

PROYECTOS
EMPRESARIALES INDUSTRIALES
Industrial Business Projects

ANÁLISIS DEL DESARROLLO Y POTENCIAL DE LA ENERGÍA EÓLICA EN EL PERÚ

ANDRÉS GORDILLO VALDEZ*

<https://orcid.org/0000-0002-3108-8506>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima, Perú

MATEO MONTOYA GRANDA

<http://orcid.org/0000-0001-8666-9589>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima, Perú

PEDRO ARTURO SALINAS PEDEMONTE

<http://orcid.org/0000-0002-7021-1546>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima, Perú

Recibido: 18 de julio del 2022 / Aceptado: 26 de agosto del 2022

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n43.6114>

RESUMEN. Este estudio presenta un análisis del potencial para el desarrollo de la energía eólica en el Perú a partir de una revisión sistemática de las investigaciones realizadas en los últimos años, considerando diversas variables e indicadores pertinentes. La investigación fue de tipo exploratorio y explicativo, con un enfoque cualitativo y no experimental. Entre los principales resultados de la investigación, se encontró un número importante de proyectos adjudicados y de parques eólicos en ejecución en el Perú. Asimismo, se pudo identificar la cantidad de energía que se produce y que se puede producir a partir de estos proyectos, el precio promedio de la potencia generada, las zonas aptas para su desarrollo, entre otros. Esto evidencia que el Perú es un país en el que la energía eólica se encuentra en proceso de desarrollo, pero cuyo su potencial no guarda relación con el desarrollo alcanzado en la actualidad.

PALABRAS CLAVE: energía eólica / energía renovable / contaminación ambiental / desarrollo sostenible / potencial eólico / energía en el Perú

* Correos electrónicos en orden de aparición: 20183492@aloe.ulima.edu.pe; 20171001@aloe.ulima.edu.pe; psalinas@ulima.edu.pe

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT AND POTENTIAL OF WIND ENERGY IN PERU

ABSTRACT. This study presents an analysis of the potential for wind energy development in Peru based on a systematic review of the research carried out in recent years, considering various variables and pertinent indicators. The research was exploratory and explanatory, with a qualitative and non-experimental approach. Among the main results of the investigation, a significant number of awarded projects and wind farms in execution in Peru were found. Likewise, it was possible to identify the amount of energy produced and that can be produced from these projects, the average price of the power generated, and the areas suitable for development, among others. All this shows that Peru is a country where wind energy is in the process of development, but its potential is not related to the development achieved today.

KEYWORDS: wind energy / renewable energy / environmental pollution / sustainable development / wind potential / energy in Peru

1. INTRODUCCIÓN

El tema principal del presente trabajo de investigación es el análisis del desarrollo de la energía eólica en el Perú en relación con los aspectos ambientales y económicos y sus respectivos impactos en el mismo. A partir de ese análisis, se buscará determinar el potencial que tiene el Perú para el aprovechamiento continuo del recurso eólico para generar energía limpia y renovable que contribuya con el desarrollo sostenible y la reducción de la contaminación ambiental. Para ello, la presente investigación revisa las investigaciones realizadas en los últimos años en el Perú acerca de la energía eólica para identificar y entender las variables que intervienen en la generación de este tipo de energía. También examinan investigaciones realizadas en países en donde la energía eólica esté considerablemente desarrollada y que tengan información relevante para el presente estudio.

Como objetivos específicos, en primer lugar, se ha planteado examinar los estudios realizados sobre el aprovechamiento de los recursos eólicos para la generación de energía limpia en el país y en otras regiones del mundo. En segundo lugar, se procederá a determinar los impactos económicos y ambientales que trae consigo el desarrollo de la energía eólica y la construcción de parques eólicos en el país, con el propósito de resaltar la importancia y el positivo impacto de desarrollar este tipo de energía renovable en un país en vías de desarrollo. Finalmente, se va a determinar las zonas del Perú con las variables adecuadas para la producción de energía eólica y que se pueden aprovechar sin generar daños en el ecosistema.

La presente investigación está basada en el desarrollo de la energía eólica y sus diversos impactos en la sociedad, los cuales son numerosos y, en su mayoría, positivos. Es por eso que resulta importante comprender, en primer lugar, el concepto de energía renovable, categoría a la cual pertenece este tipo de generación de energía. Este tipo de energía hace referencia a aquella energía que, por su cantidad en relación al consumo que las personas pueden hacer de ella, se considera inagotable y su propio consumo no afecta al medio ambiente (Estrada Gasca, 2013). Algunos ejemplos de fuentes naturales y renovables de energía son el sol, el viento, el agua, el movimiento del mar, entre otros. La participación de las energías renovables disminuye la dependencia de hidrocarburos y otros productos petrolíferos, promueve la diversificación de fuentes propias de suministros y disminuye notablemente la emisión de gases de efecto invernadero. (Vásquez et al., 2017)

Por otro lado, diversos autores como Gárate et al. (2017) sostienen que el desarrollo de las energías renovables, en vistas a su introducción en el sector eléctrico en el contexto global, parece ser un tanto ajeno para el caso del Perú, basándose en la ausencia de voluntad política y atención que se le brinda. Estos autores sostienen que hace falta que los usuarios puedan tener un "rol activo" en la industria energética

mediante la autogeneración, el almacenamiento, el autoconsumo y la venta distribuida de la energía que ellos mismos produzcan.

Asimismo, Quispe y Calderón (2015), mediante su contribución a la búsqueda de energías renovables, sostienen que la matriz energética del Perú está basada altamente en hidrocarburos y otros combustibles fósiles, lo cual resulta perjudicial para el medio ambiente y nace de ahí una creciente preocupación. Es así que la necesidad de utilizar energía eólica aumenta. Sin embargo, se pueden presentar ciertas adversidades al instalar un generador eólico, por ejemplo, una baja velocidad y/o densidad del viento o una imposibilidad técnico-económica, lo cual hará que no se genere la energía deseada. Es por eso que también existen diversos tipos de generadores, los de eje horizontal y vertical, siendo estos primeros los de mayor potencia y utilización, los cuales tienen hélices que atrapan el viento e impulsan el generador eléctrico. Los de eje vertical no necesitan estar frente a la dirección del aire, pero suelen ser más pequeños y generar menos energía. En cuanto a los aerogeneradores horizontales, los cuales están presentes en los molinos que se conocen mayormente a nivel mundial por encontrarse en los parques eólicos, generan electricidad con mayor eficiencia que otros, ya sea por su tamaño como también por el aprovechamiento obtenido a la hora de captar el aire (velocidad y densidad) de la zona en que se encuentran. Mediante las aspas es que se logra recoger la energía cinética del viento, el movimiento es transmitido a través del rotor del molino a la multiplicadora, la que trasmite la energía al generador y a partir de ahí se produce la electricidad (Endesa, 2021).

Gamio Aita (2017) plantea que el país se vuelve altamente vulnerable por la excesiva dependencia del gas natural y de un solo gasoducto, así como también aumenta la contaminación ambiental con la importación del petróleo y derivados. El Perú enfrenta un gran desafío al tener que manejar con sumo cuidado los recursos naturales renovables y no renovables, ya que posee un alto potencial. Si bien el planteamiento del Decreto Legislativo 1002 (Presidencia de la República, 2010), el marco promotor de las energías renovables no convencionales más completo de la región, significó un avance grande para el desarrollo de las energías renovables en el país, este sufre de un progreso sumamente lento. Según Gamio, el Perú podría lograr una matriz energética más diversa y competitiva, con mayor participación del recurso eólico y con una huella de carbono reducida, pero hacen falta mejores decisiones políticas y más empoderamiento de los usuarios.

Los diversos conceptos por definir y tratar son los que se encuentran presentes en el título de esta investigación y se analizarán a continuación como parte del marco conceptual del estudio. En primer lugar, está el término desarrollo, concepto asumido como el proceso gradual, continuo y acumulativo de crecimiento. Vinculado al presente estudio, es concebido como un proceso de cambio social, cuyo principal objetivo es la igualdad de oportunidades sociales y económicas en relación con otras sociedades más avanzadas

(Mujica y Rincón, 2010).

Por otro lado, existe el término *energía*, un concepto sumamente amplio que puede entenderse de diversas maneras, pero se definirá guardando relación con el presente estudio. Según Zemansky y Freedman (2013), el término energía surge del principio de conservación de la energía, el cual señala que la energía es una entidad que se puede convertir de una forma a otra, pero que no se crea ni se destruye. Esto quiere decir, que la energía total en distintas formas no cambia. En el motor de un auto, la energía química almacenada se transforma en calor o energía térmica y principalmente en energía cinética presente en el movimiento del auto. Por último, esta se degrada, es decir, pierde su capacidad para transmitirse en forma de trabajo útil. Solo una parte de la energía transformada es la que produce trabajo. A partir de lo mencionado es que surge la definición de la energía: la capacidad de hacer trabajo, dado que la energía degradada no se puede utilizar nuevamente para poder obtener este (González, 2006).

En la misma línea de la energía, ahora resulta indispensable hablar acerca de la energía eólica, la principal a tratar en este artículo y en la que se pondrá énfasis a lo largo del presente trabajo. Según Schmerler et al. (2019), la energía eólica es aquella que se obtiene del viento y se produce por medio de la diferencia de temperaturas entre diferentes zonas geográficas. Esta energía de tipo cinético generada por el viento es transformada en energía eléctrica o mecánica. La energía eólica se obtiene a partir de máquinas llamadas aerogeneradores o turbinas eólicas, junto con aspas unidas por un eje giratorio, movidas por el aire, las cuales se encargan de transformar la energía del viento. La energía eólica es la fuente de energía renovable que ha presentado un mayor avance tecnológico en los últimos años. Es por ello que se viene dando un aumento de la eficiencia en la generación de electricidad a partir de los aerogeneradores, una disminución de costos y precios y un mayor impacto en el medio ambiente. Se dice que un aerogenerador moderno instalado de 1 MW puede reducir 2000 toneladas de dióxido de carbono anuales de otras fuentes de generación de energía eléctrica, y es ahí donde se evidencia la alta competitividad de este tipo de energía. (Chou et al., 2017)

Resulta importante, además, tener en cuenta el estado del medio ambiente en el Perú y en el mundo para comprender la necesidad del cambio en la matriz energética. Según Naciones Unidas (2021), en los próximos veinte años, la temperatura global aumentará en 1,5 °C. Este incremento en los niveles generales de la temperatura del planeta traerá consigo olas de calor, un aumento en las temperaturas de las estaciones cálidas y una disminución en las frías, cambios en la humedad y la sequedad, en los vientos, inundaciones, entre otros. Muchos gobiernos están tomando medidas, en especial los países más desarrollados como Alemania, Inglaterra, Francia, Canadá, entre otros, los que se han propuesto que para el año 2050 la generación energética en

sus países sea en su mayoría amigable con el medio ambiente y con cero emisiones de gases de efecto invernadero.

El gobierno peruano se enfrenta al desafío de reducir la generación de gases de efecto invernadero. Según el Ministerio del Ambiente (2021), para el año 2030 se busca reducir las emisiones en un 40 %. La reducción de la emisión de gases contaminantes contribuirá a combatir el cambio climático. Cabe recalcar que, además de las medidas y sanciones que deben establecer las entidades públicas nacionales contra los efectos nocivos de las actividades extractivas e industriales, el gobierno debe buscar reducir considerablemente la generación de gases contaminantes provenientes de los automóviles y de la producción de energía. Para combatir la contaminación de los automóviles, el Estado debe mejorar las condiciones del transporte público y a su vez sustituir las unidades actuales por vehículos eléctricos. Sin embargo, esta labor tomaría mucho tiempo y dinero. Por otro lado, para corregir la matriz energética, se debe pasar de generar energía a través de combustibles fósiles a energía mediante la utilización de recursos renovables y la energía eólica es una de las principales candidatas para una potencial generación de este tipo de energía. Según Gamio Aita (2017), el Perú depende en un 72 % de los hidrocarburos para generar energía eléctrica. Se tiene una alta dependencia del gas natural como principal combustible fósil. Sin embargo, se tiene un gran potencial para la generación de energía renovable. Ruiz y Mimbela (2021) mencionan que, en el Perú, a pesar de tener un alto potencial para la generación de energía renovable, este no ha sido aprovechado. Para el caso de la energía hidroeléctrica, solo se usa el 7,5 % del potencial total; para las fuentes eólica y solar, el porcentaje de aprovechamiento es menor al 1 % en ambos casos.

Se puede apreciar, entonces, que el Perú tiene un potencial sumamente alto para generar energía renovable. Casi el 30 % de la energía es limpia y solo es generada usando menos del 10 % del potencial hidroeléctrico. Hay una muy buena oportunidad de desarrollo en las diversas fuentes de energía renovable y en el presente artículo, como ya se mencionó anteriormente, vamos a examinar las investigaciones y estudios realizados al respecto en los últimos cinco años para ver cómo se ha trabajado la energía eólica en el Perú, qué beneficios ha traído y qué mejoras podría traer al país si se pone énfasis en su desarrollo.

2. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el presente estudio se utilizó como método la revisión sistemática de literatura. El alcance del presente trabajo de investigación es considerado de dos tipos; en primer lugar es exploratorio, pues recopila diferentes artículos científicos, artículos de revistas y libros para obtener conocimiento acerca de la energía eólica y así poder analizar su desarrollo y potencial en el país. En segundo lugar, es explicativo, es decir, busca determinar las variables que influyen sobre el tema de investigación con el fin de explicar cómo se relacionan entre ellas.

El enfoque del presente estudio es cualitativo, con un paradigma crítico, ya que se busca estudiar las realidades de la energía eólica con el fin de describirlas y comprenderlas. En base a la información recolectada a partir de las fuentes bibliográficas, se busca realizar construcciones teóricas. Con referencia al tipo de la investigación, se considera que es de tipo no experimental, dado que se realizará un análisis causa-efecto, sin medición alguna sobre las causas. Específicamente, se llevará a cabo un diseño transversal, ya que se analizará el desarrollo de la energía eólica, así como sus variables, en un momento determinado del tiempo y su impacto en el ambiente, sociedad y economía.

Para la obtención y selección de los artículos incluidos en el presente estudio se establecieron diversos criterios de inclusión, tales como el uso de artículos científicos que explicitan palabras clave como *energía eólica* en el título o resumen, estudios elaborados que detallen el desarrollo de la energía eólica en los últimos años, artículos científicos desarrollados que mencionen los impactos de la energía eólica (y otras energías renovables) en el medio ambiente y/u otros ámbitos, estudios que mencionen el potencial de las zonas en donde se ve un creciente desarrollo de la energía eólica, estudios elaborados en América Latina, Europa o Asia que puedan servir como marco de referencia para el aprovechamiento del recurso eólico para generar energía y sus implicancias, fuentes bibliográficas presentes en línea, en bases de datos con lectura completa y con libre acceso y fuentes bibliográficas con no más de cinco años de antigüedad.

Para la búsqueda de los artículos, se utilizaron las bases de datos de ProQuest, Scopus, Alicia, Ebsco, Google Académico y el repositorio de la Universidad de Lima. Las palabras clave utilizadas fueron *energía eólica*, *energía renovable*, *calentamiento global* y *desarrollo sostenible*. Según las posibilidades de las bases de datos utilizadas, se aplicaron filtros como tipo de documento, palabras clave, idioma y año. La búsqueda de artículos y fuentes se llevó a cabo considerando que las palabras clave principales *energía eólica* estuvieran presentes en el título o en el resumen de las fuentes. Dicho esto, cada base de datos presentó distintas cantidades de resultados, arrojando en su mayoría más de cuarenta documentos. Después de revisar los resultados, se excluyeron aquellos estudios que no cumplían con los criterios descritos previamente. Es así que, después de escoger las fuentes que serían de utilidad para el presente estudio, se obtuvo un total de veinte fuentes, entre artículos científicos, de revistas, libros, reportes y trabajos de investigación.

Para el análisis de resultados, se llevó a cabo el análisis de diversos indicadores como número de parques eólicos en operación, energía producida, precio de la energía eólica subastada, cantidad de políticas energéticas favorables, entre otros; con el fin de determinar el potencial que tiene el Perú para el aprovechamiento continuo del recurso eólico para generar energía limpia y renovable.

3. RESULTADOS

En el presente apartado se revisará y analizará la información obtenida en las fuentes identificadas que dan lugar a los resultados de los indicadores previamente definidos. Se iniciará la mención de los resultados mostrando los datos expuestos en el *Atlas eólico del Perú* publicado por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) en el año 2016. De este informe se extrajeron las tablas y gráficas más importantes.

En primer lugar, se presentarán los resultados vinculados con los avances que se han venido dando en el Perú en los últimos años. Se obtuvo la información respecto a los parques eólicos que se encuentran operando actualmente en el país. Estos se encuentran en los departamentos de Ica, La Libertad y Piura.

Tabla 1

Parques eólicos en operación en el Perú

Parque eólico	Potencia instalada	Departamento
PE. Marcona	32 MW	Ica
PE. Cupisnique	80 MW	La Libertad
PE. Talara	30 MW	Piura
PE. Tres Hermanas	97 MW	Ica

Nota. De Ministerio de Energía y Minas (2016).

Como se puede ver, los cuatro parques eólicos que hay en funcionamiento en el Perú suman un total de 239 MW de potencia instalada. Los departamentos en los que se encuentran ubicados pertenecen a la costa del país.

En la Tabla 2, se exponen los proyectos adjudicados por el MINEM para su desarrollo (Ministerio de Energía y Minas, 2016). Se trata de parques eólicos que podrán desarrollarse en los departamentos de Ica y Cajamarca.

Tabla 2

Parques eólicos adjudicados en la cuarta subasta de suministro de electricidad con recursos energéticos renovables (RER) al Sistema Eléctrico Interconectado (SEIN)

Parque eólico	Potencia instalada	Departamento
PE. Parque Nazca	126 MW	Ica
PE. Huambos	18 MW	Cajamarca
PE. Duna	18 MW	Cajamarca

Nota. De Ministerio de Energía y Minas (2016).

Cabe recalcar que los parques eólicos en mención ya se encuentran instalados y operativos en la actualidad, lo cual indica que los proyectos adjudicados fueron concluidos de manera exitosa. Como se puede observar en la tabla, en estos tres proyectos se sumaría una potencia total instalada de 162 MW.

Respecto a información acerca de las subastas de recursos eólicos, en la Tabla 3 se indica el precio monómico de la energía eólica subastada en cada proyecto de cada parque eólico.

Tabla 3

Características técnicas y económicas de los proyectos RER adjudicados

Proyecto	Potencia central (MW)	Precio monómico (US\$/MWh)	Fecha subasta	Inversión estimada (MM US\$)
Marcona	32,0	65,50	2009	43,6
Cupisnique	80,0	85,00	2009	242,4
Talara	30,0	87,00	2009	101,2
Tres Hermanas	90,0	69,00	2011	180,0
Parque Nazca	126,0	37,83	2016	-
Huambos	18,0	36,84	2016	-
Duna	18,0	37,49	2016	-

Nota. De Vásquez et al. (2017).

Los resultados evidencian que ha habido una disminución en el precio por MWh con el pasar de los años y conforme los proyectos adjudicados han sido llevados a cabo. El parque eólico Nazca, teniendo una potencia central considerable, logró obtener un precio dentro del menor rango de precio monómico.

Según Vásquez et al. (2017), durante las cuatro subastas RER llevadas a cabo desde el año 2008 se han adjudicado 64 proyectos equivalentes a 1274 MW. La inversión estimada de las primeras tres subastas alcanza los US\$ 1957 millones, de los cuales aproximadamente US\$ 567 millones pertenecen a la energía eólica. Se cuenta con una capacidad adjudicada de 401 MW pertenecientes a siete proyectos que a la fecha ya han sido concluidos y se encuentran operando.

En la Tabla 4 se muestra el potencial eólico en el Perú a 100 metros de altura según el *Atlas eólico del Perú*. Cabe resaltar, que de las tres columnas referidas al potencial, solo se tendrá en cuenta la de potencial eólico aprovechable, ya que la del potencial eólico excluido señala aquella energía que se podría generar en zonas de difícil acceso y/o donde no se puede realizar construcciones y proyectos de gran envergadura, como en el caso de reservas naturales, parques nacionales, sitios arqueológicos, entre otros.

Tabla 4

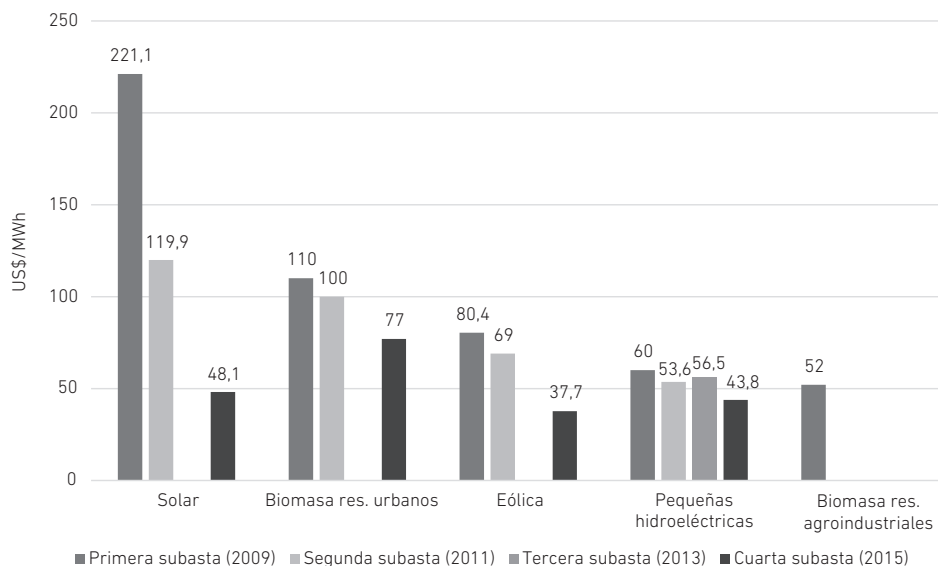
Potencial eólico (MW) en el Perú (sobre los 100 m) por departamento

Departamento	Potencial eólico aprovechable (MW)	Potencial eólico excluido (MW)	Potencial eólico total (MW)
Amazonas	129	288	417
Áncash	708	108	816
Apurímac	0	0	0
Arequipa	1020	156	1176
Ayacucho	0	0	0
Cajamarca	891	282	1173
Callao	0	0	0
Cuzco	0	0	0
Huancavelica	0	0	0
Huánuco	0	0	0
Ica	2280	3015	5295
Junín	0	0	0
La Libertad	921	264	1185
Lambayeque	7017	2097	9114
Lima	429	189	618
Loreto	0	0	0
Madre de Dios	0	0	0
Moquegua	0	0	0
Pasco	0	0	0
Piura	7098	1503	8601
Puno	0	0	0
San Martín	0	0	0
Tacna	0	0	0
Tumbes	0	0	0
Ucayali	0	0	0
Total	20 493	7902	28 395

Nota. De Ministerio de Energía y Minas (2016).

Los departamentos con mayor potencial eólico aprovechable a 100 metros son Lambayeque y Piura con 7017 MW y 7098 MW respectivamente. Se observa además que, de 28 395 MW disponibles, se pueden aprovechar 20 493 MW, lo que representa un 72,17 % del total.

En la Figura 1 se pueden apreciar los resultados de las cuatro subastas RER en cuanto a los precios promedio de los proyectos adjudicados.

Figura 1*Precios promedio de los proyectos adjudicados*

Nota. De Vásquez et al. (2017).

Se puede apreciar que la energía eólica tuvo como resultado una importante disminución del precio promedio por MWh, desde la ejecución de la primera subasta, realizada en el 2009, hasta la cuarta, llevada a cabo en el 2015. Pasó de valer 80,4 \$/MWh en 2009 a 37,7 \$/MWh en 2015. Con miras a mejorar la competitividad de la industria eléctrica en el Perú y cumplir con objetivos ambientales definidos, resulta crítico contar con un empleo de energías renovables competitivo, comparándolo con las experiencias de otros países más desarrollados en este rubro; en esa comparación, el precio de la energía resulta ser un factor importante.

Vásquez et al. (2017) mencionan en uno de sus estudios los beneficios que ofrece el gobierno peruano a aquellas empresas que opten por realizar proyectos que utilicen los recursos energéticos renovables. Entre los beneficios mencionados, el gobierno promete, tal como lo establece el Decreto Legislativo 1002 (Presidencia de la República, 2010), brindar a los generadores garantías para que tengan acceso a las redes eléctricas, dar prioridad en el despacho de energía y otorgar también garantías sobre el precio que percibirán en los 20 años de vigencia del proyecto, cuando estos sean adjudicados en las subastas de contratos de generación eléctrica mediante RER. Por otro lado, el gobierno ha establecido un esquema de devolución de impuestos en los proyectos de recursos energéticos renovables. Asimismo, ha propuesto un mecanismo de depreciación de hasta 20 % de todos los gastos de inversión que asuma la empresa en maquinaria, equipo y obra civil, que

contribuyen a la determinación de la base imponible. Además, los generadores cuentan con un beneficio de devolución del IGV y una garantía sobre sus ingresos anuales que es financiada con el pago de los consumidores de electricidad en el Perú.

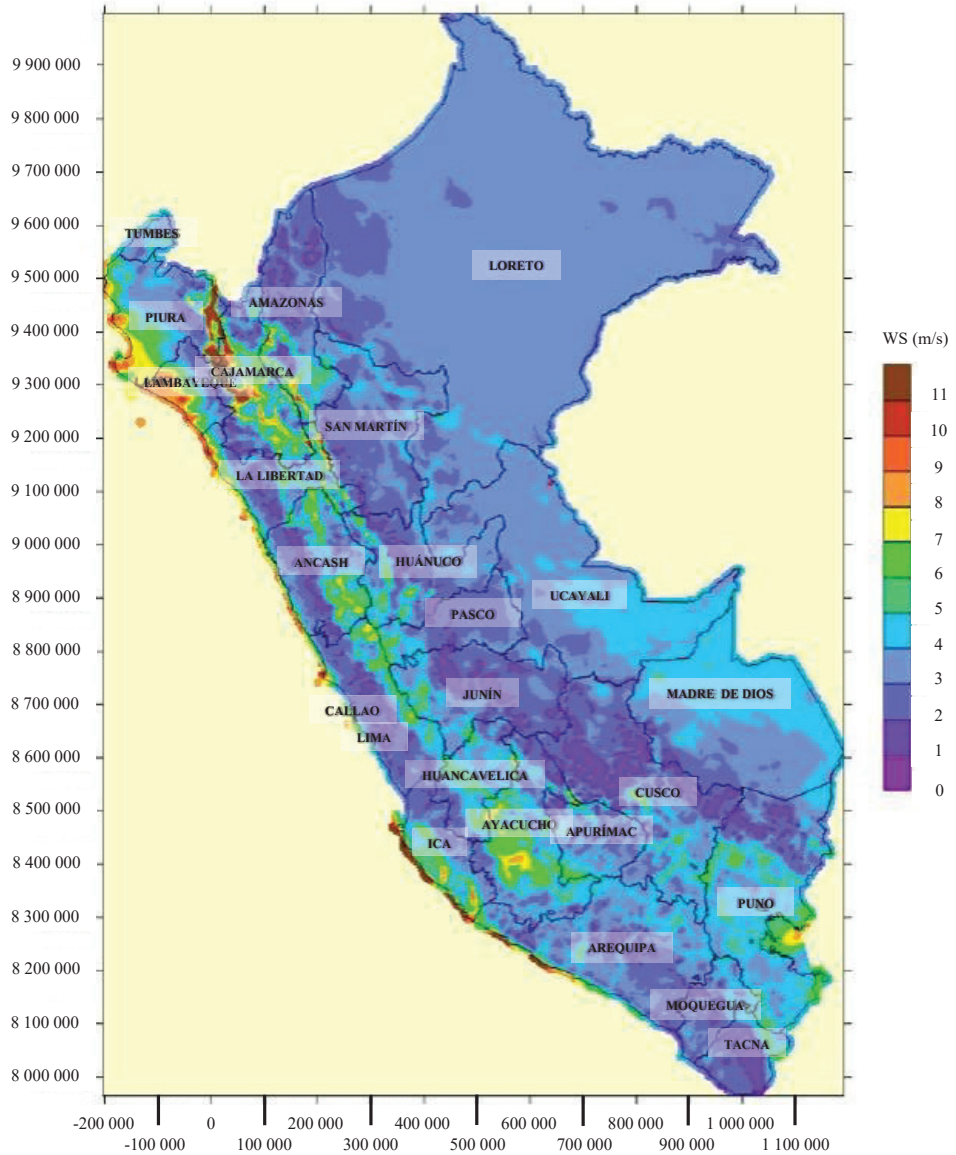
Asimismo, el Perú cuenta con un Marco Normativo de RER que incluye tres decretos y una resolución ministerial, detallados a continuación:

- Decreto Legislativo 1002. Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables (Presidencia de la República, 2010).
- Decreto Supremo 012-2011-EM. Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2011).
- Decreto Supremo 020-2013-EM. Reglamento para la promoción de la inversión eléctrica en áreas no conectadas a red (*off-grid*) (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2013).
- Resolución Ministerial 203-2013-MEM/DM. Plan de acceso universal a la energía (Ministerio del Ambiente, 2013).

El detalle y la aplicación de las mencionadas normas evidencia que el Perú vela por fomentar el empleo de las energías renovables para la generación de electricidad en el país. Tanto es así que, en el año 2008, el desarrollo de proyectos de generación con RER se inició, justamente con la emisión del marco normativo detallado previamente, introduciendo el mecanismo de subastas para la promoción de inversiones privadas y la adjudicación de proyectos. Respecto del potencial del país para la generación de energía eólica, en la Figura 2 se observa la velocidad media anual del viento a una altura de 100 metros.

Figura 2

Mapa de velocidad media anual del viento a 100 m



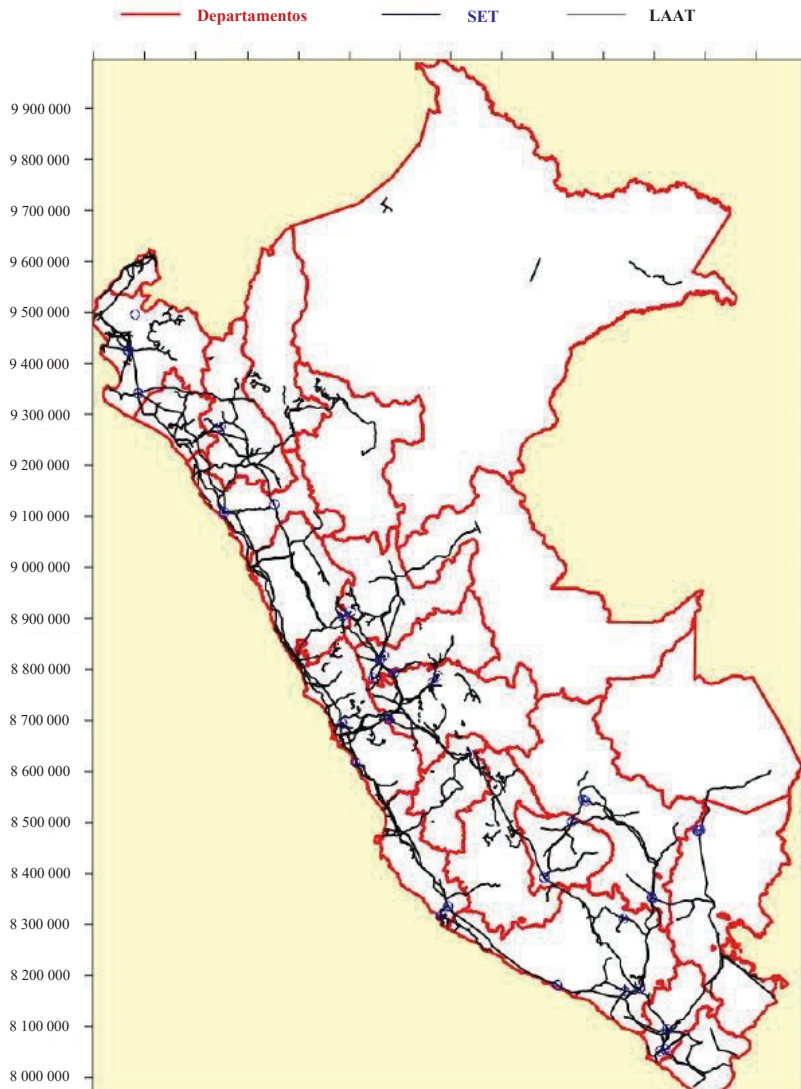
Nota. De Ministerio de Energía y Minas (2016).

Como se observa en el mapa, la zona con mayor velocidad media anual del viento a 100 metros es la costa. En esta predominan los departamentos de Piura, Lambayeque, La Libertad, Áncash, Lima, Ica y Arequipa. Para el caso de la sierra, no se muestra una

velocidad media anual del viento que sea significativa, con excepción del departamento de Cajamarca. A partir de la Figura 2, se evidencia que se trata de nueve departamentos los que poseen un considerable potencial para la generación de energía eólica y que la mayoría están localizados en la costa del Perú.

Figura 3

Mapa de las principales subestaciones eléctricas (SET) y líneas de alta tensión (LAAT) del Perú

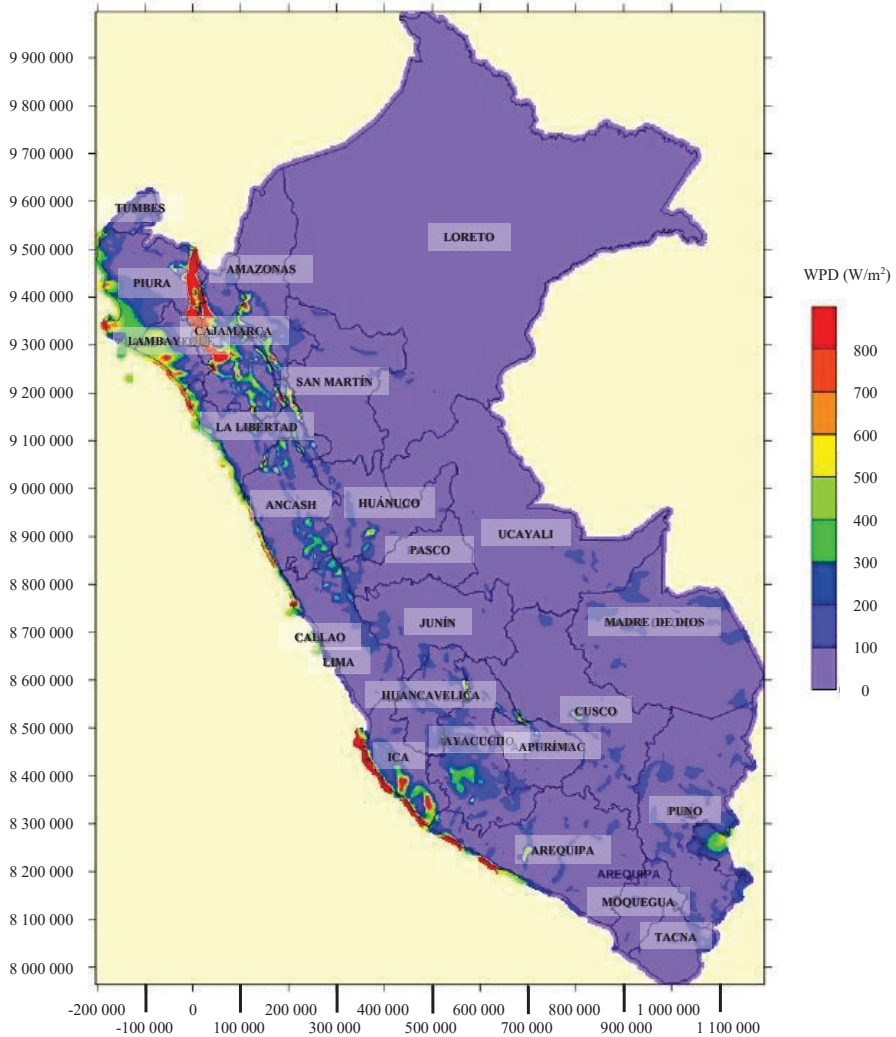


Nota. De Ministerio de Energía y Minas (2016).

En la Figura 3, se observa que las líneas de alta tensión y las subestaciones se encuentran en su mayoría en la costa peruana. De la misma manera hay una fuerte presencia en la sierra. La selva casi no tiene líneas eléctricas y eso se debe, probablemente, a la geografía de la región.

Figura 4

Mapa de densidad de potencia media anual a 100 m



Nota. De Ministerio de Energía y Minas (2016)

De acuerdo con el mapa de la Figura 4, la mayor densidad de potencia media anual a 100 m se encuentra en la zona costera y desértica de Ica y en la parte de la sierra de Piura y en el departamento de Cajamarca. Sin embargo, la tabla de clasificación de la densidad de potencia del viento mostrada a continuación nos dice que a partir de 500 W/m², el recurso ya es excelente y a partir de 400 W/m² ya es bueno. A partir de esta información, se puede incluir a los departamentos de Piura y Lambayeque entre las zonas potenciales para desarrollo, junto con las zonas costeras de La Libertad, Áncash y Arequipa.

Tabla 5

Clasificación de la densidad de potencia del viento

Clase de potencia del viento	Clasificación del potencial del recurso	Densidad de potencia (W/m ²)
1	Pobre	0 - 200
2	Escaso	200 - 300
3	Moderado	300 - 400
4	Bueno	400 - 500
5	Excelente 1	500 - 600
6	Excelente 2	600 - 800
7	Excelente 3	> 800

Nota. De Ministerio de Energía y Minas (2016)

4. DISCUSIÓN

Al inicio de este estudio, se planteó como finalidad analizar el potencial que posee el Perú para el desarrollo de la energía eólica, a través de la revisión sistemática de investigaciones y artículos que evidenciaran los impactos ambientales y económicos, así como la capacidad que se tiene para generar energía limpia. Entre los principales resultados que encontramos en las investigaciones revisadas, se cuenta un número importante de proyectos adjudicados y de parques eólicos en ejecución en el Perú. Asimismo, se pudo identificar la cantidad de energía que se produce y que se puede producir, el precio promedio, las zonas aptas para el desarrollo de la generación eólica de electricidad, entre otros indicadores. Es a través de esta información que podemos afirmar que el Perú es un país con un alto potencial y una gran oportunidad para el desarrollo de energía eólica lo que se explica a continuación.

De acuerdo con la información recopilada del *Atlas eólico del Perú*, se tenían cuatro parques eólicos en operación y tres en desarrollo, pero como ya se mencionó anteriormente, y como lo señala el sitio web del Gobierno del Perú (2021), hoy en día ya se encuentran en operación las siete centrales eólicas, que generan energía limpia para atender la demanda nacional y con una potencia nominal de 401 MW. Por otro lado,

según el *Atlas eólico del Perú*, para el año 2015 se sabía que existían 433 GW (sabiendo que 1 GW equivale a 1,000 MW) de potencia nominal en las centrales eólicas operativas en todo el mundo. China contaba con 145 GW, Estados Unidos con 74 GW y Alemania con 45 GW de potencia nominal instalada. De la misma manera, el *Atlas eólico del Perú* señala que Brasil, la mayor potencia económica de América del Sur, para aquel año contaba con 8700 MW instalados en parques eólicos. Como se hace evidente, la cantidad de energía eólica que se puede generar en el Perú con la infraestructura desarrollada hasta el año 2022 es significativamente inferior, comparándola con Brasil y los otros países mencionados. Sin embargo, de acuerdo con la tabla de potencial eólico aprovechable en el Perú, la geografía peruana permite desarrollar centrales eólicas que pueden llegar a generar casi 21 000 MW de energía en todo el territorio. De acuerdo con Tamayo et al. (2017) en el año 2015 se tenía una potencia instalada de 4152 MW en centrales hidroeléctricas y 7701 MW en centrales térmicas. El potencial aprovechable de energía eólica es mayor a la suma de ambos y tan solo con el potencial de los departamentos de Arequipa, Ica, Lambayeque y Piura, se puede instalar una potencia de 17 415 MW. Esto resulta positivo y es indicador de que en el Perú se pueden desarrollar proyectos eólicos que tengan un alto impacto ambiental, aumenten la competitividad del país respecto a la generación de energías renovables y también den energía limpia a las distintas comunidades a lo largo del país.

Otro aspecto que cabe resaltar es respecto a las zonas donde se encuentra este potencial aprovechable. Según el Ministerio del Ambiente (2019) el Perú es un país que tiene una gran variedad de regiones como la selva tropical, la yunga, la región andina y costera. De acuerdo con el mapa de velocidad media anual del viento a 100 metros de altura y el mapa de densidad de potencia anual, los departamentos con mayor potencial eólico aprovechable son Piura, Lambayeque, Ica, Áncash, La Libertad y Arequipa; y la región en esos departamentos donde se encuentran esos vientos es la costera, con velocidades que llegan a superar los 7 m/s y con densidades superiores a 400 W/m² (Ministerio de Energía y Minas, 2016). Por otro lado, el mapa de las principales subestaciones y líneas de transmisión de energía, demuestra que en la costa se cuenta con la infraestructura adecuada para la transmisión y gestión de la energía (Ministerio de Energía y Minas, 2016). Esto resulta ventajoso, no solo por el potencial para generar energía y la infraestructura eléctrica, sino también porque, según Colmenares-Quintero et al. (2020), las comunidades que han tenido una mayor educación y que cuentan con más acceso a información tienen una tendencia más alta hacia la aceptación de los proyectos de energía renovable que se incorporan en la geografía de la región. Dicho esto, la región costera del Perú es la más desarrollada e integrada con el mundo moderno, lo que significa una ventaja hacia la aceptación por parte de la sociedad de proyectos RER. No obstante, el artículo señala también que las centrales de energía solar, biomasa e hidroeléctricas tienen un grado de aceptación superior a los parques

eólicos, pero una ventaja que traen consigo los altos vientos en la costa es que no resulta necesario instalar las centrales eólicas en tierra, sino que se pueden desarrollar en el mar, fuera de la costa. Según Kühn et al. (2022) los parques eólicos *offshore* (fuera de la costa), a diferencia de las centrales de energía solar, funcionan de noche y, a diferencia de los parques eólicos *onshore* (en la costa), generan menos descontento en la población al no suponer una contaminación visual debido a la lejanía en la que se encuentran. Esto resulta beneficioso y da la oportunidad para aprovechar el potencial de la región costera del Perú para desarrollar proyectos eólicos. Kühn et al. (2022) señalan además que la única desventaja de las centrales eólicas *offshore* es que requieren de una mayor inversión, ya que se debe desarrollar la infraestructura para que las turbinas funcionen en el mar, ya sea anclándolas o mediante mecanismos de flotación y, además, se tiene que instalar un sistema submarino de transmisión de energía. Pero como evidencia el mapa de vías de comunicación, la costa cuenta con una red vial amplia y con una buena cantidad de puertos, lo que facilitaría las operaciones para el desarrollo y funcionamiento de las centrales eólicas costeras (Ministerio de Energía y Minas, 2016).

Otro aspecto que mencionar es el precio promedio de la energía de los proyectos adjudicados. Como se vio en la sección de resultados, este ha disminuido y no solo para los de generación de energía eólica, sino para todos los proyectos RER. De acuerdo con Taylor et al. (2020) la generación de energía renovable es más barata que la generación de energía a través de combustibles fósiles y la disminución en los precios de la energía renovable subastada se debe a una mejora en la eficiencia de las tecnologías, que permiten generar más energía a un precio similar o menor. Asimismo, se cuenta con cadenas de suministro más competitivas y metodologías más eficientes, producto de la experiencia que tienen las empresas desarrolladoras. Esta disminución en los precios de las subastas implica una disminución en los costos de inversión, producto de mejores tecnologías y metodologías más eficientes.

Por último, de acuerdo con Vásquez et al. (2017), se realizó una inversión total de 567,2 millones de dólares en los parques eólicos de Marcona, Cupisnique, Talara y Tres Hermanas. Los proyectos eólicos *onshore* y *offshore* que se podrían realizar en los siguientes años van a necesitar una inversión de varios miles de millones de dólares. Hoy en día, debido a la crisis sociopolítica que atraviesa el Perú, hay un alto riesgo en invertir y principalmente en este tipo de proyectos que tienen muchas partes interesadas. Además, el alza en los precios de los combustibles por el embargo estadounidense a Rusia como sanción por la guerra en Ucrania genera una dificultad para llevar a cabo proyectos RER, ya que el precio para transportar equipos, materiales y capital humano es mayor que antes. A pesar de ello, el gobierno peruano ha dispuesto decretos y resoluciones que favorecen el desarrollo de proyectos RER. Estos dan garantías a los generadores para tener un acceso a las redes de transmisión de electricidad, prioridad en el despacho de energía frente a las centrales de generación que utilizan combustibles fósiles y precios

estables para la venta de la energía. Si bien el panorama para el planeamiento, inversión y construcción de un parque eólico es complicado, existen leyes que protegen a las empresas generadoras y que permiten la generación de utilidades y un retorno de la inversión a largo plazo. Existen, además, esquemas de devolución de impuestos, mecanismos de depreciación de los gastos en inversión en maquinaria, equipo y obra civil, beneficios de devolución de IGV y garantías sobre los ingresos anuales. Como se mencionó, si bien existe un alto riesgo para implementar proyectos RER en el Perú y se requiere de grandes inversiones, hay leyes que benefician a las empresas que llevan a cabo estos proyectos y que garantizan un retorno a largo plazo de la inversión. Además, con mejores tecnologías, métodos de trabajo que disminuyen los costos y con un sistema de generación de energía más estable, enfocarse en el desarrollo de energía eólica resulta una opción viable para producir energía amigable con el medio ambiente y que permite una disminución en la contaminación ambiental y, por ende, una mejora en la calidad de vida de las personas.

5. CONCLUSIONES

En primer lugar, fue posible llevar a cabo un análisis exhaustivo acerca del desarrollo y el potencial de la energía eólica en el Perú, a partir de estudios realizados en diferentes regiones sobre este tipo de energía y otros tipos de recursos energéticos renovables. Se pudo evidenciar que el Perú vela por el aprovechamiento de las energías renovables y su desarrollo. Sin embargo, falta mucho camino por recorrer, ya que el potencial que posee el país para la elaboración de proyectos que desarrollen e impulsen este tipo de energías es considerable, como se evidenció con el potencial eólico, y le hacen un bien al medio ambiente con la reducción de la contaminación.

Asimismo, se pudo identificar los impactos ambientales y económicos que trae consigo el desarrollo de la energía eólica. Reducción de gases de efecto invernadero y de la dependencia de combustibles fósiles, costos más bajos de la energía renovable en comparación con la energía generada por combustibles fósiles son solo algunos de los numerosos impactos positivos obtenidos a partir del desarrollo de las energías renovables. En un país como el Perú, el cual se encuentra aún en vías de desarrollo, resulta primordial ejecutar proyectos RER para seguir aumentando estos impactos positivos y mejorar la competitividad del SEIN frente a otras regiones del continente y del mundo.

El Perú es un país con alto potencial para el desarrollo de la energía eólica, no solo por su extensión y por las políticas que se tienen para el incentivo de este, sino también porque la geografía y las características de los diversos climas del país contribuyen a que las zonas donde es totalmente factible y posible la construcción de un parque eólico sean numerosas, especialmente en la costa. Es así que se puede concluir finalmente que el Perú es un país en el que, si bien se posee de igual manera ciertas dificultades

políticas y sociales, se tienen las condiciones óptimas que facilitarían y permitirían el desarrollo de la energía eólica, teniendo un impacto positivo en la calidad de vida de las personas.

REFERENCIAS

- Chou, D. C. R., Martínez, I. K. E., & Ramírez, M. R. (2017). Energía eólica y aerogeneradores: estudio comparativo de diferentes variantes para el perfeccionamiento de las multiplicadoras. *Universidad y Sociedad*, 9(4), 120-127. <https://rus.ucf.edu/cu/index.php/rus/article/view/671>
- Colmenares-Quintero, R. F., Benavides-Castillo, J. M., Rojas, N., & Stansfield, K. E. (2020). Community perceptions, beliefs and acceptability of renewable energies projects: A systematic mapping study. *Cogent Psychology*, 7(1), 1715534. <https://doi.org/10.1080/23311908.2020.1715534>
- Endesa (2021, 2 agosto). *Conoce la energía eólica: sus ventajas, qué es y cómo funciona*. Recuperado el 5 de julio de 2022, de <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/energias-renovables/energia-eolica#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20e%C3%B3lica%20utiliza%20la,para%20crear%20el%20voltaje%20el%C3%A9ctrico>.
- Estrada Gasca, C. A. (2013). Transición energética, energías renovables y energía solar de potencia. *Revista Mexicana de Física*, 59(2), 75-84. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57030971010>
- Fundación Endesa. (2021). *La energía*. Recuperado el 5 de julio de 2022, de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/que-es-la-energia>
- Gamio Aita, P. (2017). Energía: un cambio necesario en el Perú. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, 1, 93-135. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.201701.004>
- Gárate, C. E., Paredes, N. A. R., Phillips, A. R., & Manrique, R. K. (2017). Tendencias actuales en la inversión en energía renovable. Apuntes para una futura reforma de la industria eléctrica peruana. *Revista Peruana de Energía*, (6), 195-209. <https://drive.google.com/file/d/11bzZvWjUBxjsFfjvzaZHcLptJJHsk7vL/view>
- Gobierno del Perú. (2021, 24 de noviembre). *Siete centrales eólicas ayudan a atender la demanda eléctrica del país con energías limpias*. <https://www.gob.pe/es/n/563316>
- González, A. (2006). El concepto "energía" en la enseñanza de las ciencias. *Revista Iberoamericana de Educación*, 38(2), 1-6. <https://doi.org/10.35362/rie3822660>

- Hernández-Vásquez, A., & Díaz-Seijas, D. (2017). Contaminación ambiental y repositorios de datos históricos de contaminantes atmosféricos en Perú. *Salud Pública de México*, 59(5), 507–508. <https://doi.org/10.21149/8476>
- Kühn, F., Liebach, F., Matthey, T., Schlosser, A., & Zivansky, J. (2022, 20 de abril). *How to succeed in the expanding global offshore wind market*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/how-to-succeed-in-the-expanding-global-offshore-wind-market>
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Mapa nacional de ecosistemas del Perú* [Infografía]. <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>
- Ministerio del Ambiente. (2021). *Nuestro desafío climático* [Infografía]. <https://www.gob.pe/es/i/2052852>
- Ministerio de Energía y Minas. (2013). Resolución Ministerial 203-2013-MEM/DM del 24 de mayo 2013. Aprueban Plan de Acceso Universal a la energía 2013-2022 Resolución Ministerial N° 203-2013-MEM/DM. <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/4717705-203-2013-mem-dm>
- Ministerio de Energía y Minas. (2016). *Atlas eólico del Perú*. <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00367.pdf>
- Mujica, N., & Rincón, S. (2010, junio). El concepto de desarrollo: posiciones teóricas más relevantes. *Revista Venezolana de Gerencia*, 15(50), 294-320. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-99842010000200007
- Naciones Unidas. (2021, 9 de agosto). Cambio climático: el ser humano ha calentado el planeta a un nivel nunca antes visto en los últimos 2000 años. *Noticias ONU*. <https://news.un.org/es/story/2021/08/1495262>
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (2011). Decreto Supremo 012-2011-EM. Aprueban nuevo Reglamento de la Generación de Electricidad con Energías Renovables. <https://www.gob.pe/es/l/739399>
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (2013). Decreto Supremo 020-2013-EM. Aprueban Reglamento para la Promoción de la Inversión Eléctrica en Áreas No Conectadas a Red. <https://www.gob.pe/es/l/733932>
- Presidencia de la República del Perú. (2010). Decreto Legislativo 1002 de 2010. Decreto legislativo de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables. 13 de setiembre del 2010. https://www.minem.gob.pe/archivos/legislacion-9ozj22z9ap5zz33z-DL_de_promocion_de_la_inversion_para_la_generacion_de_electricidad_con_el_uso_de_energias_renovables_1002.pdf

- Quispe, A. M., & Calderón, J. (2015). Evaluación, aplicación, difusión y abastecimiento de un sistema de generación eólica. *Campus*, XX(20), 57–68. doi.org/10.24265/campus.2016.v20n20.06
- Ruiz, K., & Mimbela, M. (2021). Análisis del sector de energía eléctrica en el Perú [Tesis de maestría] Pirhua – repositorio institucional. Universidad de Piura. <https://hdl.handle.net/11042/5092>
- Schmerler, D., Velarde, J. C., Rodríguez, A., & Solís, B. (2019). *Energías renovables: experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética*. Osinergmin. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf
- Tamayo, J., Jácome, J., Vásquez, A. & Vilches, C. (2017). *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. Osinergmin. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anos.pdf
- Taylor, M., Rolan, P., Anuta, H., & Al-Zoghoul, S. (2020). *Renewable Power Generation Costs in 2019*. International Renewable Energy Agency.
- Vásquez, A., Tamayo, J., & Salvador, J. (2017, febrero). *La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático*. Osinergmin. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anos.pdf
- Zemansky, S. Y. & Freedman, Y. Y. (2013, 1 enero). *Física universitaria* (Vol. 1, 13.ª ed.). Pearson Educación.