



CTSCAFE PARA CIUDADANOS.....

<http://www.ctscafe.pe>

ISSN 2521-8093



REVISTA DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA



<http://www.ctscafe.pe>

Volumen VIII- N° 23 Julio 2024

ISSN 2521-8093



Potencial y desarrollo de la energía eólica en Perú: Un enfoque termodinámico y sostenible

Sr. Alex Brayan Sánchez Varona
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo Electrónico: alex.sanchez6@unmsm.edu.pe

Srta. Maixa Sol Machaca Antonio
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo Electrónico: enrique.javier@unmsm.edu.pe

Srta. Carmen Rosa Yarlequé Mejía
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo Electrónico: carmen.yarleque@unmsm.edu.pe

Sr. Raymond Harold Malqui Guerra
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo Electrónico: raymon.mallqui@unmsm.edu.pe

Srta. Stephany Diana Palomino Cardena
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo Electrónico: Stephany.palomino@unmsm.edu.pe

Sr. Piero Alessandro Aburto Arias
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo Electrónico: piero.aburto@unmsm.edu.pe

Mg. Carlos Augusto Shigyo Ortiz
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo Electrónico: cshigyo@yahoo.com

Dr. Juan Cancio Suárez Fuentes
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo Electrónico: jsuarezf@unmsm.edu.pe

Recibido: 20 Mayo 2023

Aceptado: 20 Julio 2024

Resumen: La crisis energética y el cambio climático han llevado a una búsqueda de fuentes de energía sostenibles. La energía eólica es una alternativa prometedora, y la termodinámica es fundamental para su diseño y optimización. Se analizaron las investigaciones recientes sobre el aprovechamiento de la energía eólica a través de principios termodinámicos a nivel nacional. Se usan datos de los parques y departamentos con la generación eficiente de energía eólica, utilizando principios termodinámicos para minimizar los impactos negativos en el ecosistema. Además, se identifican las regiones con mayor potencial para la generación eficiente de energía eólica. La investigación destaca la importancia de la termodinámica en el cambio hacia un futuro sostenible, mediante el desarrollo de tecnologías eólicas eficientes y sostenibles.

Palabras claves: Termodinámica/ Energía eólica/ Eficiencia/ Renovables/ Potencial.

Abstract : The energy crisis and climate change have led to a search for sustainable energy sources. Wind energy is a promising alternative, and thermodynamics is crucial for its design and optimization. Recent research on wind energy utilization through thermodynamic principles at the national level has been analyzed. Data from parks and departments with efficient wind energy generation are used, utilizing thermodynamic principles to minimize negative impacts on the ecosystem. Additionally, regions with greater potential for efficient wind energy generation are identified. The investigation highlights the importance of thermodynamics in the transition to a sustainable future through the development of efficient and sustainable wind technologies.

Keywords: Thermodynamics/ Wind energy/ Efficiency/ Renewables/ Potential.

Résumé : La crise énergétique et le changement climatique ont conduit à la recherche de sources d'énergie durables. L'énergie éolienne est une alternative prometteuse et la thermodynamique est essentielle pour sa conception et son optimisation. Des recherches récentes sur l'utilisation de l'énergie éolienne à travers les principes thermodynamiques au niveau national ont été analysées. Les données des parcs et des départements sont utilisées pour une production efficace d'énergie éolienne, en utilisant des principes thermodynamiques pour minimiser les impacts négatifs sur l'écosystème. En outre, les régions présentant le plus grand potentiel de production efficace d'énergie éolienne sont identifiées. La recherche met en évidence l'importance de la thermodynamique dans la transition vers un avenir durable, grâce au développement de technologies éoliennes efficaces et durables.

Mots-clés : Thermodynamique/ Energie éolienne/ Efficacité/ Renouvelables/ Potentiel.

1. Introducción

En el contexto actual de crisis energética y creciente preocupación por el cambio climático, encontrar fuentes de energía sostenibles es ahora una meta fundamental a nivel mundial no solo es un hecho importante que la dependencia de combustibles fósiles contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero, sino también representa un riesgo significativo para la estabilidad económica y ambiental a largo plazo.

Las energías renovables, como la solar, eólica, geotérmica y biomasa, emergen como soluciones prometedoras para combatir esta dependencia y reducir sus efectos perjudiciales en el medio ambiente.

Entre estas alternativas, sobresale la energía eólica debido a su alto potencial y la eficacia con la que produce electricidad libre de contaminantes.

La capacidad de la energía eólica para transformar la energía del viento en electricidad sin emisiones de carbono la posiciona como un pilar esencial en la transición hacia un sistema energético más sostenible. Adicionalmente, en el Perú existe un gran potencial para el desarrollo de la energía eólica tanto en tierra firme como en el mar, lo cual puede tener un impacto significativo al diversificar las fuentes de energía del país, disminuir las emisiones de gases contaminantes y generar beneficios económicos y sociales.

La termodinámica, como rama fundamental de la física que estudia las interacciones entre el calor y otras formas de energía, desempeña un papel crucial en el diseño y la optimización de los sistemas de energía eólica.

La comprensión y aplicación de los principios termodinámicos permiten a los ingenieros mejorar el rendimiento de los aerogeneradores, aumentar su eficiencia y reducir las pérdidas de energía.

Por lo tanto, el propósito de este artículo es examinar las diversas áreas de aplicación de la termodinámica en la creación y el perfeccionamiento de las tecnologías eólicas, destacando la importancia de esta ciencia en la transición hacia un futuro más sostenible.

Para abordar este tema, se revisarán investigaciones actuales sobre la utilización de la energía eólica a través de los principios termodinámicos, tanto a nivel nacional como internacional. Además, se analizarán los impactos económicos y ambientales del desarrollo de la energía eólica en Perú, destacando su relevancia para la reducción de la contaminación y la promoción del desarrollo sostenible.

Se identificarán las regiones con mayor potencial para la generación eficiente de energía eólica, utilizando los principios termodinámicos para minimizar los impactos negativos en el ecosistema.

Los objetivos específicos de este estudio son:

- Evaluar los impactos económicos y ambientales de la energía eólica, destacando su papel en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y su contribución al desarrollo sostenible.
- Identificar las áreas geográficas con condiciones óptimas para la implementación de tecnologías eólicas eficientes y sostenibles.
- Analizar el desarrollo actual de la energía eólica en Perú, incluyendo la cantidad de parques eólicos en operación, la energía producida, el precio de la energía eólica subastada y la potencia eólica por departamento.

Esta investigación trata de examinar los ejemplos de la vida real para comprender cómo la termodinámica puede ser aplicada para hacer que la energía eólica funcione mejor y sea más sostenible.

Al adoptar fuentes de energía renovables, no solo diversificamos nuestra combinación energética, sino que también desempeñamos un papel crucial en la reducción del cambio climático y la protección de nuestro planeta. Este esfuerzo se alinea con los objetivos de sostenibilidad y nos acerca a un futuro en el que la energía limpia y accesible esté disponible para todos, asegurando así un entorno más saludable y un legado positivo para las futuras generaciones.

2. Material y métodos

Se utilizaron criterios de inclusión específicos para seleccionar artículos científicos, libros y reportes relevantes. Este estudio se caracteriza por un enfoque cualitativo y un paradigma crítico, lo que significa que tiene como fin comprender e interpretar las realidades de la energía eólica en profundidad, dándole un enfoque termodinámico. Así mismo, nuestro trabajo de investigación busca determinar los impactos positivos que tiene la implementación de proyectos eólicos y analizar el potencial de la energía eólica en el Perú desde el punto de vista económico y ambiental.

En cuanto al tipo de investigación, se clasifica como no experimental, ya que se realizará un análisis causa-efecto sin mediciones directas de las causas. Específicamente, se utilizará un diseño transversal para analizar el desarrollo actual de la energía eólica, sus variables y su impacto en el ambiente, la sociedad y la economía.

El alcance del presente artículo de investigación es considerado de dos tipos: en primera instancia, exploratorio, pues recopilamos diferentes fuentes de información, tomando

como base otros artículos de revistas y libros para obtener conocimiento acerca de la energía eólica en el Perú. En segunda instancia, explicativo, pues se busca determinar las variables que influyen sobre el desarrollo que tiene la energía potencial en los diversos parques eólicos y cómo se relacionan entre ellas.

Basado en los principios fundamentales de la termodinámica para evaluar de manera significativa el potencial eólico y el desarrollo de la energía eólica, se presenta lo siguiente:

- Ley de conservación de la energía: Análisis de la energía cinética del viento
- Segunda ley de la termodinámica: Evaluación del impacto ambiental
- Termodinámica estadística: Análisis de la confiabilidad del sistema (Evaluación de los parques eólicos).

Como lo indica Hernández Rosales y Ortega Vega:

“El viento desempeña un papel importante en el desarrollo del aprovechamiento energético. Esto se hace referencia a la energía obtenida a partir del viento, es decir, la energía cinética generada por efectos de las corrientes de aire, y que es convertida en otras formas útiles de energía para las actividades humanas”

Para la búsqueda de información, se usaron la base de datos del Ministerio de Energía y Minas, y Atlas eólico del Perú. Las palabras clave para nuestro trabajo fueron, energía eólica, potencial eólico, energía renovable, energía aprovechable, desarrollo sostenible y termodinámica en energías eólicas. Después de relacionar los resultados de nuestras fuentes y el significado decada una de estas palabras, se logra representar a través de gráficos y tablas los datos de manera resumida.

Por último, se analizaron diversos indicadores como el número de parques eólicos en operación en el Perú, la energía producida, el precio promedio de los parques eólicos y energía potencial por departamento, entre otros. El objetivo fue determinar el potencial que tiene Perú para aprovechar el recurso eólico de manera continua y generar energía renovable y aprovechable.

3. Resultados

En esta sección se examinará y se evaluará la información recopilada de las fuentes identificadas, la cual contribuye a los resultados de los indicadores previamente establecidos. Se comienza presentando los resultados mediante los datos proporcionados en el Atlas Eólico del Perú, publicado en 2016 por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM). De este informe se han seleccionado las tablas y gráficos más relevantes

Primero, se mostrarán los resultados relacionados con los progresos realizados en el Perú en los últimos años. Se ha recopilado información sobre los parques eólicos que están operativos en el país. Estos parques se localizan en los departamentos de Ica, La Libertad y Piura.

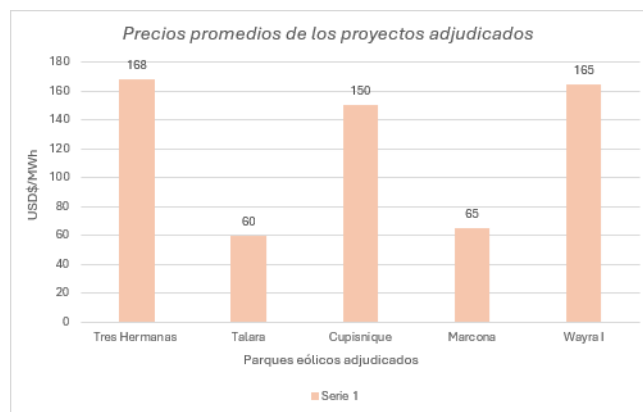
Tabla N° 1: Parques eólicos en operación en el Perú

PARQUE EÓLICO	POTENCIA INSTALADA	DEPARTAMENTO
Tres Hermanas	97,2 MW	Ica
Marcona	32,1 MW	Ica
Cupisnique	80 MW	La Libertad
Talara	30 MW	Piura
Wayra I	132 MW	Ica

Fuente: De Ministerio de Energía y Minas (2016)

A continuación, en la gráfica N°1 se mostrarán los resultados obtenidos en cuánto a los precios promedios de los cinco parques eólicos en operación actualmente.

Gráfica N°1: Precios promedios de los proyectos adjudicados



Fuente: De Ministerio de Energía y Minas (2016)

En la tabla N° 2 se realizó la recopilación de datos de la energía potencial eólica aprovechable, la energía potencial eólica no aprovechable y también el potencial eólico total, en función de los 5 departamentos que producen más energía eólica en el Perú.

Tabla N° 2: Potencia eólica en el Perú por departamento

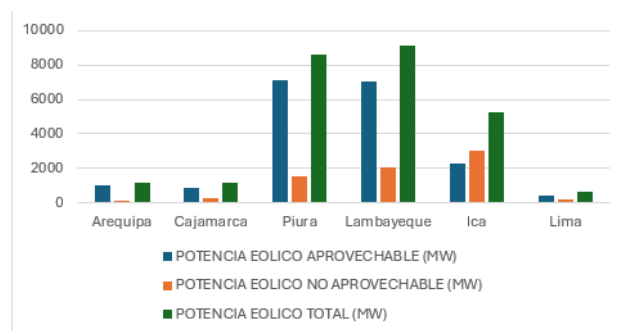
Potencia eolica en el Perú por departamento

DEPARTAMENTO	POTENCIA EOLICO APROVECHABLE (MW)	POTENCIA EOLICO NO APROVECHABLE (MW)	POTENCIA EOLICO TOTAL (MW)
Arequipa	1020	156	1176
Cajamarca	891	282	1173
Piura	7098	1506	8601
Lambayeque	7017	2097	9114
Ica	2280	3015	5295
Lima	429	189	618

Fuente: De Ministerio de Energía y Minas (2016)

La gráfica N° 2 presenta una visualización detallada del potencial eólico en el Perú, clasificado por departamentos. Esta gráfica nos permite visualizar de manera clara y concisa la distribución del potencial eólico en cada departamento, lo que nos permite identificar las regiones con mayor potencial eólico y aquellas con menor potencial.

Gráfica N°2: Potencial eólico en el Perú, clasificado por departamentos



Nota: De Ministerio de Energía y Minas (2016)

En la tabla N° 3, se presenta una visión detallada de la velocidad y frecuencia del viento de las regiones con mayor potencial eólico. Se podrá identificar aquellas que tienen una mayor velocidad y frecuencia y aquellas que requieren mayor atención para mejorar su eficiencia.

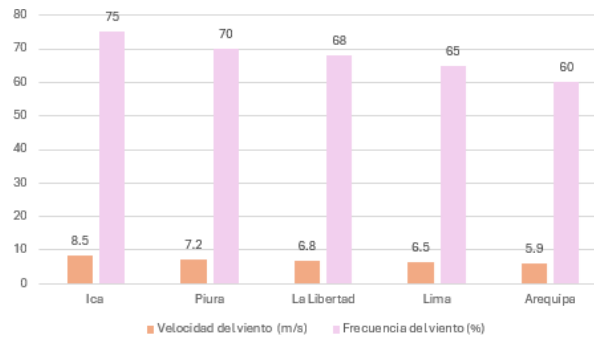
En el gráfico N°3 se muestra detalladamente la información brindada anteriormente, la velocidad del viento (en m/s) y la frecuencia del mismo (en %) distribuido por regiones.

Tabla N° 3: Velocidad y frecuencia del viento según regiones

REGIÓN	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	FRECUENCIA DEL VIENTO (%)
ICA	8.5	75
PIURA	7.2	70
LA LIBERTAD	6.8	68
LIMA	6.5	65
AREQUIPA	5.9	60

Fuente: De Atlas Eólico del Perú (2016)

Gráfico N° 3: Velocidad y frecuencia del viento según regiones



Fuente: De Atlas Eólico del Perú (2016)

En la tabla N° 4, se presenta una visión detallada de la eficiencia obtenida en cada uno de los departamentos analizados anteriormente. Se podrá identificar aquellos que tienen un mayor potencial eólico y aquellos que requieren mayor atención para mejorar su eficiencia.

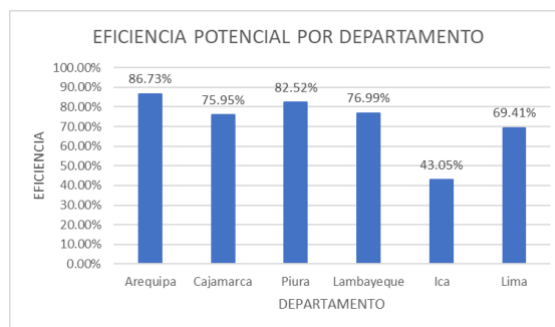
En el gráfico N° 4 se muestra gráficamente la diferencia entre cada uno de los departamentos eólicos más importantes en el Perú.

Tabla N° 4: Eficiencia obtenida en cada uno de los departamentos
Eficiencia de los 5 principales departamentos con mayor potencial eólico

DEPARTAMENTO	EFICIENCIA
Arequipa	86.73%
Cajamarca	75.95%
Piura	82.52%
Lambayeque	76.99%
Ica	43.05%
Lima	69.41%

Nota: De Ministerio de Energía y Minas (2016)

Gráfico N° 4: Eficiencia obtenida en cada uno de los departamentos



Fuente: De Atlas Eólico del Perú (2016)

4. Discusión

El potencial en el Perú para el desarrollo de la energía eólica a través de una revisión de investigaciones y artículos nos indican que Perú cuenta con varios proyectos eólicos adjudicados y en ejecución, y se identifican zonas aptas para la generación eólica y la cantidad de energía producida y potencialmente producible. Actualmente, cinco parques eólicos están generando 341 MW de energía limpia para la demanda nacional.

En comparación con otros países, la capacidad eólica del Perú es menor, pero su geografía permite un potencial de hasta 21,000 MW, superando la suma de la capacidad hidroeléctrica y térmica instalada. Departamentos como Arequipa, Ica, Lambayeque y Piura tienen un gran potencial eólico, pudiendo generar 17,415 MW solo con estos cuatro.

Las zonas costeras de Perú son especialmente aptas para la energía eólica debido a su infraestructura y la aceptación de las comunidades hacia proyectos de energía renovable. Los parques eólicos offshore (marinos) son una opción viable, aunque requieren mayor inversión debido a la infraestructura necesaria.

El precio de la energía renovable ha disminuido gracias a tecnologías más eficientes y cadenas de suministro competitivas, lo que hace que la energía renovable sea más barata que la de combustibles fósiles. A pesar de los retos socio-políticos y el aumento de costos por la crisis global, el gobierno peruano ha establecido leyes que promueven y protegen la inversión en proyectos de energía renovable, ofreciendo garantías y beneficios fiscales.

Según la estadística realizada en los gráficos podemos visualizar que el parque eólico con mayor potencia instalada es el de Wayra I con 132 MW, pero a pesar de ser el más grande no es el que generó más costos en operaciones ya que el más costoso fue el de Tres Hermanas.

Piura resalta por ser el departamento con mayor potencial eólico aprovechable (7098 MW), mientras que Ica por su potencial eólico no aprovechable (3015 MW) y en lo que respecta a potencial eólico total el departamento de Lambayeque se destaca como el mayor (9114 MW).

Cabe resaltar que Ica cuenta con mayor velocidad y frecuencia del viento entre todas las regiones, pero como se detalló anteriormente es el que cuenta con mayor potencial eólico no aprovechable. Podemos inferir que este departamento no está siendo adecuadamente aprovechado.

En lo que compete a la eficiencia para identificar aquellos que tienen un mayor potencial eólico y aquellos que requieren mayor atención, es aquí donde el estudio de la tabla N° 4 nos muestra que Ica es el que cuenta con menor eficiencia, es por ello que se debe aprovechar de mejor manera una zona con condiciones adecuadas para este tipo de proyectos de energía eólica en el Perú. Por otro lado, Arequipa es el departamento con mayor eficiencia, lo que nos indica que se está trabajando correctamente en el aprovechamiento de las condiciones de dicho lugar.

5. Conclusiones

El potencial para el desarrollo de la energía eólica en el Perú, tanto en tierra como mar adentro, es inmenso y puede desempeñar un papel clave en la diversificación de su fuente de energía. Además de disminuir la dependencia del país de los combustibles fósiles, este potencial también incentivará la generación de energía limpia y renovable. Piura, Lambayeque, Ica, Arequipa, Cajamarca y Lima son regiones costeras reconocidas por su gran potencial en la generación de energía eólica.

La implementación de proyectos eólicos en estas áreas no solo se cumplirá con la creciente demanda energética del país, sino que también reducirá significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a la lucha contra el cambio climático. Además, el desarrollo de la energía eólica fomentará la diversificación de la matriz energética peruana, disminuyendo la vulnerabilidad frente a las fluctuaciones en los precios internacionales de los combustibles fósiles y promoviendo un desarrollo económico más sostenible y resiliente.

La energía eólica en el Perú tiene el potencial de generar impactos económicos y ambientales positivos. Desde el punto de vista económico, la inversión en energía eólica puede crear empleos y atraer inversión extranjera, mientras que ambientalmente, contribuye significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, ayudando a combatir el cambio climático y promoviendo un desarrollo sostenible. El análisis de los parques eólicos operativos demuestra que la energía eólica es una alternativa viable y beneficiosa para el desarrollo del país.

Las regiones de Piura, Lambayeque, Ica, Arequipa, Cajamarca y Lima han sido identificadas como áreas con condiciones óptimas para la implementación de tecnologías eólicas. Estas regiones no solo presentan velocidades y frecuencias de viento favorables, sino que también tienen la capacidad de generar una cantidad considerable de energía renovable. Piura y Lambayeque, en particular, destacan por su enorme potencial, con más de 7000 MW cada una, posicionándose como líderes en la generación de energía eólica en el país.

El desarrollo actual de la energía eólica en el Perú muestra un crecimiento significativo con siete parques eólicos en operación, generando un total de 401 MW de energía limpia. El análisis de los precios de la energía eólica subastada y la potencia por departamento indica que la energía eólica no solo es competitiva en términos de costos, sino que también tiene un gran potencial de expansión.

La identificación de departamentos como Piura y Lambayeque con altas capacidades de generación refuerza la viabilidad de continuar desarrollando esta fuente de energía renovable.

Garantizar que haya suficiente personal capacitado en el ámbito de las energías renovables, especialmente en proyectos eólicos, a través del desarrollo de programas formativos dirigidos tanto a técnicos como profesionales.

Capacitar a individuos competentes en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de proyectos eólicos.

Realizar campañas de sensibilización y educación para la población general sobre los beneficios de la energía eólica y la importancia de la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. Dar a conocer los beneficios de la energía eólica y promover su aceptación en la sociedad.

Generar beneficios económicos y sociales para las comunidades locales involucrándose en los proyectos de energía eólica. Promover la participación de la comunidad en el desarrollo de estos proyectos.

Evaluar el potencial de proyectos eólicos offshore (marinos), establecer un conjunto de reglas y regulaciones adecuadas y fomentar la investigación y desarrollo en este campo.

Incorporar otras fuentes de energía renovable como la solar, hidroeléctrica y bioenergía, complementando el desarrollo de la energía eólica y para garantizar una mayor seguridad en el suministro energético del país.

6. Recomendaciones

La implementación de proyectos eólicos en estas áreas no solo se cumplirá con la creciente demanda energética del país, sino que también reducirá significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a la lucha contra el cambio climático. Además, el desarrollo de la energía eólica fomentará la diversificación de la matriz energética peruana, disminuyendo la vulnerabilidad frente a las fluctuaciones en los precios internacionales de los combustibles fósiles y promoviendo un desarrollo económico más sostenible y resiliente.

Aumentar la inversión en investigación y desarrollo con el fin de mejorar las tecnologías actuales, crear nuevas soluciones y abordar los costos de generación. Destinar recursos a la modernización de la infraestructura existente y al desarrollo de nuevas instalaciones requeridas para la producción y distribución de energía eólica.

7. Literatura citada

Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional. (s/f). “Datos de Central Térmica”. Recuperado de <https://www.coes.org.pe/Portal/FichaTecnica/FichaTecnica/DatosCentralE?id=15160>

Instituto Politécnico Nacional, ESIA “Ciencias de la tierra”.chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://www.ommac.org/memoria2014/extensos/E20140_92637.pdf

Ministerio de Energía y Minas (2016). Atlas eólico del Perú. <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00367.pdf>

Rumbo minero. (26 de abril del 2024). “Luz del Sur recibe formalmente parques eólicos Tres Hermanas y Marcona”. Recuperado de <https://www.rumbominero.com/peru/luz-del-sur-parques-eolicos-tres-hermanas-y-marcona-2/>

REVISTA DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA



<http://www.ctscafe.pe>

Volumen VIII- N° 23 Julio 2024

170

*Contáctenos en nuestro correo electrónico
revistactscafe@ctscafe.pe*

Página Web:
<http://ctscafe.pe>

