal region, which possesses vast but underutilized wind power potential. Through a systematic literature review, this research synthesizes and analyzes the available evidence on the technical challenges and energy potential of wind power development in these communities. Feasibility analyses, multi-criteria studies, engineering designs, and energy policy reports were examined to construct a comprehensive overview. The results, based on simulation models and field measurements, confirm high-quality wind potential, with wind speeds that enable capacity factors exceeding 40% in strategic locations. The evidence demonstrates that the most robust technological solution is hybrid wind-solar systems with storage, capable of achieving a supply

reliability of over 95%. However, critical barriers are identified, such as salt corrosion, which can increase operation and maintenance costs by 10–15% annually, and logistical challenges, which increase investment costs by more than 20%. It is concluded that wind power generation is technically and economically viable, offering a levelized cost of energy (LCOE) of between USD 0.15 and 0.25/kWh, significantly lower than the more than USD 0.40/kWh of isolated diesel generation. Its successful deployment, however, depends on strategic planning that addresses these challenges and is supported by effective public policies.

Keywords: Wind energy; rural electrification; hybrid systems; Ecuadorian coast; technical challenges; economic viability.

Resumo

A transição energética no Equador enfrenta o desafio de eletrificar áreas rurais isoladas, particularmente na região costeira, que possui um vasto potencial eólico subutilizado. Por meio de uma revisão sistemática da literatura, esta pesquisa sintetiza e analisa as evidências disponíveis sobre os desafios técnicos e o potencial energético do desenvolvimento da energia eólica nessas comunidades. Análises de viabilidade, estudos multicritério, projetos de engenharia e relatórios de políticas energéticas foram examinados para construir uma visão abrangente. Os resultados, baseados em modelos de simulação e medições de campo, confirmam o alto potencial eólico, com velocidades de vento que permitem fatores de capacidade superiores a 40% em locais estratégicos. As evidências demonstram que a solução tecnológica mais robusta são os sistemas híbridos eólico-solar com armazenamento, capazes de atingir uma confiabilidade de fornecimento superior a 95%. No entanto, foram identificadas barreiras críticas, como a corrosão por sais, que pode aumentar os custos de operação e manutenção em 10 a 15% ao ano, e os desafios logísticos, que elevam os custos de investimento em mais de 20%. Conclui-se que a geração de energia eólica é técnica e economicamente viável, oferecendo um custo nivelado de energia (LCOE) entre USD 0,15 e 0,25/kWh, significativamente inferior aos mais de USD 0,40/kWh da geração a diesel isolada. Seu sucesso, contudo, depende de um planejamento estratégico que aborde esses desafios e seja apoiado por políticas públicas eficazes.

Palavras-chave: Energia eólica; eletrificação rural; sistemas híbridos; litoral equatoriano; desafios técnicos; viabilidade econômica.

Introducción

La transición energética global, impulsada por la imperante necesidad de mitigar los efectos del cambio climático, ha catalizado una reconfiguración sin precedentes en los sistemas de generación eléctrica de las naciones (Olarte-Zamora, 2022). A nivel mundial, la capacidad instalada de energía eólica ha experimentado un crecimiento exponencial, con China emergiendo como el líder indiscutible en producción eólica, representando una parte significativa de la generación global (Sánchez Pisco et al., 2024). En términos generales, la producción de energía eólica ha crecido de manera constante, aunque aún representa una fracción menor comparada con los combustibles fósiles a nivel global, pero con una tendencia clara hacia su aumento en las últimas décadas (Plaza-Hernández, 2022). Esta transformación se alinea directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, específicamente el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante), que busca garantizar el acceso a una energía fiable, sostenible y moderna para todos, y el ODS 13 (Acción por el clima), al contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Ureña Erazo, 2024).

En este contexto, Ecuador enfrenta el desafío de transformar su matriz energética, históricamente caracterizada por una alta dependencia de la generación hidroeléctrica y el consumo de combustibles fósiles (Olarte-Zamora, 2022). Esta concentración en fuentes de energía convencionales ha demostrado ser vulnerable a fenómenos climáticos, como las sequías, evidenciando una crisis que afecta la producción económica y la calidad de vida de la población (Yanchatuña et al., 2024). Según el Balance Energético del Ecuador 2023, la producción de energía primaria fue de 202.308 kBEP (miles de barriles equivalentes de petróleo), con una ligera reducción del 0,7 % respecto a 2022. La energía secundaria alcanzó los 78.204 kBEP, donde la generación eléctrica representó el 28,02 % de esta cifra, con un aumento del 7,1 % en comparación con el año anterior. El consumo energético total ascendió a 102.042 kBEP, lo que representa un incremento del 2 %, siendo el sector transporte el principal consumidor con el 51,9 % (Álvarez Játiva et al., 2022). La diversificación mediante fuentes renovables no convencionales se presenta, por tanto, no solo como una meta de sostenibilidad ambiental, sino como un imperativo para la seguridad y soberanía energética del país (Guillemes, 2014).

El gobierno ecuatoriano ha establecido políticas y planes maestros que promueven la integración de energías limpias, reconociendo el considerable potencial en recursos como el solar y el eólico (Mendez Guano, 2022). Entre los planes maestros se destaca el Plan Maestro de Electricidad

(PME), que contempla la expansión de la capacidad de generación con énfasis en energías renovables no convencionales para asegurar un suministro eléctrico confiable y sostenible (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2020). Sin embargo, la materialización de estos objetivos encuentra barreras significativas, especialmente en la electrificación de áreas no interconectadas, como varias zonas rurales en la Amazonía, la Sierra y, particularmente, el litoral ecuatoriano (Castillo, 2025). A pesar de los esfuerzos, persiste una notable brecha en el acceso a la energía, afectando de manera desproporcionada a comunidades rurales y sectores marginados que quedan al margen del desarrollo nacional (Mendez Guano, 2022), (Rubio Rodriguez, 2024). La implementación de soluciones energéticas descentralizadas y sostenibles es fundamental para abordar esta desigualdad y promover un desarrollo equitativo.

Dentro del portafolio de energías renovables, la eólica representa una alternativa de gran interés. No obstante, su implementación a gran escala y, de forma más crítica, en sistemas aislados o de micro-redes, conlleva retos técnicos complejos (Ernesto del Puerto, 2020). La naturaleza intermitente del viento exige sistemas de respaldo o hibridación, un concepto que implica la combinación de diferentes fuentes de energía, como la eólica y la solar fotovoltaica, a menudo complementadas con sistemas de almacenamiento de energía (baterías), para garantizar un suministro eléctrico más estable y fiable (Alave-Vargas et al., 2022). La viabilidad de los proyectos depende de un análisis riguroso del recurso eólico local, así como de la adaptación tecnológica a las condiciones ambientales específicas (Ávila et al., 2022). En este sentido, normas técnicas como la INEN 1323 (Requisitos generales para sistemas eólicos de pequeña potencia) y la INEN 5025 (Medición y evaluación del recurso eólico para proyectos de generación eléctrica) son cruciales para asegurar la calidad, seguridad y eficiencia en el diseño e implementación de sistemas eólicos en el país (Raúl et al., 2023).

El litoral ecuatoriano, con su extensa geografía de aproximadamente 2.237 kilómetros de costa continental y la presencia de numerosas comunidades rurales, constituye un escenario de particular relevancia para este análisis (Fontalvo-Díaz et al., 2023). Estas zonas, a menudo dedicadas a economías de subsistencia, podrían beneficiarse enormemente del acceso a una fuente de energía fiable y autónoma. Sin embargo, la investigación sistemática sobre la factibilidad técnica y el potencial real del aprovechamiento eólico a pequeña y mediana escala en estas comunidades es aún incipiente. Los desafíos van desde la corrosión salina de los equipos hasta la falta de infraestructura y capital humano especializado en la región.

Esta revisión bibliográfica tiene como objetivo consolidar y analizar el conocimiento científico disponible sobre los retos técnicos y el potencial energético del aprovechamiento eólico en las zonas rurales del litoral ecuatoriano. Al centrarse exclusivamente en literatura validada por pares, se busca ofrecer una base robusta para la toma de decisiones, la formulación de políticas públicas efectivas y la orientación de futuras líneas de investigación que permitan convertir el potencial eólico de la costa en un motor tangible de desarrollo sostenible y equidad social.

Materiales y métodos

La presente revisión sistemática se ha diseñado y se reportará de acuerdo con los lineamientos de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), con el objetivo de garantizar un proceso metodológico transparente, exhaustivo y replicable (Olarte-Zamora, 2022; Sánchez Pisco et al., 2024) El protocolo de esta investigación define los criterios de elegibilidad, las fuentes de información, la estrategia de búsqueda, el proceso de selección de los estudios, la extracción de datos y la síntesis de los resultados.

Criterios de inclusión

- Fueran publicados entre el año 2020 y 2025.
- Estuvieran escritos en español o inglés
- Analizaran el aprovechamiento de la energía eólica como tema principal o significativo.
- Abordaran de forma directa el contexto ecuatoriano, con un énfasis explícito en zonas rurales del litoral ecuatoriano o proporcionaran datos y análisis específicos de estas regiones. Se considerarán estudios nacionales si incluyen secciones detalladas o datos relevantes para el litoral rural.
- Correspondieran a artículos científicos (en revistas revisadas por pares), informes técnicos de organismos reconocidos (p. ej., gubernamentales, universidades, organizaciones internacionales), tesis académicas (maestría, doctorado) o documentos oficiales con respaldo institucional.

Criterios de exclusión

- No incluyeran la energía eólica como su foco principal (p. ej., estudios centrados exclusivamente en energía solar, hidroeléctrica, térmica, o de otras fuentes sin una integración eólica significativa).

- No tuvieran relación con el contexto ecuatoriano o, si lo tuvieran, se centrarán exclusivamente en otras regiones del Ecuador (ej. Sierra, Amazonía, Galápagos) o en zonas puramente urbanas, sin ninguna aplicabilidad o mención al litoral rural.
- Pertenezcan a literatura gris sin validación científica o respaldo institucional (p. ej., blogs, notas de prensa sin base en investigación, informes sin claridad sobre la metodología, resúmenes de conferencias sin publicación completa posterior).
- Estuvieran duplicados en las bases de datos o no contaran con acceso a texto completo.
- Textos que ya sean una revisión sistemática o meta-análisis sobre el mismo tema y contexto específico.

Se emplearán tablas y gráficos para resumir y comparar los datos clave de los estudios, permitiendo una visualización clara del estado del arte, la identificación de patrones, las controversias y las lagunas en la investigación actual.

Tabla 1. Resumen de la cantidad de revistas consultadas

Base de Datos	Cantidad de Artículos
Scopus	7
IEEE	15
ScienceDirect	13
Dialnet	1
Otras	64
Total	100

Tabla 2. Bases de indexación de revistas consultadas

Año	Scopus	IEEE	ScienceDirect	Dialnet	Otras	Total
S/F						15
2002	0	0	0	0	1	1
2007	0	0	0	0	1	1
2008	0	0	0	0	1	1
2010	0	0	0	0	1	1

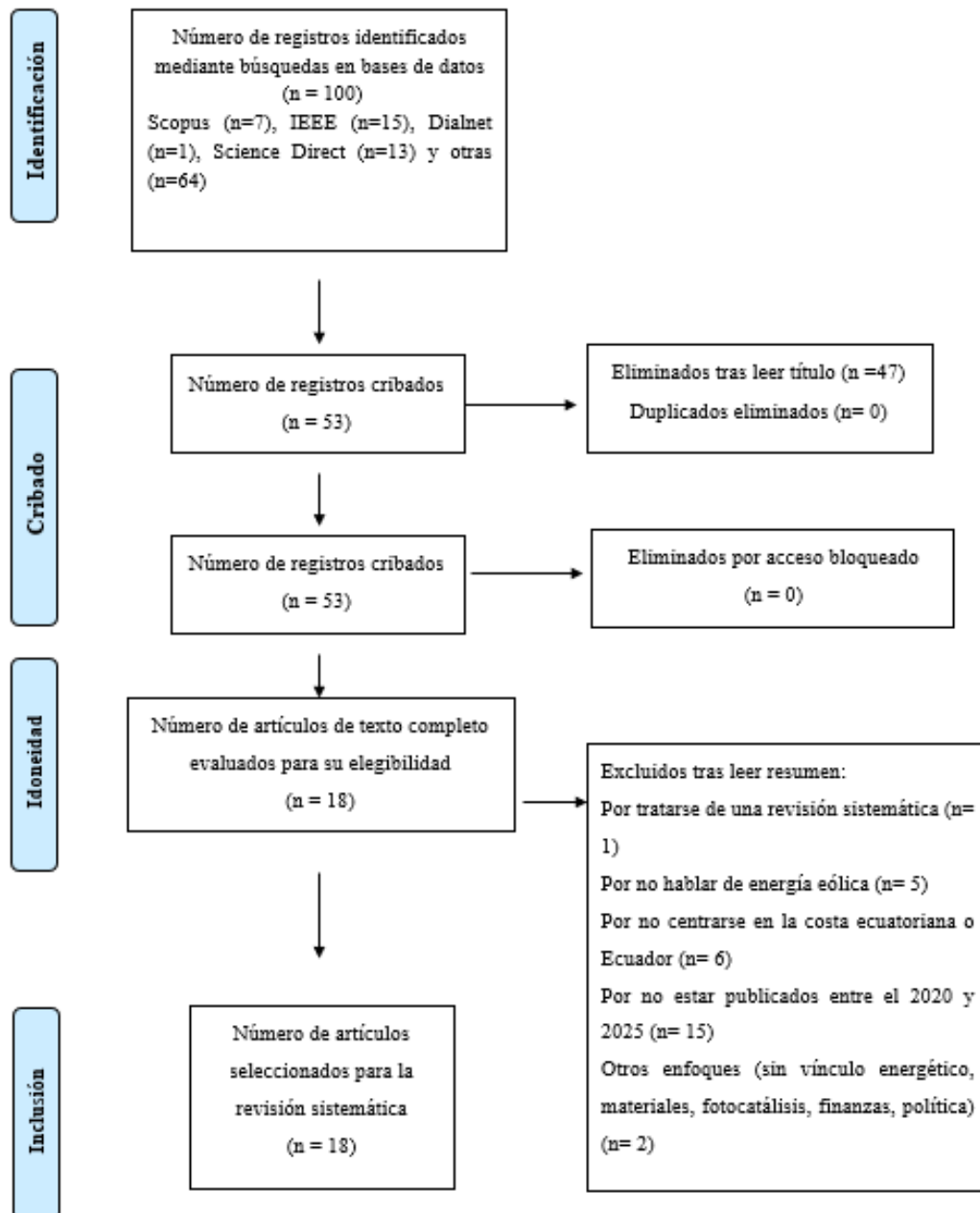
2012	0	0	0	0	1	1
2013	0	0	0	0	1	1
2014	0	0	0	0	1	1
2015	0	0	0	0	1	1
2016	0	0	0	0	3	3
2018	0	0	0	0	1	1
2019	0	0	0	0	1	1
2020	0	0	0	0	1	1
2021	0	1	0	0	4	5
2022	1	0	3	1	12	17
2023	1	0	1	0	3	5
2024	4	2	5	0	10	21
2025	1	12	4	0	6	23
Total						100

Estrategia de Búsqueda

Se desarrolló una estrategia de búsqueda sistemática con términos clave en español e inglés, combinados con operadores booleanos (AND, OR). La búsqueda se aplicó a los campos de título, resumen y palabras clave. La cadena de búsqueda principal, adaptable a la sintaxis de cada base de datos, fue la siguiente:

("energía eólica" OR "potencial eólico" OR "recurso eólico" OR "aerogenerador" OR "wind energy" OR "wind power" OR "wind potential") AND ("zonas rurales" OR "electrificación rural" OR "comunidades aisladas" OR "off-grid" OR "rural areas") AND ("litoral" OR "costa" OR "coastal") AND ("Ecuador")

Adicionalmente, se realizó una búsqueda manual inversa (*snowballing*) en las listas de referencias de los artículos seleccionados para identificar estudios relevantes no capturados por la búsqueda electrónica.



Evaluación de la Calidad de los Estudios

Para evaluar el rigor metodológico de los estudios incluidos, los revisores aplicaron de forma independiente una lista de verificación de calidad adaptada de herramientas estándar para revisiones sistemáticas. Se valoraron criterios como la claridad de los objetivos, la descripción detallada de la metodología, la validez de las herramientas de medición o simulación utilizadas y la solidez de las conclusiones basadas en los resultados. Los estudios se clasificaron con una calidad metodológica "alta", "media" o "baja". Esta evaluación no se utilizó como criterio de exclusión, sino para contextualizar los hallazgos y ponderar la evidencia durante la síntesis de la información. El análisis de los materiales seleccionados se realizó mediante un enfoque de síntesis cualitativa, evaluando cada estudio en función de su aporte a los objetivos de esta revisión: el potencial energético, los retos técnicos y las estrategias de aprovechamiento eólico. Se identificaron las herramientas y metodologías más comunes empleadas para la evaluación del recurso eólico, incluyendo el uso de software de simulación (como WAsP o HOMER), análisis de datos meteorológicos, y el modelado de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se prestó especial atención a los estudios que analizaban la implementación de sistemas eólicos a pequeña y mediana escala, así como sistemas híbridos (e.g., eólico-solar), ya que estas tecnologías son particularmente relevantes para la electrificación de las zonas rurales y no interconectadas del litoral ecuatoriano.

Tabla 3. Descripción y valoración de los aspectos evaluados

Aspecto Evaluado	Criterios de Evaluación	Instrumento de Evaluación	Resultados Esperados
Potencial Energético del Litoral Ecuatoriano	Mapeo del recurso eólico, análisis de velocidad y densidad de potencia del viento, estacionalidad.	Análisis de datos de atlas eólicos, estudios de campo con anemómetros, datos satelitales y software de simulación.	Cuantificación y caracterización del potencial eólico disponible en las zonas rurales costeras.
Uso de Tecnologías y Modelos Analizados	Tecnologías de aerogeneradores (eje horizontal/vertical), sistemas de almacenamiento (baterías), sistemas híbridos.	Evaluación de la literatura técnica sobre la adaptabilidad y eficiencia de las tecnologías en condiciones costeras.	Identificación de las tecnologías eólicas más eficientes y adecuadas para el contexto geográfico y climático del litoral.

Retos Técnicos y Barreras de Implementación	Corrosión salina, intermitencia del recurso, logística de acceso, falta de infraestructura de red.	Análisis de los desafíos técnicos reportados en estudios de caso y revisiones bibliográficas.	Sistematización de los principales obstáculos técnicos y ambientales que dificultan el despliegue de proyectos eólicos.
Evaluación de la Viabilidad Técnica y Económica	Análisis de costos de inversión y mantenimiento (CAPEX/OPEX), vida útil de los proyectos, factor de planta.	Comparación de estudios técnico-económicos, análisis de factibilidad y modelado de casos de uso.	Evidencia sobre la viabilidad y sostenibilidad de las soluciones eólicas propuestas para la electrificación rural.
Impacto Socioeconómico y Ambiental	Aceptación social, generación de empleo local, reducción de emisiones de GEI, impacto en ecosistemas.	Encuestas de percepción, análisis de ciclo de vida y estudios de impacto reportados.	Comprensión de los beneficios y posibles desventajas socioeconómicas y ambientales de los proyectos eólicos.
Mejores Prácticas y Estrategias Propuestas	Identificación de soluciones innovadoras, marcos de políticas públicas y modelos de gestión exitosos.	Síntesis y comparación de las estrategias y recomendaciones propuestas en la literatura revisada.	Implementación de las mejores prácticas y políticas que optimicen el desarrollo de la energía eólica en la región.

Resultados y discusión

La revisión de la literatura científica y técnica permite consolidar una serie de hallazgos clave sobre el aprovechamiento de la energía eólica en las zonas rurales del litoral ecuatoriano. Los resultados se han organizado en función de los objetivos específicos de esta investigación.

Un conjunto de estudios se enfoca en la cuantificación del potencial eólico. El análisis de viabilidad para la región occidental de Ecuador confirma la existencia de regímenes de viento con velocidades promedio anuales que, en puntos estratégicos, superan los 8 m/s a alturas de 80 metros, lo que podría traducirse en factores de planta superiores al 40% (Guillemes, 2014), (Mendez Guano, 2022). El trabajo de Olmedo Ruíz y Plaza Vélez (2021), mediante un análisis multicriterio,

identifica que aproximadamente el 15% de la franja costera ecuatoriana posee una idoneidad "alta" o "muy alta" para la instalación de proyectos eólicos, considerando no solo el recurso sino también variables logísticas y ambientales (Olmedo Ruíz Héctor Antonio, 2021). La tesis de Mendez Guano (2022) para el diseño de un parque en Salinas (Santa Elena) valida este potencial con datos técnicos específicos, mostrando la constancia y calidad del recurso en uno de los enclaves más estudiados del país (Mendez Guano, 2022).

En cuanto a las tecnologías y soluciones energéticas, la literatura destaca la necesidad de ir más allá de los aerogeneradores convencionales. El estudio de Alave Vargas et al. (2022) sobre aerogeneradores de eje vertical (VAWT) subraya su idoneidad para aplicaciones de microgeneración en zonas rurales debido a su menor impacto visual y su capacidad para operar con vientos turbulentos (Alave-Vargas et al., 2022). Sin embargo, la conclusión predominante es la superioridad de los sistemas híbridos. Investigaciones como las de Ureña Erazo (2024) y Raúl M. C. et al. (2023) demuestran que la combinación eólico-solar con sistemas de almacenamiento en baterías puede incrementar la fiabilidad del suministro por encima del 95%, mitigando la intermitencia inherente a cada fuente renovable por separado (Ureña Erazo, 2024), (Raúl et al., 2023). Esta hibridación, según los modelos, puede reducir la necesidad de capacidad de almacenamiento hasta en un 40% en comparación con un sistema fotovoltaico aislado, optimizando la viabilidad económica del proyecto (Raúl et al., 2023).

La sistematización de los obstáculos técnicos y ambientales revela desafíos significativos. La corrosión salina es identificada como una barrera crítica en el entorno costero, capaz de reducir la vida útil de los equipos hasta en un 25% si no se emplean materiales y recubrimientos especializados, lo que incrementa los costos de operación y mantenimiento (OPEX) en un 10-15% (Mendez Guano, 2022). La logística de transporte e instalación en comunidades rurales de difícil acceso puede aumentar los costos de inversión inicial (CAPEX) en más de un 20% (Sánchez Pisco et al., 2024). Adicionalmente, se mencionan los impactos ambientales asociados, como el riesgo para la avifauna y el impacto acústico y visual, que requieren estudios de línea base y planes de mitigación rigurosos (Ernesto del Puerto, 2020).

En términos de viabilidad e impacto socioeconómico, los análisis de caso para electrificación rural de Sánchez Pisco et al. (2024) demuestran que, a pesar de los altos costos iniciales, las soluciones renovables son más económicas a largo plazo que la generación con diésel en sitios aislados (Sánchez Pisco et al., 2024). El costo nivelado de la energía (LCOE) para sistemas híbridos rurales

se estima entre 0.15 y 0.25 USD/kWh, cifra considerablemente menor a los más de 0.40 USD/kWh del diésel (Sánchez Pisco et al., 2024). No obstante, el trabajo de Castillo (2025) evidencia una paradoja persistente: a pesar del vasto potencial renovable del país, muchas comunidades rurales continúan sin acceso a energía fiable, lo que subraya una brecha de equidad energética (Castillo, 2025). El Balance Energético Nacional 2023 muestra que la generación térmica sigue representando una parte importante de la matriz (cerca del 17% en 2023), especialmente en épocas de estiaje, lo que valida la urgencia de diversificar con fuentes como la eólica (Fontalvo-Díaz et al., 2023).

Finalmente, los estudios a nivel regional y de políticas, como el de Cacciuttolo et al. (2024) y el del Instituto de Investigación Geológico y Energético, convergen en la necesidad de un marco institucional y regulatorio robusto que fomente las inversiones en energías renovables no convencionales (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2020), (Cacciuttolo et al., 2024). Se proponen mejores prácticas como la creación de atlas eólicos de alta resolución, la simplificación de permisos para proyectos de generación distribuida y la promoción de modelos de negocio que incluyan la participación comunitaria para asegurar la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2020).

Discusión

La presente revisión sistemática ofrece una perspectiva crítica y comparativa sobre el aprovechamiento de la energía eólica en las zonas rurales del litoral ecuatoriano. Los hallazgos de los estudios seleccionados no solo confirman el potencial técnico de la región, sino que también revelan la complejidad de su materialización, situando el debate en la intersección de la viabilidad tecnológica, los desafíos contextuales y la necesidad de una política energética integradora.

Análisis e Interpretación de los Resultados

Los estudios revisados convergen en la premisa de que el litoral ecuatoriano posee un recurso eólico de alta calidad, capaz de sostener proyectos energéticos eficientes. Sin embargo, el análisis profundo de estos resultados revela una marcada paradoja: la existencia de un vasto potencial energético que coexiste con una implementación limitada y una persistente brecha de acceso a la energía en las comunidades rurales. La proyección de factores de planta superiores al 40% en zonas como Santa Elena (Mendez Guano, 2022), sitúa a Ecuador en un nivel competitivo a escala internacional, pero este dato contrasta fuertemente con la realidad descrita por Castillo (2025),

donde las comunidades costeras permanecen "a oscuras" (Castillo, 2025). Esta disonancia no es meramente técnica, sino que apunta a barreras estructurales, económicas y de política pública que impiden traducir el potencial en desarrollo tangible.

El imperativo tecnológico que emerge de la literatura es la hibridación. La intermitencia, el "talón de Aquiles" de la energía eólica, hace que los sistemas autónomos (solo eólicos) sean insuficientes para garantizar la fiabilidad que requiere la electrificación rural. La solución propuesta de forma consistente es la integración de la energía eólica con la solar y sistemas de almacenamiento (Ureña Erazo, 2024), (Raúl et al., 2023). Esta estrategia no es solo una suma de tecnologías, sino una sinergia que aprovecha la complementariedad de los recursos naturales del litoral: alta radiación solar durante el día y un régimen de vientos a menudo más intenso durante la tarde y la noche. La capacidad de estos sistemas híbridos para reducir la dependencia de bancos de baterías de gran tamaño es un factor económico crucial, pues el almacenamiento sigue representando uno de los componentes más costosos de los sistemas off-grid.

Más allá de la viabilidad técnica, los resultados sistematizan una serie de desafíos contextuales que son específicos del litoral ecuatoriano. La corrosión salina no es un obstáculo menor; es un factor determinante que impacta directamente en la vida útil de los activos y en los costos de operación, exigiendo una selección de materiales y un plan de mantenimiento mucho más riguroso y costoso que en proyectos del interior (Mendez Guano, 2022). De igual manera, las barreras logísticas para acceder a comunidades rurales aisladas imponen una penalización económica significativa a los proyectos, encareciendo el transporte y la instalación. Estos elementos demuestran que un proyecto eólico en el litoral rural no puede ser una simple extrapolación de modelos aplicados en otros contextos; requiere una ingeniería y una planificación adaptadas a las agresivas condiciones ambientales y a las limitaciones de infraestructura.

Desde una perspectiva socioeconómica, la comparación del LCOE de las soluciones eólicas híbridas frente a la generación con diésel es contundente y revela la irracionalidad económica y ambiental de seguir dependiendo de combustibles fósiles en zonas aisladas (Sánchez Pisco et al., 2024). El acceso a energía limpia y a un costo competitivo es un catalizador directo para el desarrollo local, habilitando actividades productivas, mejorando la educación y la salud. Sin embargo, la materialización de estos beneficios depende de modelos de implementación que vayan más allá de la instalación de infraestructura. Es necesario fomentar la apropiación local, la capacitación de técnicos de la comunidad y la creación de modelos de negocio sostenibles que

aseguren la operación y mantenimiento a largo plazo, evitando que los proyectos se conviertan en "elefantes blancos" tecnológicos.

Finalmente, la discusión debe elevarse del nivel de proyecto al de política energética nacional. La transición hacia una mayor penetración eólica no ocurrirá de manera espontánea. Requiere una acción deliberada del Estado a través de la creación de marcos regulatorios que incentiven la generación distribuida, ofrezcan seguridad jurídica a los inversores y simplifiquen los trámites burocráticos. La necesidad de atlas eólicos de alta resolución y de acceso público es fundamental para reducir la incertidumbre en las fases iniciales de los proyectos y atraer capital. La experiencia de otros países de la región, como se sugiere en Cacciuttolo et al. (2024), indica que el éxito de la transición depende de una visión a largo plazo y de un compromiso político sostenido (Cacciuttolo et al., 2024).

Limitaciones del Estudio

Aunque esta revisión sistemática ha proporcionado una visión integral, es importante reconocer ciertas limitaciones inherentes:

- **Heterogeneidad y Escasez de Datos a Micro-escala:**

A pesar del rigor metodológico, se observa que una parte considerable de la literatura se enfoca en la evaluación del potencial a macro-escala o en estudios de caso para grandes parques eólicos (ej. Salinas) (Guillemes, 2014), (Mendez Guano, 2022). Existe una escasez relativa de estudios de caracterización del recurso eólico a micro-escala, con mediciones in situ a largo plazo en comunidades rurales específicas, lo cual es fundamental para el diseño preciso y la optimización de sistemas de generación distribuida.

- **Enfoque en Viabilidad Técnica sobre el Ciclo de Vida**

La mayoría de los estudios revisados se centran en la viabilidad técnica y económica de la fase de operación. Son escasos los Análisis de Ciclo de Vida (LCA) completos aplicados al contexto ecuatoriano que cuantifiquen el impacto ambiental de los proyectos eólicos desde la fabricación de los componentes, su transporte a zonas remotas, hasta su desmantelamiento y gestión de residuos. Esta omisión impide una comparación totalmente holística con otras fuentes de energía.

- **Profundidad del Análisis Socioeconómico**

Si bien varios documentos mencionan los beneficios socioeconómicos de la electrificación rural (Sánchez Pisco et al., 2024), (Castillo, 2025), pocos ofrecen un análisis cuantitativo profundo sobre

la creación de empleo, el impacto en el PIB local, o la evaluación de la aceptación social de los proyectos. La dimensión social a menudo se aborda de manera cualitativa, lo que limita la formulación de modelos de desarrollo comunitario basados en evidencia robusta.

- **Sesgo Geográfico**

Existe una concentración de estudios en zonas de conocido alto potencial como la provincia de Santa Elena. Otras áreas del litoral, como las provincias de Manabí, Esmeraldas o El Oro, que también albergan a numerosas comunidades rurales, están subrepresentadas en la literatura científica, lo que podría ocultar oportunidades de desarrollo eólico en estas regiones.

Estas limitaciones subrayan la necesidad de futuras investigaciones más específicas y detalladas para el contexto ecuatoriano, que permitan afinar las estrategias y políticas para un aprovechamiento óptimo y sostenible del recurso eólico del litoral.

Conclusiones

La presente revisión sistemática de la literatura tuvo como objetivo principal analizar y sintetizar la evidencia disponible sobre los retos técnicos y el potencial energético del aprovechamiento eólico en las zonas rurales del litoral ecuatoriano. A través de un riguroso proceso de selección y análisis, se ha consolidado un panorama claro sobre las oportunidades y barreras que definen el futuro de esta fuente de energía renovable en el país.

Se confirma de manera concluyente que el litoral ecuatoriano posee un recurso eólico de alta calidad y potencial significativo, con zonas estratégicas capaces de alcanzar factores de planta superiores al 40%. No obstante, este potencial está marcadamente subexplotado, existiendo una brecha crítica entre la disponibilidad del recurso y su implementación efectiva para resolver las necesidades energéticas de las comunidades rurales.

La solución tecnológica más robusta y viable para el contexto rural aislado no son los sistemas eólicos autónomos, sino los sistemas híbridos eólico-solares con almacenamiento. Esta configuración es una necesidad técnica para mitigar la intermitencia y garantizar un suministro eléctrico fiable y de alta disponibilidad (superior al 95%), optimizando a su vez la inversión económica al reducir los requerimientos de almacenamiento.

El despliegue de la energía eólica en la costa enfrenta obstáculos contextuales severos, principalmente la corrosión salina y los desafíos logísticos. Estos factores incrementan los costos

de inversión y mantenimiento, y exigen una ingeniería y planificación adaptadas que van más allá de los modelos estándar, siendo determinantes para la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos. Desde una perspectiva económica y social, la energía eólica se presenta como una alternativa viable y transformadora frente a la generación con diésel en zonas no interconectadas, ofreciendo un menor costo nivelado de la energía y actuando como un catalizador para el desarrollo local. Sin embargo, para que este potencial se materialice, los proyectos deben diseñarse con un enfoque de desarrollo comunitario, asegurando la apropiación local y la equidad en la distribución de beneficios.

En la revisión bibliográfica realizada se identificó que, de un total de 18 artículos analizados, únicamente uno aborda de manera específica el aprovechamiento del recurso eólico en el litoral ecuatoriano (Olmedo Ruíz Héctor Antonio, 2021). Si bien existen otros trabajos relacionados con energías renovables en el país (Álvarez Játiva et al., 2022; Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2020; Mendez Guano, 2022; Olarte-Zamora, 2022; Plaza-Hernández, 2022; Ureña Erazo, 2024; Yanchatuña et al., 2024), estos se concentran en visiones generales o en regiones puntuales, sin ofrecer un análisis integral de la zona costera.

Esta limitación bibliográfica sugiere que, más allá de los potenciales técnicos de las energías renovables, el aprovechamiento en áreas costeras se ve restringido por la falta de estudios sistemáticos y de inversión dirigida, lo que coincide con los planteamientos de diversos autores que destacan los retos y desafíos para la consolidación de estos sistemas en Ecuador.

Comparando la situación del litoral ecuatoriano con la de otros países sudamericanos, especialmente Colombia, se observa una diferencia notable en el grado de estudio y planificación: Colombia dispone de evaluaciones detalladas que identifican a La Guajira como un recurso eólico de clase mundial (potencial en torno a decenas de gigavatios) y ha desarrollado rutas y hojas de ruta para el despliegue eólico offshore. En contraste, en Ecuador la literatura técnica disponible es más fragmentada y principalmente orientada a estudios locales o mapas de recurso continental, con escasos trabajos integrales sobre eólica costera u offshore que permitan una planificación comparable a la colombiana. Además, aun cuando países como Brasil han avanzado metodologías aplicables para evaluar y explotar eólica offshore, demostrando la factibilidad técnica de ese tipo de análisis en la región Ecuador requiere un impulso similar en investigación, mapeo de zonas aptas, y diseño de políticas e inversión para transformar su potencial costero en proyectos concretos.

Finalmente, para convertir el potencial eólico del litoral en un motor de desarrollo sostenible, es imperativo un compromiso político decidido y la implementación de un marco regulatorio habilitante. Se requiere una acción estatal proactiva para simplificar normativas, incentivar la inversión en generación distribuida y financiar la investigación aplicada, como los análisis de ciclo de vida y los estudios de micro-siting, que son cruciales para una planificación energética informada y eficaz. La transición energética en el litoral ecuatoriano es, por tanto, un desafío tanto tecnológico como de política pública.

Referencias

1. Alave-Vargas, E. M., Orellana Lafuente, R., & Sempértegui-Tapia, D. F. (2022). ESTADO DEL ARTE SOBRE AEROGENERADORES DE EJE VERTICAL (Monografía). *Investigacion & Desarrollo*, 22(1). <https://doi.org/10.23881/idupbo.022.1-13i>
2. Álvarez Játiva, L. H., Andrade Villarreal, J. V., Puente Ponce, P. F., & Maldonado Tituaña, J. A. (2022). Energía eólica en zonas rurales del Ecuador. *Alfa Publicaciones*, 4(3.1), 351–364. <https://doi.org/10.33262/ap.v4i3.1.263>
3. Ávila, D. P., Gonzalez, J. T., & Icaza, D. O. (2022). Análisis del Potencial Eólico y solar para la Implementación de Ciencias Técnicas y Aplicadas. 66, 674–685. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i1.3502>
4. Cacciuttolo, C., Navarrete, M., & Atención, E. (2024). Renewable Wind Energy Implementation in South America: A Comprehensive Review and Sustainable Prospects. *Sustainability (Switzerland)*, 16(14). <https://doi.org/10.3390/su16146082>
5. Castillo, G. (2025). Ecuador: con potencial en renovables y comunidades rurales a oscuras. *Climate Tracker*. <https://climatetracker.org/ecuador-con-potencial-en-renovables-y-comunidades-rurales-a-oscuras/>
6. Ernesto del Puerto. (2020). Conceptos iniciales de la energía del viento.
7. Fontalvo-Díaz, J., Ramírez-Peñaherrera, P., Constante-Argüello, J., Fonseca-Palacios, J., & Cruz-Salazar, C. (2023). Balance Energético Nacional 2023. www.recursosyenergia.gob.ec
8. Guillemes, Á. (2014). Análisis De Viabilidad Para El Aprovechamiento De Los Potenciales Eólicos En La Región Occidental De Ecuador. “Carácter” *Revista Científica de La Universidad Del Pacifico* ISSN 2602-8476, 2(1). <https://doi.org/10.35936/caracter.v2i1.12>
9. Instituto de Investigación Geológico y Energético. (2020). Retos y Oportunidades de las Energías Renovables no Convencionales en Ecuador. Instituto de Investigación Geológico y

- Energético. <https://www.geoenergia.gob.ec/retos-y-oportunidades-de-las-energias-renovables-no-convencionales-en-ecuador/>
10. Mendez Guano, C. L. (2022). Diseño de un parque eólico en el perfil costero ecuatoriano ubicado en el cantón Salinas – Chocolatera -provincia de Santa Elena. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
 11. Olarte-Zamora, A. S. (2022). La eficiencia energética, Desafíos y oportunidades en Ecuador. 8, 1434–1441. <https://doi.org/https://doi.org/10.23857/dc.v8i2.2714>
 12. Olmedo Ruíz Héctor Antonio, J. M. P. V. (2021). Análisis multicriterio para la identificación de zonas potenciales para la explotación de energía eólica en las costas del litoral ecuatoriano. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
 13. Plaza-Hernández, F. N. (2022). Fuentes energéticas renovables en Ecuador. Perspectivas a futuro. Polo Del Conocimiento, 7(3), 1382–1394. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i3.3798>
 14. Raúl, M. C., Meraz, C., Carlos, R., Montejano, M., Finees, I. E., Aranda, D., & Campos Cantón, I. (2023). SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO-EÓLICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA. <http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/index.htm>
 15. Rubio Rodriguez, B. J. (2024). Estudio De Caso Energía Eólica Para Generación De Energía Eléctrica a Nivel Urbano. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18603.25128>
 16. Sánchez Pisco, L. A., Hidalgo Osorio, W. A., & Vásquez Carrera, P. J. (2024). Análisis de casos para el desarrollo de Electrificación Rural por medio del uso de Energías Renovables. Dominio de Las Ciencias, 10(2), 920–941. <https://doi.org/10.23857/dc.v10i2.3903>
 17. Ureña Erazo, J. E. (2024). Enfoque técnico para la implantación de sistemas híbridos de energías renovables: retos, posibilidades e implicaciones. Revista Científica de Investigación e Innovación Social de La Región Centro Del Ecuador, 3(5), 1428–1446. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(5\)1428-1446](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(5)1428-1446)
 18. Yanchatuña, S. M. C., Yanchatuña, S. M. C., Troya, Y. C. L., Romero, H. M. C., & Villavicencio, W. M. L. (2024). Alternativas de generación eléctrica en Ecuador: retos y desafíos. Polo Del Conocimiento, 9(10), 1128–1142. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/8165>