



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“ESTUDIO DE VIABILIDAD DEL USO DE
ENERGÍA EÓLICA COMO ALTERNATIVA A
FUENTES DE ENERGIA CONVENCIONALES EN
LA INDUSTRIA MINERA, PERÚ 2023”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Jose Jahir Ticlla Lozada

Luis Fernando Velasquez Romero

Asesor:

MSc. Marco Antonio Díaz Díaz

<https://orcid.org/0000-0003-4624-4564>

Cajamarca - Perú

2024

Jurado 1 Presidente(a)	WILBERTO EFFIO QUEZADA
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	Victor Alvarez
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	MARCO ANTONIO DIAZ DIAZ
	Nombre y Apellidos

TESIS-TICLLA-VELASQUEZ_10-03-24.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

11 %

INDICE DE SIMILITUD

10 %

FUENTES DE INTERNET

2 %

PUBLICACIONES

4 %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	ciep.ing.uaslp.mx Fuente de Internet	1 %
2	ccsi.columbia.edu Fuente de Internet	1 %
3	www.gem.wiki Fuente de Internet	1 %
4	www.grafiati.com Fuente de Internet	1 %
5	riosantiago.jalisco.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
6	Submitted to ADEN University Trabajo del estudiante	<1 %
7	aida-americas.org Fuente de Internet	<1 %
8	Submitted to Universidad Anahuac México Sur Trabajo del estudiante	<1 %
9	vdocuments.pub Fuente de Internet	

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo con profundo amor y gratitud a nuestros padres, quienes nos han respaldado incondicionalmente, especialmente durante la desafiante pandemia, ofreciendo apoyo emocional y económico. Reconocemos su sacrificio y fortaleza, pilares que nos han permitido avanzar. Extendemos nuestro más sincero respeto a nuestros maestros, cuya sabiduría y orientación han sido esenciales en cada desafío que hemos enfrentado. Su compromiso con nuestra educación ha sido fundamental para llegar a este punto. Este trabajo es un testimonio de su impacto positivo y de la conexión entre el aprendizaje y nuestro crecimiento personal. Expresamos nuestras más profundas muestras de respeto y agradecimiento hacia ellos.

AGRADECIMIENTO

Expresamos sincera gratitud a Dios por brindarnos un día más en este efímero camino de la vida. A nuestros queridos familiares y amigos cercanos, les agradecemos profundamente por su apoyo moral y social, fundamentales en la realización de esta tesis. Su presencia ha sido el sustento que ha fortalecido nuestra determinación y la chispa que ha avivado nuestra llama de perseverancia. Este logro no solo es nuestro, sino también suyo, y cada gesto de aliento ha sido como un faro iluminando nuestro camino académico. Con humildad y gratitud, cerramos este capítulo, conscientes de que la magnitud de este logro se amplifica gracias a la calidez de su contribución.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FORMULAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA	12
1.2. JUSTIFICACIÓN	13
1.3. ANTECEDENTES	16
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.5. OBJETIVOS	21
1.6. HIPÓTESIS	22
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	24
2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	24
2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	25
2.3. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y MÉTODOS.....	27
2.4. PROCEDIMIENTOS.....	40
CAPÍTULO III. RESULTADOS	59
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	68
4.1. DISCUSIÓN	68
4.2. CONCLUSIONES	73
REFERENCIAS	75
ANEXOS	78

Índice de tablas

Tabla 1. Cuadro de demanda energética, empresa minera, proyecto, demanda MW producto principal y Ubicación.....	26
Tabla 2. Costos de inversión, operación, mantenimiento y vida útil de los parques eólicos.....	31
Tabla 3. Información general de los Parques Eólicos	32
Tabla 4: Demanda energética de empresas mineras	33
Tabla 5: Consumo energético de empresas mineras	40
Tabla 6. Consumo energético aproximado de equipos eléctricos para campamentos mineros	41
Tabla 7. Consumo energético aproximado de equipos eléctricos para operaciones mineras	42
Tabla 8. Consumo energético aproximado de equipos eléctricos para procesos mineros	42
Tabla 9. Consumo aproximado de energía total por sector	43
Tabla 10. Consumo Energético en Proyectos Mineros a través de Sectores Específicos.....	44
Tabla 11. Centrales eólicas.....	45
Tabla 12. Costos de inversión de parques eólicos en Mdd	47
Tabla 13. Costos de Operación y Mantenimiento de parques eólicos.....	47
Tabla 14. Sumatoria de costos de inversión, operación y mantenimiento MW/30 años en Mdd Energía Eólica.....	48
Tabla 15. Consumo energético de las empresas mineras en diferentes escalas del tiempo	49
Tabla 16. Costos de consumo a través del tiempo de energía convencional en empresas mineras	50
Tabla 17. Tabla comparativa de costos de energía convencional y energía eólica.....	51
Tabla 18. Factor de emisión de GEI por el consumo de energía actual de las empresas mineras a través del tiempo (30 años).	53
Tabla 19. Factor de emisión de GEI de las plantas eólicas por la de energía eléctrica generada	54
Tabla 20. Factor de emisión de GEI de las empresas mineras al consumir energía eólica.....	55
Tabla 21. Reducción de emisiones de CO ₂ e _q al pasar de la energía convencional a la energía eólica.....	56

Índice de Formulas

Fórmula 1 : Costos de Inversión de centrales eólicas	30
Fórmula 2: Costos de Operación y Mantenimiento	31
Fórmula 3: Demanda energética	33
Fórmula 4: Costos de energía eléctrica.....	34
Fórmulas 5: Factor de emisión de GEI	36
Fórmulas 6: Cálculo de emisiones con energía Eólica.....	37
Fórmulas 7: Reducción de Emisiones	38

Índice de figuras

Flujograma 1. Método para Identificar la dependencia de las fuentes convencionales de energía en las operaciones mineras.....	29
Flujograma 2. Método para Calcular los costos de inversión, operación y mantenimiento asociados con la implementación de sistemas de energía eólica en la industria minera en comparación con las fuentes convencionales.	35
Flujograma 3. Método para evaluar el impacto ambiental de la integración de energía eólica en las operaciones mineras, centrándose en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente dióxido de carbono (CO ₂).....	39
Figura 1: Consumo aproximado de energía por sector minero.....	59
Figura 2: Dependencia de las fuentes convencionales de energía en las operaciones mineras.	60
Figura 3. Costos de inversión de Parques Eólicos en Mdd según su Potencia instalada en MW.	61
Figura 4. Costos de Operación y Mantenimiento de Parques Eólicos.....	62
Figura 5: Comparativa de implementación de sistema de energía eólica por 30 años en comparación con la energía convencional.	63
Figura 6. Emisiones de GEI (tCO ₂ eq/MW) de energía convencional (EC) de 1 – 30 años.....	64
Figura 7. Emisiones de GEI (tCO ₂ eq/MW) de energía Eólica (EO) de 1 – 30 años.	65
Figura 8. Reducción de emisiones de GEI (t CO ₂ eq/MW) por 1 año.....	66
Figura 9: Reducción de emisiones de GEI (t CO ₂ eq/MW) por 30 años.....	67

RESUMEN

El objetivo general del estudio fue determinar la viabilidad de la adopción de energía eólica como reemplazo a las fuentes convencionales en la industria minera peruana. Se empleó una metodología cuantitativa de diseño no experimental de tipo descriptivo. Los resultados revelan que la implementación de energía eólica en la industria minera peruana ofrece una oportunidad significativa para reducir los costos de inversión, operación y mantenimiento a largo plazo. Por ejemplo, se estima que la planta eólica San Juan de Marcona requeriría una inversión total de 342 millones de dólares, mientras que la planta eólica Punta Lomitas costaría 570 millones de dólares en el mismo período. En contraste, los costos de servicio eléctrico para las empresas mineras oscilarían entre 175.9968 y 2868.74784 millones de dólares en 30 años. Además, la transición a la energía eólica tiene un impacto positivo en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, con posibles reducciones que van desde 662,515.2 hasta 5,999,443.2 toneladas de CO₂eq durante tres décadas. Esta adopción no solo es económicamente eficiente, sino que también contribuye a promover una economía más limpia y sostenible, protegiendo al medio ambiente.

PALABRAS CLAVES: Energía Eólica, Minería Verde, Energía eléctrica, Plantas eólicas.

Abstract

The general objective of the study was to determine the feasibility of adopting wind energy as a replacement for conventional sources in the Peruvian mining industry. A descriptive non-experimental design quantitative methodology was used. The results reveal that the implementation of wind energy in the Peruvian mining industry offers a significant opportunity to reduce investment, operation and maintenance costs in the long term. For example, it is estimated that the San Juan de Marcona wind plant would require a total investment of US\$342 million, while the Punta Lomitas wind plant would cost US\$570 million over the same period. In contrast, electricity service costs for mining companies would range from US\$175.9968 million to US\$2868.74784 million over 30 years. In addition, the transition to wind power has a positive impact on reducing greenhouse gas emissions, with possible reductions ranging from 662,515.2 to 5,999,443.2 tons of CO₂eq over three decades. This adoption is not only economically efficient, but also contributes to promoting a cleaner and more sustainable economy, protecting the environment.

Keywords: Wind Energy, Green Mining, Electric Power, Wind Plants.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

Los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) son, con diferencia, los que más contribuyen al cambio climático global: representan más del 75% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y casi el 90% de todas las emisiones de dióxido de carbono. La mayor parte de la electricidad todavía se genera quemando carbón o gas natural, que libera dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno, poderosos gases de efecto invernadero que se acumulan en la atmósfera y atrapan el calor del sol. Para combatir esto, más de una cuarta parte de la producción mundial de electricidad proviene de fuentes de energía renovables eólica y solar que, a diferencia de los combustibles fósiles, emiten pocos o ningún gas o contaminantes al aire (Naciones Unidas, 2021).

La energía eléctrica es uno de los principales desembolsos económicos en la industria minera, oscilando entre el 15% y el 40% de los costos totales de operación. Con una proporción tan considerable de recursos dedicados a la producción de energía, y gran parte de ella proveniente de fuentes de combustibles fósiles, la industria minera se encuentra altamente vulnerable a las fluctuaciones del mercado energético (Igogo et al., 2021).

América Latina no es ajena a esta situación. La región participa tanto en la quema de carbón como en la extracción de minerales, que después de la exportación se utilizan como fuente de energía fósil en otras partes del mundo. Por ejemplo, Colombia es el quinto mayor exportador de carbón del mundo, y México es el decimocuarto emisor de gases de efecto invernadero (GEI) del mundo. Como tal, está interesado en los esfuerzos globales para limitar la extracción y quema de carbón a

favor de sistemas energéticos basados en fuentes de energía renovables no convencionales que sean sostenibles a largo plazo y protejan el medio ambiente y las personas (Quintanilla Sangüeza, 2023).

Más de dos tercios del suministro total de energía del Perú provienen de combustibles fósiles. El petróleo representa alrededor del 43%, seguido del gas (26-31%, según algunos informes recientes) y el carbón (2%). La energía renovable representa menos del 6% de la matriz energética total del país. La energía hidroeléctrica es la forma más importante de energía renovable y representa el 35,64% de la capacidad eléctrica instalada y el 57,85% de la generación eléctrica en 2020. La Política Energética Nacional del Perú (Propuesta de Política Energética del Estado Peruano 2010-2040) tiene como objetivo diversificar la combinación energética del país y enfatiza las energías renovables y la eficiencia energética para satisfacer las necesidades de largo plazo del país (Global Energy Monitor contributors, 2022).

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación Teórica

La energía eólica es reconocida como una fuente de energía renovable, respetuosa con el medio ambiente y abundante que ayuda a reducir la dependencia de los combustibles fósiles que provocan las emisiones de gases de efecto invernadero que a su vez están vinculadas al calentamiento global. Además, la energía eólica es una fuente de energía doméstica que se puede encontrar prácticamente en cualquier parte del mundo. La producción y el uso eficiente de la energía eólica contribuyen al desarrollo sostenible. Cabe destacar que la energía eólica no emite sustancias tóxicas ni contaminantes del aire muy perjudiciales para el medio ambiente y el ser humano. En resumen: la energía eólica sigue siendo la

tecnología más eficiente para generar energía de forma segura y respetuosa con el medio ambiente: libre de emisiones, inagotable y crea prosperidad y empleo (Acciona, 2022).

1.2.2. Justificación Practica

La incorporación de la generación de energía renovable en las explotaciones mineras no solo proporciona a las empresas la oportunidad de reducir las emisiones de carbono, sino también de mejorar la eficiencia de sus operaciones y mitigar los riesgos relacionados con la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles. Además, tanto las empresas mineras como los gobiernos nacionales pueden obtener beneficios adicionales de la energía renovable, como el estímulo al desarrollo económico local y la mejora de la aceptación social. Dividiendo las oportunidades de integración de energías renovables en la industria minera en dos grupos principales: aquellas dirigidas a las operaciones mineras y aquellas enfocadas en las comunidades mineras. (Igogo et al.,2021).

Las energías renovables tienen un papel crucial en sustituir a los combustibles pesados, gasóleo y carbón, utilizados en las operaciones mineras que dependen de la electricidad. Un ejemplo destacado es la trituración, una de las actividades mineras que más consume electricidad, representando aproximadamente el 15% de la demanda total de energía en la minería de hierro y el 21% en la producción de oro. Afortunadamente, la trituración está mayoritariamente electrificada, lo que facilita su abordaje mediante fuentes renovables. De igual manera, se contempló que los sistemas de ventilación en minas subterráneas utilizan una cantidad significativa de electricidad, siendo aproximadamente el 20% de la demanda total de energía en la producción de oro (Igogo et al.,2021).

1.2.3. Justificación económica

Según Igogo et al. (2021) que hacen mención sobre las tecnologías de energías renovables, como la energía eólica y solar, han demostrado recientemente ser la opción más económica en términos de coste nivelado de la energía en numerosas regiones del mundo, y sus costos de inversión también siguen disminuyendo. En consecuencia, la incorporación de fuentes de generación renovable en las operaciones mineras ofrece a las empresas no solo la oportunidad de reducir las emisiones de carbono, sino también de mejorar los márgenes operativos y disminuir los riesgos asociados a la volatilidad de los combustibles fósiles. Además, tanto las empresas mineras como los gobiernos nacionales pueden obtener beneficios adicionales al emplear energía renovable, como impulsar el desarrollo económico local y mejorar la aceptación social, favoreciendo la creación de valor compartido.

Según Irena (2022) indica que, en el caso de los proyectos eólicos terrestres, el coste medio ponderado mundial de la electricidad cayó un 56% entre 2010 y 2020, de 0,089 dólares/kWh a 0,039 dólares/kWh. Ya que los factores de capacidad promedio aumentaron del 27% al 36% y los costos totales de instalación disminuyeron de \$1 971/kW a \$1 355/kW. Los costos de la electricidad se ven impulsados principalmente por la caída de los costos generales de instalación, las reducciones de costos en la energía eólica terrestre se han visto impulsadas de manera más uniforme por las caídas en los precios de las turbinas y el balance de costos energéticos de la planta, así como por factores de mayor capacidad provenientes de la última tecnología actual. turbinas.

Perú tiene un potencial considerable para la energía eólica, especialmente a lo largo de la costa y las principales montañas, donde las velocidades del viento oscilan entre 5 y 7,5 m/s, lo que permite su uso económico. Las zonas con mayor potencial eólico se ubican en la costa norte, también en los Andes y en los alrededores de Ica, al sur de Lima. Junto a esta creciente demanda, el Perú tiende a adoptar energías renovables, considerando su capacidad de proporcionar energía amigable con el medio ambiente. La aplicación de la energía eólica terrestre a lo largo de la costa, que tiene un gran potencial eólico, atrae importantes inversiones de empresas interesadas en este sector. Estos proyectos demuestran el compromiso del Perú con el desarrollo de la energía eólica como parte de una matriz energética sustentable. (Enel,Cobra,Greenenergy,ContourGlobal, 2022)

1.3. Antecedentes

1.3.1. Antecedentes internacionales

Navarro Montejo (2020) realizó un estudio sobre "Estrategias de reducción de costos asociados al cobro de la energía eléctrica consumida por la industria minera de Zacatecas, Durango, Sonora, Chihuahua y Guerrero" en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. En su investigación, destacó que la industria minera podría obtener beneficios mediante el uso de energía renovable, buscando así construir nuevas centrales de energía renovable y alcanzar los objetivos establecidos en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (COP21). Se pretende generar y consumir al menos un 35% de energía limpia para el año 2024 y reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) para abordar el cambio climático. Navarro Montejo también señaló que la Comisión Reguladora de Energía (CRE) ha desarrollado los certificados de energía limpia (CEL), que pueden

adquirir un valor económico según la oferta y la demanda de los participantes en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).

Igogo et al. (2021) en su investigación buscó analizar los retos, oportunidades y los enfoques que permiten integrar las tecnologías renovables en las explotaciones mineras, para ello empleo el enfoque cuantitativo, con un diseño transversal. Teniendo como resultado que, en varias regiones del mundo, la energía renovable, en particular la energía eólica, ha demostrado ser la fuente de energía más rentable en términos de LCOE. Además, los gastos de capital están disminuyendo constantemente. Este hecho ofrece a las empresas mineras la oportunidad de integrar la generación de energía renovable en sus procesos, permitiéndoles no solo reducir las emisiones de carbono sino también mejorar sus márgenes operativos y mitigar los riesgos asociados con la volatilidad de los combustibles fósiles. Tuvo como conclusión la reducción de costes de las tecnologías eólica y solar fotovoltaica ofrece fuertes incentivos financieros para ampliar el uso de energías renovables en la industria minera. Muchas opciones reducen la producción de carbono y aprovechan el ahorro de costes energéticos, como el aumento de las medidas de eficiencia energética.

Hoy en día, la energía renovable es la solución más asequible en la mayor parte del mundo. El precio de las tecnologías de energía renovable está cayendo rápidamente. La caída de los precios de las energías renovables está haciendo que estas sean más atractivas en todas partes, incluso en los países de ingresos bajos y medios, donde se ubica la mayor parte de la demanda adicional de nueva electricidad. A medida que los costos bajan, existe una alta probabilidad de que una

gran parte del suministro de energía provenga de fuentes bajas en carbono en los próximos años (Naciones Unidas, 2021).

Deutsche Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (2019) en su informe, el propósito principal radica en ofrecer sugerencias a las empresas mineras, a los productores de energía independientes, a los gobiernos y a las instituciones de desarrollo en cuanto a la forma de agilizar la incorporación de fuentes de energía renovable en la industria minera, empleando un enfoque mixto. La población estuvo compuesta por empresas mineras, productores de energía independientes, gobiernos e instituciones de desarrollo involucrados en la integración de energías renovables en el sector minero, mientras tanto la muestra fueron 53 individuos seleccionados de los diversos grupos de partes interesadas, a quienes se les aplicó entrevistas. Finalmente, los resultados indicaron que los proyectos de energía solar y eólica tienen el potencial de descarbonizar la porción eléctrica del consumo de energía. Teniendo esto en cuenta, y considerando los avances en la tecnología solar y eólica, así como la notable reducción de los precios de la energía solar y eólica en los últimos años, las soluciones de energía renovable se han vuelto cada vez más atractivas para las empresas mineras. La conclusión del estudio es que las tendencias y el impulso a largo plazo indican que la energía renovable jugará un papel más relevante en el sector minero en el futuro.

1.3.2. Antecedentes nacionales

Ching et al. (2021) realizó un estudio sobre “Análisis del potencial y eventuales actuales usos que tienen las fuentes de energías alternativas en la minería peruana” Tubo como objetivo las oportunidades para la promoción del desarrollo de la generación eléctrica con recursos energéticos renovables, para ello empleo el

enfoque cuantitativo, con un diseño evolutivo. Teniendo como resultado que, durante la última década, una serie de eventos ha dejado una marca en el sector energético, incluyendo la notable caída en los costos de las tecnologías renovables y su consiguiente progreso. Esto ha generado un cambio palpable en la lista de proyectos energéticos en Perú, impulsando la adopción de un suministro eléctrico competitivo, seguro y confiable, basado en estas innovadoras tecnologías. En particular, esta transformación se dirige hacia la disminución de emisiones de CO₂ en el país. Por consiguiente, la cartera de proyectos en proceso se ha orientado decididamente hacia la incorporación de fuentes de energías renovables.

Como se hace mención en el documento publicado por el MINEM (2021) señala que, la dependencia de la energía eléctrica en la industria minera es alta y varía según el tipo de minería, la ubicación y la tecnología utilizada. En general, se estima que la energía eléctrica representa alrededor del 74.4% del consumo total de energía en la industria minera.

Gonzales Zamora (2020) en su artículo técnico sobre "Estado de las energías renovables en el Perú" presentó como objetivo el aumento de la participación de las energías renovables. Como resultado, en el territorio peruano se encuentra un significativo potencial eólico. De acuerdo con los datos proporcionados por el Atlas Eólico del Perú en 2016, se identifica que la zona costera del país, con un enfoque particular en regiones como Piura, Lambayeque, La Libertad, Áncash, Ica y Arequipa, alberga el potencial más destacado. En estas áreas, los parámetros de velocidad promedio del viento oscilan entre 6 y 12 m/s, considerando una altura media del aerogenerador de 100 metros. Como conclusión, se puede observar que el Perú tiene un enorme potencial en materia de energías renovables, capaz de

satisfacer la demanda actual y así reducir el impacto ambiental causado por el uso de fuentes de energía basadas en combustibles.

La implementación de la energía eólica conlleva la disminución de los gastos energéticos a largo plazo, la reducción de la necesidad de combustibles fósiles y la ampliación de las fuentes de energía utilizadas. Asimismo, tiene un impacto positivo en la reducción de las emisiones de contaminantes gaseosos, en la mejora de la percepción ambiental de la compañía minera y en el cumplimiento de las normativas más rigurosas establecidas (NLMK, 2020).

En el contexto peruano, la empresa contratista minera Anglo American ha anunciado su intención de emplear energía renovable en todas las operaciones del proyecto Quellaveco. Si las diez compañías mineras de mayor envergadura tomaran una medida similar, podría marcar el comienzo de un cambio significativo en la percepción del consumo energético a nivel nacional. Actualmente, en economías más avanzadas como Australia y el Reino Unido, los esfuerzos de inversión tanto públicos como privados están dirigidos hacia la transformación de sus fuentes energéticas hacia opciones renovables. En diversas comunidades de estos países se han implementado exitosamente instalaciones como granjas solares y parques eólicos. Estos ejemplos podrían ser replicados en el Perú (IIMP, 2021).

1.4. Formulación del problema

¿La adopción de energía eólica en la industria minera peruana es viable como reemplazo a las fuentes de energía convencionales?

1.3.1 Problemas específicos

1. ¿Cuál es la dependencia de las fuentes convencionales de energía en las operaciones mineras?
2. ¿Cuáles son los costos de inversión, operación y mantenimiento asociados con la implementación de sistemas de energía eólica en la industria minera en comparación con las fuentes convencionales?
3. ¿Cuál sería el impacto ambiental de la integración de energía eólica en las operaciones mineras, centrándose en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente dióxido de carbono (CO₂)?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar si la adopción de energía eólica en la industria minera peruana es viable como reemplazo a las fuentes de energía convencionales.

1.5.2. Objetivos específicos

- Identificar la dependencia de las fuentes convencionales de energía en las operaciones mineras.
- Calcular los costos de inversión, operación y mantenimiento asociados con la implementación de sistemas de energía eólica en la industria minera en comparación con las fuentes convencionales.
- Evaluar el impacto ambiental de la integración de energía eólica en las operaciones mineras, centrándose en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente dióxido de carbono (CO₂)

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

La viabilidad de sustituir las fuentes de energía convencionales por energía eólica en la industria minera peruana se encuentra respaldada por factores económicos, tecnológicos y medioambientales que indican que esta transición es una opción beneficiosa en términos de rentabilidad, sostenibilidad y reducción de emisiones de carbono.

1.7. Marco teórico

Variable independiente

Energía Eólica como Alternativa a Fuentes de Energía Convencionales

Las empresas mineras y los gobiernos nacionales también pueden obtener beneficios adicionales de la energía renovable, como impulsar el crecimiento económico local y fortalecer el apoyo social para crear beneficios adicionales. Hemos dividido las oportunidades para integrar fuentes de energía renovables en la industria minera en dos categorías principales: aquellas enfocadas a operaciones mineras y aquellas dirigidas a comunidades mineras (Igogo et al.,2021).

Variable dependiente

Viabilidad en la Industria Minera Peruana

Se realizó un análisis de viabilidad económica para un parque eólico en el área de influencia de Minera La Zanja, en Pulán, Santa Cruz, Cajamarca, durante el año 2022. Los resultados indicaron un Valor Actual Neto (VAN) de 11,064,802.88 USD en el año 25, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 14.6%, y un período de

recuperación de inversión (PAYBACK) de 11.4 años, lo que significa que la inversión se recuperaría a mediados de ese undécimo año. El Costo Nivelado de la Electricidad (LCOE) del proyecto se estima en 42.18 USD por megavatio-hora (USD/MWh). En conclusión, el análisis muestra que el proyecto eólico es económicamente viable (Portugal, 2022).

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo Aplicada, la cual para Hernandez et al (2014) se orienta a conseguir un nuevo conocimiento destinado que permita soluciones de problemas, Con diseño descriptivo ya que ninguna de las variables se podrá manipular o modificar, Además se enfoca en hechos con el objetivo principal de proporcionar una interpretación precisa.

Según Hernandez et al. (2014) el diseño de este estudio demuestra un diseño no experimental, ya que se realizó sin manipulación deliberada de variables. Es decir, en estos estudios no cambiamos deliberadamente las variables independientes para observar sus efectos sobre otras variables. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar y analizar fenómenos que ocurren en entornos naturales.

El enfoque cuantitativo comienza con una idea que se afina gradualmente, establece objetivos de investigación y preguntas específicas, se basa en la revisión de la literatura, formula hipótesis y define variables clave. Luego, se diseña un estudio, se recolectan datos en un contexto específico, se analizan estadísticamente y se obtienen conclusiones. Este enfoque se caracteriza por su metodología sistemática y cuantitativa para investigar y responder preguntas (Hernández et al., 2014).

Los diseños descriptivos transversales buscan investigar cómo se distribuyen las distintas categorías o niveles de una o varias variables en una población. El proceso implica tomar un grupo de personas u otros elementos como seres vivos, objetos, situaciones, contextos, fenómenos, comunidades, etc., y ofrecer una

descripción detallada de las características relevantes. En esencia, estos estudios se centran en la descripción y, en caso de que se planteen hipótesis, estas también se relacionan con la predicción de valores numéricos o cifras (Hernández et al., 2014).

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

Una población se define como un conjunto de individuos u objetos que se busca estudiar en el contexto de una investigación. Este universo o población puede comprender personas, animales, registros médicos, eventos como nacimientos, resultados de pruebas de laboratorio, accidentes de tráfico, entre otros (López, 2004). Por lo tanto, la población utilizada para esta investigación está conformada por todas las empresas mineras en actividad en el Perú en el periodo de tiempo del 2019 al 2023. Según Minem, el 2021 cerró con 1,363 unidades mineras en actividad en todo el Perú (Chacon, 2022).

2.2.2. Tipo de muestreo

El muestreo es un método utilizado para seleccionar componentes aleatorios de un conjunto. "Consiste en un conjunto de reglas, procedimientos y criterios mediante los cuales se selecciona un conjunto de elementos de una población para representar lo que está sucediendo en toda la población" (Mata et al., 1997: 19). De acuerdo con López (2004) en este caso, se empleó un muestreo no probabilístico o aleatorio, dado que se buscó específicamente empresas mineras que proporcionaran acceso a la información requerida y la oportunidad de llevar a cabo un análisis comparativo de sus costos de energía.

2.2.3. Muestra

Una muestra es un subconjunto o porción del universo o grupo en el que se realizará la investigación. Hay programas que pueden tomar volúmenes de componentes de muestra como fórmulas, lógica, etc. La muestra es una parte representativa de la población (López, 2004). Para el estudio en cuestión, se realizó una comparación de seis empresas mineras con respecto a su demanda energética. La selección de estas empresas se basó en varios criterios, que incluyeron su ubicación geográfica y la disponibilidad de información relacionada con su consumo de energía, expresado en megavatios (MW). Las empresas se dividieron en las siguientes tres categorías de consumo de energía: Consumo mayor a 100 MW, consumo entre 10 MW y 100 MW y consumo menor a 10 MW. Ver **Tabla 1**.

Tabla 1

Cuadro de demanda energética, empresa minera, proyecto, demanda MW producto principal y Ubicación

Demanda energética	Empresa	Proyecto	Demanda MW	Producto principal	Ubicación
Mayor a 100 MW	Anglo American Quellaveco S.A.	Quellaveco	163	Cobre	Moquegua
	Southern Perú Cooper Corporation	Los Chancas	100	Cobre	Apurímac
Entre 10 MW y 100 MW	Minera Yanacocha S.R.L.	Yanacocha Sulfuros	75	Cobre	Cajamarca
	Compañía de Minas	San Gabriel (Ex	18	Oro	Moquegua

Menor a 10 MW	Buenaventura S.A.A.	Chucapaca)			
	ICM Pachapaqui S.A.C.	Ampliación Pachapaqui	10	Zinc	Ancash
	Ariana Operaciones Mineras S.A.C.	Ariana	10	Cobre	Junín

Fuente: (Osinermin, 2019), (Ching et al., 2021) y Elaborado por los autores

2.3. Materiales, instrumentos y métodos

2.3.1. Método para Identificar la dependencia de las fuentes convencionales de energía en las operaciones mineras.

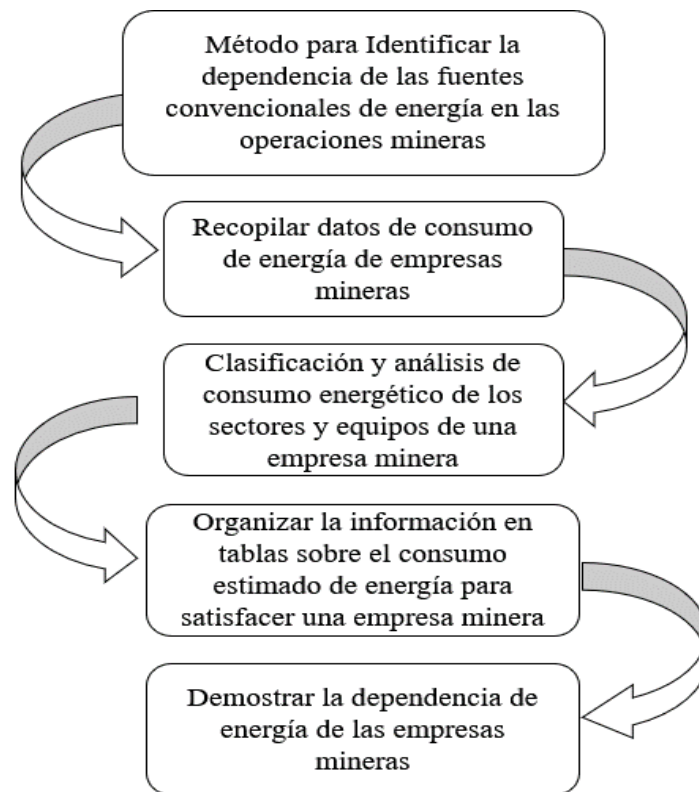
Para identificar la dependencia de las empresas mineras de las fuentes de energía tradicionales, se propone realizar un análisis bibliográfico de documentos e informes de las empresas mineras, donde el método de recolección muestra el volumen de consumo de energía en MWh de energía eléctrica y también el consumo energético de algunos equipos electrónicos que se usan en las empresas mineras. Ver ANEXO 3, ANEXO 4 y ANEXO 5. Estos datos están alojados en Internet tanto de empresas mineras como eléctricas y, de ser posible, de los organismos reguladores de energía del Perú, ubicados en fuentes bibliográficas confiables. Ver ANEXO 6 y ANEXO 7. Este análisis se llevará a cabo para analizar el consumo energético existente en las empresas mineras durante los últimos 5 años para crear un plan para la transición a fuentes de energía más sostenibles.

La información sobre la actividad minera puede encontrarse en informes sectoriales o anuales que brindan las empresas mineras o los organismos fiscalizadores. Estos informes suelen incluir información sobre el consumo energético en el sector minero. (Ching et al., 2021) y (Osinermin, 2019) quien este

último las clasifica en tres grupos de acuerdo con su consumo energético, El primer grupo incluye proyectos cuya demanda eléctrica futura supera los 100 MW. El segundo grupo está formado por proyectos con una demanda eléctrica futura superior a 10 MW e inferior a 100 MW. Este grupo contiene el mayor número de proyectos a desarrollar. A su vez, el tercer grupo está formado por proyectos de menor demanda (menos de 10 MW); Estos proyectos son esencialmente oro. Ver **ANEXO 6**.

En el inicio del procedimiento, se recopila información referente al consumo o demanda de energía por parte de las empresas mineras. Esto incluye la clasificación y análisis de consumo energético de los sectores y equipos de una empresa minera. Los cuales dependen de la energía eléctrica para su operación. La información recopilada se organiza en tablas, presentando un consumo estimado de acuerdo con cada empresa minera específica. Este enfoque nos permite evidenciar la necesidad de energía eléctrica para el funcionamiento de la unidad minera. Para entender mejor el proceso para alcanzar este objetivo ver [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..](#)

Flujograma 1. Método para Identificar la dependencia de las fuentes convencionales de energía en las operaciones mineras



Fuente: Elaborado por los autores

2.3.2. Método para Calcular los costos de inversión, operación y mantenimiento asociados con la implementación de sistemas de energía eólica en la industria minera en comparación con las fuentes convencionales.

El método utilizado para evaluar la viabilidad económica de la implementación de sistemas de energía eólica en la industria minera, en comparación con las fuentes tradicionales, se llevó a cabo mediante una recopilación bibliográfica de páginas web confiables. En dicha recopilación, se obtuvieron datos sobre los costos de

inversión, operación y mantenimiento de dos centrales eólicas específicas que son San Juan de Marcona y Punta Lomitas, ver **Tabla 2**. La selección de estas centrales se realizó considerando como criterios principales la producción energética generada y la disponibilidad de información detallada sobre cada una de ellas, ver **Tabla 3**. El autor Ryzhkov (2023) nos dice que las fórmulas de costos de inversión varían según las circunstancias, especialmente en proyectos de energía eólica. El costo de inversión incluye componentes como los costos de equipo (turbinas eólicas, generadores), costos de ingeniería y diseño, costos de permisos y aprobaciones, costos de construcción, costos de interconexión, costos de puesta en marcha y otros cargos asociados. Estos costos pueden variar considerablemente según el tamaño del proyecto, la ubicación y la tecnología utilizada. Al evaluar inversiones en energía eólica, es esencial ajustar la fórmula según las condiciones específicas del proyecto.

Fórmula 1 : Costos de Inversión de centrales eólicas

$$CI = CE + EI + PA + C + I + PI + OC$$

Leyenda:

CI = Costos de inversión (Mdd)

CE = Costos de equipamiento (Mdd)

EI = Costos de ingeniería y diseño (Mdd)

PA = Costos de permisos y aprobaciones (Mdd)

C = Costos de construcción (Mdd)

I = Costos de interconexiones (Mdd)

PI = Costos de puesta en marcha (Mdd)

OC = Otros costos asociados (Mdd)

Según Brücken Consult Bolivia S.R.L. (2019) mencionó que, los costos de operación y mantenimiento (O&M) de los aerogeneradores son una parte importante del costo total de propiedad de un parque eólico. En general, se estima que el costo de mantenimiento representa entre el 2% y el 3% por año del costo de inversión inicial de una central eólica.

Fórmula 2: Costos de Operación y Mantenimiento

$$O\&M = \frac{II * 3}{100}$$

Leyenda:

O&M = Costos de operación y mantenimiento (Mdd)

II = Inversión inicial (Mdd)

Tabla 2

Costos de inversión, operación, mantenimiento y vida útil de los parques eólicos

Parque Eólico	Costo de inversión en Mdd	Costos de Operación y Mantenimiento por año (3% de la inversión inicial) en Mdd	Vida útil (años)
San Juan de Marcona	180	5.4	>30
Punta Lomitas	300	9	>30

Fuente: (ENGIE, 2023), (Acciona, 2022), (Brücken Consult Bolivia S.R.L., 2019) y Elaborado por los autores

Tabla 3

Información general de los Parques Eólicos

Parque Eólico	Potencia instalada (MW)	Cantidad de Aerogeneradores	Potencia por cada aerogenerador (MW)	Ubicación
San Juan de Marcona	131	23	5,7	Ica
Punta Lomitas	260	50	5.2	Ica

Fuente: (ENGIE, 2023), (Acciona, 2022) y Elaborado por los autores

La información obtenida en el primer objetivo de este trabajo se utilizó para evaluar la factibilidad de integrar sistemas de energía eólica en la industria minera en comparación con fuentes de energía tradicionales. Esta sección proporciona un análisis del consumo de energía en la industria minera, lo que da como resultado una tabla completa que muestra el desglose del consumo total de energía de las empresas mineras seleccionadas como estudios de caso. El consumo de energía se cuantifica en diferentes escalas de tiempo que abarcan horas, días, semanas y años. Este enfoque proporciona una base sólida para el análisis comparativo y la evaluación económica, lo cual es esencial para determinar la viabilidad de implementar sistemas eólicos en los sectores antes mencionados.

Fórmula 3: Demanda energética

$$DE = P * t$$

Leyenda:

DE = Demanda energética (MW)

P = Potencia (MW)

T = Tiempo

Tabla 4

Demanda energética de empresas mineras

Empresa	Potencia MW/hora	Demanda MW/día	Demanda MW/mes	Demanda MW/año
Anglo American Quellaveco S.A.	163	3912	117360	1408320
Southern Perú Cooper Corporation	100	2400	72000	864000
Minera Yanacocha S.R.L.	75	1800	54000	648000
Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	18	432	12960	155520
ICM Pachapaqui S.A.C.	10	240	7200	86400
Ariana Operaciones Mineras S.A.C.	10	240	7200	86400

Fuente: (Osinergmin, 2019), (Ching et al., 2021) y Elaborado por los autores

Estudios posteriores calcularon el monto total que las empresas mineras pagaron por los servicios eléctricos. Se realizó un análisis comparativo para determinar si la implementación de un parque eólico es más costosa o económica que el uso continuo de fuentes de energía convencionales. Este análisis económico proporciona una descripción detallada de los costos asociados y es un elemento esencial en la evaluación general de la viabilidad económica de la transición del sector minero a las energías renovables.

Fórmula 4: Costos de energía eléctrica

$$C = P * Ta * t$$

Leyenda:

C = Costos (Mdd)

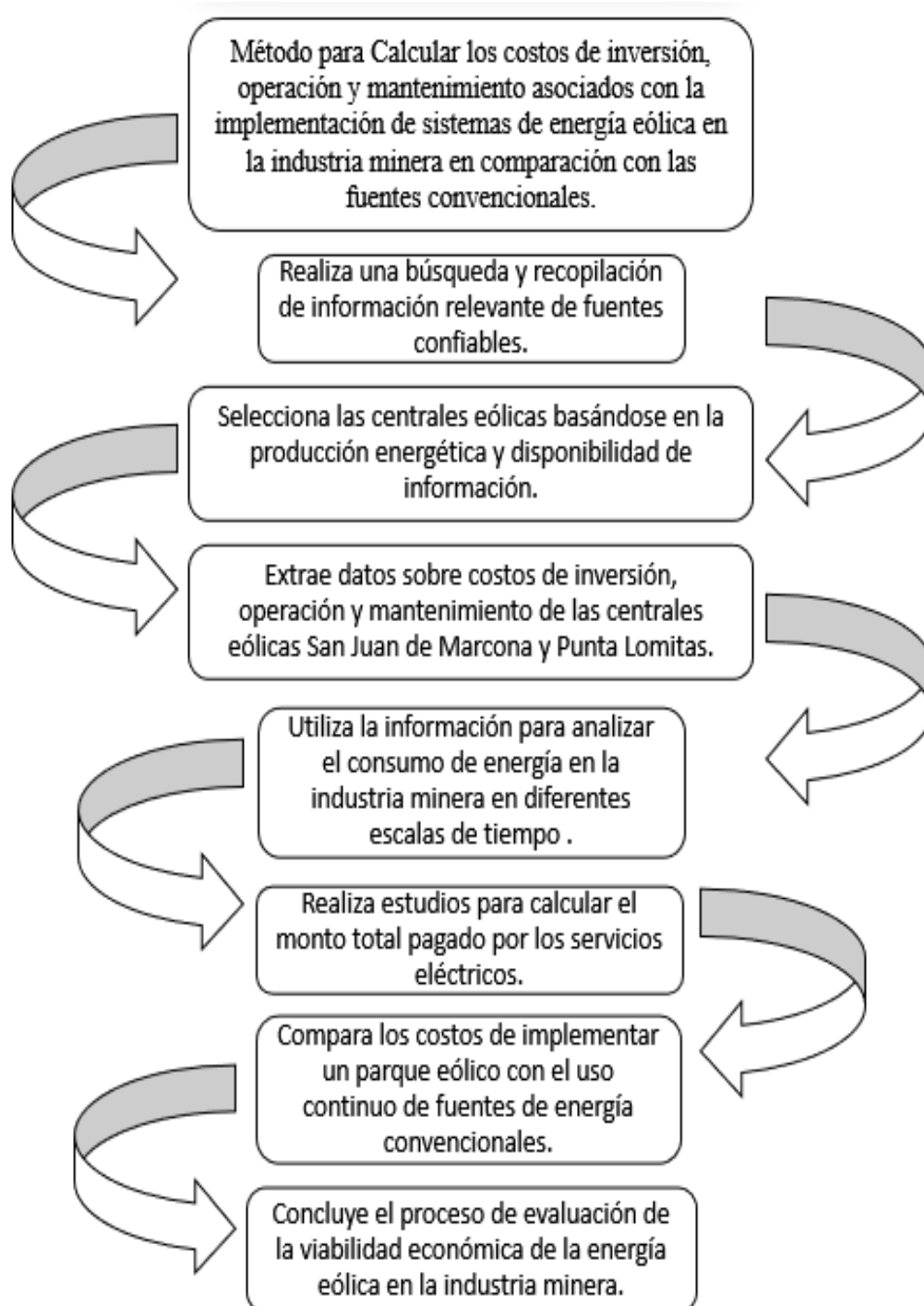
P = Potencia (MW)

Ta = Tarifa (Mdd)

T = Tiempo

Según Ministerio de Energía y minas (2022) menciona que el costo promedio de energía eléctrica por actividad minera es de 6.79 Cent. US\$/kWh. Ver **ANEXO 8**

Flujograma 2. Método para Calcular los costos de inversión, operación y mantenimiento asociados con la implementación de sistemas de energía eólica en la industria minera en comparación con las fuentes convencionales.



Fuente: Elaborado por los autores

2.3.3. Método para evaluar el impacto ambiental de la integración de energía eólica en las operaciones mineras, centrándose en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente dióxido de carbono (CO₂).

Método para evaluar el impacto ambiental de la integración de energía eólica en las operaciones mineras, centrándose en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente dióxido de carbono (CO₂), se llevó a cabo mediante la aplicación del Inventario de GEI. Recopilando información sobre la cantidad de energía eléctrica convencional que la empresa minera demanda para su funcionamiento, es posible determinar la cantidad de emisiones de CO₂ que genera y así determinar si la integración de energía eólica en las operaciones mineras tiene un impacto positivo o negativo en nuestro medio ambiente. Según Córdova Rau (2019) en su libro, disponible en la página web del Ministerio de Energía y Minas, se indica que el factor de emisión correspondiente al año 2018 es de $FE = 0.151$ (tCO₂eq/MWh). Es importante destacar que, hasta la fecha actual, dicho valor se mantiene como una fuente confiable. Este dato proporciona una base sólida para el análisis y la evaluación en el contexto de la tesis. Ver **ANEXO 9**

Fórmulas 5: Factor de emisión de GEI

$$E_{GEI} = FE * EC$$

Leyenda:

E_{GEI} = Emisión de GEI (tCO₂eq/MWh)

FE = Factor de emisión (tCO₂eq)

EC = Energía Consumida (MWh)

Según Toledano (2019) menciona que, el inventario de gases de efecto invernadero (GEI) constituye un registro detallado de las emisiones de gases responsables del calentamiento global en una zona geográfica específica, sector industrial o entidad. Incluyendo gases como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (NO_x) y fluorocarbonos, entre otros, este inventario desglosa minuciosamente las contribuciones de cada uno. El CO₂ equivalente, abreviado como CO_{2e}, es una medida utilizada para expresar la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) liberados a la atmósfera, considerando su potencial de calentamiento global en relación con el dióxido de carbono. La compilación y análisis de este inventario son cruciales para comprender y gestionar las emisiones de GEI, así como para evaluar el impacto ambiental de diversas actividades humanas. Estas herramientas son esenciales en la formulación de políticas climáticas, la implementación de medidas de mitigación y la planificación estratégica hacia una economía más sostenible y baja en carbono.

Fórmulas 6: Cálculo de emisiones con energía Eólica

$$E_{EE} = G_{PE} * FE_{EE}$$

Leyenda:

E_{EE} = Emisiones con energía eólica (tCO₂eq/MWh)

G_{PE} = Generación de planta eólica (MWh)

FE_{EE} = Factor de emisión de energía eólica (tCO₂ eq)

Según Bojorquez Chavez (2018) menciona que, la huella de carbono de los parques eólicos del Perú es de 9 Kg CO₂ eq/MWh también se puede expresar como 0.009 t CO₂ eq/MWh. Ver **ANEXO 10**

Fórmulas 7: Reducción de Emisiones

$$RE = EA - E_{EE}$$

Leyenda:

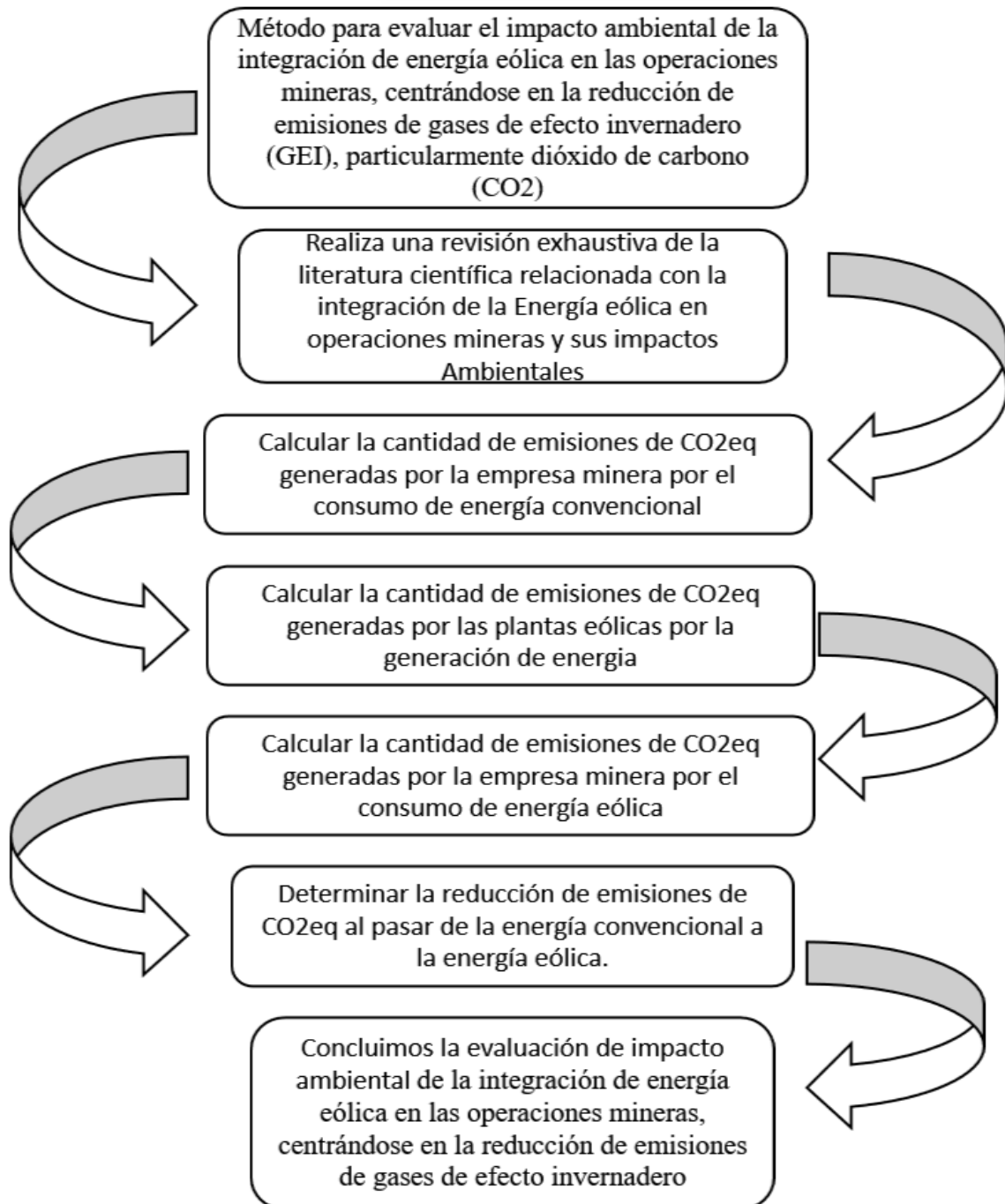
RE = Reducción de Emisiones (tCO_2eq/MWh)

EA = Emisiones Actuales (tCO_2eq/MWh)

E_{EE} = Emisión con energía eólica (tCO_2eq/MWh)

Al emplear la fórmula de factores de emisión del GEI y realizar operaciones matemáticas básicas, se puede calcular la reducción de emisiones de CO₂ resultante de la implementación de energía eólica en las actividades mineras. Este proceso tuvo como objetivo determinar el impacto ambiental de la integración de energía eólica en las operaciones mineras, centrándose en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente dióxido de carbono (CO₂).

Flujograma 3. Método para evaluar el impacto ambiental de la integración de energía eólica en las operaciones mineras, centrándose en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente dióxido de carbono (CO₂).



Fuente: Elaborado por los autores

2.4. Procedimientos

2.4.1. Procedimiento seguido para identificar la dependencia de las fuentes convencionales de energía en las operaciones mineras.

a. Recopilación de datos de consumo energético de empresa mineras:

Tabla 5

Consumo energético de empresas mineras

Empresa	Proyecto	Consumo MW
Anglo American Quellaveco S.A.	Quellaveco	163
Southern Perú Cooper Corporation	Los Chancas	100
Minera Yanacocha S.R.L.	Yanacocha Sulfuros	75
Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	San Gabriel (Ex Chucapaca)	18
ICM Pachapaqui S.A.C.	Ampliación Pachapaqui	10
Ariana Operaciones Mineras S.A.C.	Ariana	10

Fuente: (Osinergmin, 2019) , (Ching et al., 2021) y Elaborado por los autores

Nota: En la **Tabla 5** se presenta detalladamente la demanda energética de consumo en megavatios (MW) de las empresas mineras objeto de estudio.

b. Clasificación y análisis de consumo energético de los sectores y equipos de una empresa minera:

Tabla 6

Consumo energético aproximado de equipos eléctricos para campamentos mineros

Equipos eléctricos para campamentos mineros	Consumo energético aproximado por equipo
Generadores eléctricos	1 a 2 MWh
Transformadores	0.01 a 0.02 MWh
Subestaciones	0.1 a 0.2 MWh
Líneas de transmisión	0.1 a 0.2 MWh
Iluminación	0.01 a 0.02 MWh
Calefacción y refrigeración	0.02 a 0.04 MWh – Por empleado
Equipos de cocina	0.01 a 0.02 MWh – Por empleado
Equipos de lavandería	0.005 a 0.01 MWh – Por empleado
Equipos de oficina	0.001 a 0.002 MWh – Por empleado

Fuente: (Brantes Abarca et al., 2022), (González et al., 2021) y Elaborado por los autores

Nota: En la **Tabla 6** se detalla el consumo energético de los equipos eléctricos para campamentos mineros. Es importante destacar que se presenta una estimación aproximada del consumo energético, ya que este puede variar significativamente en función de la cantidad de equipos similares en operación y del personal que utiliza y consume energía en cada área.

Tabla 7

Consumo energético aproximado de equipos eléctricos para operaciones mineras

Equipos eléctricos para operaciones mineras	Consumo energético aproximado por equipo
Camiones tolva	0.1 a 0.2 MWh
Palas cargadoras	0.1 a 0.2 MWh
Perforadoras	0.1 a 0.2 MWh
Bomba centrífuga de 100 m ³ /h	1 MWh
Elevadores	0.1 a 0.2 MWh
Cintas transportadoras:	0.1 a 0.2 MWh
Molinos	1 a 2 MWh
Filtros	1 a 2 MWh

Fuente: (Brantes Abarca et al., 2022), (González et al., 2021) y Elaborado por los autores

Nota: En la **Tabla 7** se detalla el consumo energético de los equipos eléctricos en el área de operaciones mineras. Es crucial destacar que se proporciona una estimación aproximada del consumo energético, dado que este puede variar significativamente en función de la cantidad de equipos similares en operación

Tabla 8

Consumo energético aproximado de equipos eléctricos para procesos mineros

Equipos eléctricos que se usan en una planta de procesos mineros	Consumo energético aproximado por equipo
Generadores eléctricos	1 a 2 MWh
Transformadores	0.01 a 0.02 MWh
Subestaciones	0.1 a 0.2 MWh
Líneas de transmisión	0.1 a 0.2 MWh
Iluminación	0.01 a 0.02 MWh - Por empleado
Controles eléctricos	0.001 a 0.002 MWh

Plantas de molienda

Molino de bolas	1 a 2 MWh
Molino de barras	1.5 a 2.5 MWh
Molino vertical	1.2 a 2.2 MWh

Plantas de fundición

Hornos	3 a 5 MWh
Electrodos	0.01 a 0.02 MWh
Decantadores:	0.1 a 0.2 MWh

Fuente: (Brantes Abarca et al., 2022), (González et al., 2021) y Elaborado por los autores

Nota: La **Tabla 8** proporciona información detallada sobre el consumo de energía de los dispositivos eléctricos empleados en los procesos mineros. Es esencial destacar que se ofrece una estimación aproximada del gasto energético, dado que este puede variar considerablemente según la cantidad de equipos similares en funcionamiento y el personal que utiliza y consume energía en dichos procesos.

c. Consumo aproximado de energía total por sector (1 equipo) (1 empleado)

Tabla 9

Consumo aproximado de energía total por sector

Consumo aproximado de energía total por sector MWh	
Equipos eléctricos para campamentos mineros	2.512 MWh
Equipos eléctricos para operaciones mineras	6 MWh
Equipos eléctricos que se usan en una planta de procesos mineros	14.362 MWh

Fuente: (Brantes Abarca et al., 2022), (González et al., 2021) y Elaborado por los autores

Nota: La **Tabla 9** presenta una estimación aproximada del consumo total de energía por sector, detallando el gasto energético de los equipos eléctricos utilizados en operaciones mineras. Es crucial resaltar que esta estimación puede variar significativamente según la cantidad de equipos similares en funcionamiento y el consumo energético del personal en cada sector.

d. Dependencia energética de las empresas mineras para su funcionamiento.

Tabla 10

Consumo Energético en Proyectos Mineros a través de Sectores Específicos

Empresa	Proyecto	Consumo MWh	Equipos eléctricos		
			Campamentos mineros	Operaciones mineras	Planta de procesos
Anglo American Quellaveco S.A.	Quellaveco	163	2.512 MWh	6 MWh	14.362 MWh
Southern Perú Cooper Corporation	Los Chancas	100	2.512 MWh	6 MWh	14.362 MWh
Minera Yanacocha S.R.L.	Yanacocha Sulfuros	75	2.512 MWh	6 MWh	14.362 MWh
Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	San Gabriel (Ex Chucapaca)	18	2.512 MWh	6 MWh	-
ICM Pachapaqui S.A.C.	Ampliación Pachapaqui	10	2.512 MWh	6 MWh	-

Ariana Operaciones Mineras S.A.C.	Ariana	10	2.512 MWh	6 MWh	-
--	--------	----	-----------	-------	---

Fuente: (Osinergmin, 2019), (Ching et al., 2021), (Brantes Abarca et al., 2022) y

Elaborado por los autores

Nota: En la **Tabla 10** se presenta la demanda energética en megavatios (MW) de las empresas mineras objeto de estudio, así como la demanda aproximada de ciertos equipos eléctricos utilizados en su operación. También se incluye el consumo energético de los campamentos mineros y, en algunos casos, de las plantas de procesamiento asociadas con algunas de estas empresas mineras.

2.4.2. Procedimiento seguido para Calcular los costos de inversión, operación y mantenimiento asociados con la implementación de sistemas de energía eólica en la industria minera en comparación con las fuentes convencionales.

a. Información General de Centrales eólicas

Tabla 11

Centrales eólicas

Parque Eólico	Potencia instalada (MW)	Cantidad de Aerogeneradores	Potencia por cada aerogenerador (MW)	Ubicación
San Juan de	131	23	5,7	Ica

Marcona
Punta

260

50

5.2

Ica

Lomitas

Fuente: (ENGIE, 2023), (Acciona, 2022) y Elaborado por los autores

b. Costos de inversión, operación y mantenimiento de las centrales eólicas.

b.1. Costos de inversión de centrales eólicas

Aplicando la **Fórmula 1** : Costos de Inversión de centrales eólicas. La obtención del total de los costos asociados a inversión, equipamiento, ingeniería, diseño, permisos y aprobaciones, entre otros, se realiza mediante la suma de estos elementos. El resultado de esta agregación de costos se presenta en millones de dólares. La información referente a los costos de inversión de las centrales eólicas se ha recopilado directamente de las respectivas páginas web de dichos proyectos. Sin embargo, debido a las políticas de privacidad de las empresas involucradas, los detalles específicos de los costos que componen la inversión total no son públicamente divulgados. Esta restricción de datos constituye un obstáculo para llevar a cabo el cálculo preciso de los costos de inversión a través de una fórmula matemática, dado que la información necesaria no está disponible.

Tabla 12
Costos de inversión de parques eólicos en Mdd

Parque Eólico	Costo de inversión en Mdd
San Juan de Marcona	180
Punta Lomitas	300

Fuente: (ENGIE, 2023), (Acciona, 2022) y Elaborado por los autores

b.2. Costos de operación y mantenimiento de centrales eólicas

Usando la **Fórmula 2: Costos de Operación y Mantenimiento**, Se determina el costo de operación y mantenimiento al multiplicar la inversión inicial por un factor de tres, lo cual representa el tres por ciento de la inversión inicial. Este resultado se divide entre cien. Este enfoque permite calcular los costos de operación y mantenimiento expresados en millones de dólares.

Tabla 13
Costos de Operación y Mantenimiento de parques eólicos

Parque Eólico	Costo de O&M en Mdd por 1 año	Costo de O&M en Mdd por 30 años
San Juan de Marcona	5.4	162
Punta Lomitas	9	270

Fuente: (Brücken Consult Bolivia S.R.L., 2019) y Elaborado por los autores

b.3. Costos de inversión, operación y mantenimiento por 30 años en plantas eólicas

Tabla 14

Sumatoria de costos de inversión, operación y mantenimiento MW/30 años en Mdd Energía Eólica

Costos de inversión, operación y mantenimiento MW/30 años en Mdd Energía Eólica	
Planta eólica San Juan de Marcona - 131 MW	Planta eólica Punta lomas - 260 MW
342	570

Fuente: Elaborado por los autores

c. Consumo energético de las empresas mineras en diferentes escalas del tiempo

Empleando la **Fórmula 3:** Demanda energética, El cálculo del consumo energético de las empresas mineras se logra al multiplicar la potencia en megavatios (MW) por el tiempo en horas. Este método proporciona una evaluación precisa de la cantidad de energía utilizada en las operaciones mineras, siendo una práctica común en la industria para cuantificar la demanda energética.

Tabla 15
Consumo energético de las empresas mineras en diferentes escalas del tiempo

Empresa	Potencia MW/hora	Demanda MW/día	Demanda MW/mes	Demanda MW/año
Anglo American Quellaveco S.A.	163	3912	117360	1408320
Southern Perú Cooper Corporation	100	2400	72000	864000
Minera Yanacocha S.R.L.	75	1800	54000	648000
Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	18	432	12960	155520
ICM Pachapaqui S.A.C.	10	240	7200	86400
Ariana Operaciones Mineras S.A.C.	10	240	7200	86400

Fuente: (Osinergmin, 2019), (Ching et al., 2021) y Elaborado por los autores

 Nota: En la **Tabla 15** se observan los consumos energéticos de diversas empresas mineras objeto de estudio, en relación con el tiempo (hora, día, mes y año).

d. Costos de servicios eléctricos de las empresas mineras con la tarifa actual.

 Aplicando la **Fórmula 4:** Costos de energía eléctrica, Los costos de consumo energético convencional y energía eólica en las empresas mineras pueden determinarse al multiplicar la potencia en megavatios (MW) por la tarifa en

millones de dólares y el tiempo correspondiente. Este enfoque permite calcular de manera efectiva los costos asociados con la utilización de energía en las operaciones mineras, considerando tanto la potencia como el tiempo de uso.

Tarifa: 6.79 cent dólar kWh = 0.0679 dólar kWh = 67.9 dólares MWh (MINEM, 2022)

Tabla 16

Costos de consumo a través del tiempo de energía convencional en empresas mineras

Empresa	Costo MW/hora en Mdd	Costo MW/día en Mdd	Costo MW/mes en Mdd	Costo MW/año en Mdd	Costo MW/30 años en Mdd
Anglo American Quellaveco S.A. (163 MW)	0.0110677	0.2656248	7.968744	95.624928	2868.74784
Southern Perú Cooper Corporation (100 MW)	0.00679	0.16296	4.8888	58.6656	1759.968
Minera Yanacocha S.R.L. (75 MW)	0.0050925	0.12222	3.6666	43.9992	1319.976
Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. (18 MW)	0.0012222	0.0293328	0.879984	10.559808	316.79424
ICM Pachapaqui S.A.C. (10 MW)	0.000679	0.016296	0.48888	5.86656	175.9968
Ariana Operaciones Mineras S.A.C. (10 MW)	0.000679	0.016296	0.48888	5.86656	175.9968

Fuente: (Osinergmin, 2019) y Elaborado por los autores

Nota: En la **Tabla 16** se exhiben los costos asociados al consumo energético convencional de las empresas mineras a lo largo del tiempo, detallando dichos costos en intervalos de horas, días, meses, años y períodos de 30 años.

e. Tabla comparativa de los costos de inversión, operación y mantenimiento de un parque eólico durante un periodo de 30 años, contrastándolos con los costos de energía convencional durante el mismo período.

Tabla 17

Comparación de costos de energía convencional y energía eólica

Empresa	Costo MW/30 años en Mdd Energía convencional	Costos de inversión, operación y mantenimiento MW/30 años en Mdd Energía Eolica	
		Planta eólica San Juan de Marcona - 131 MW	Planta eólica Punta lomas - 260 MW
Anglo American Quellaveco S.A.	2 868.747840		
Southern Perú Cooper Corporation	1 759.968000		
Minera Yanacocha S.R.L.	1 319.976000	342	570
Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	316.794240		
ICM Pachapaqui	175.996800		

S.A.C.

Ariana

Operaciones	175.996800
Mineras	

S.A.C.

Fuente: Elaborado por los autores

Nota: La **Tabla 17** proporciona una comparación de los costos de energía asociados a la adquisición de energía convencional en millones de dólares, contrastando con los gastos proyectados al utilizar energía eólica desde la implementación del parque eólico a lo largo de un periodo de 30 años en ambos escenarios.

2.4.3. Procedimiento seguido para evaluar el impacto ambiental de la integración de energía eólica en las operaciones mineras, centrándose en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente dióxido de carbono (CO₂).

a. Factor de emisión de GEI por el consumo de energía eléctrica de las empresas mineras a través del tiempo (30 años).

Usando la **Fórmulas 5**: Factor de emisión de GEI, se obtiene multiplicando el factor de emisión en tCO₂eq/MWh por la energía consumida en MWh. Dando como resultado las emisiones del GEI tCO₂eq/MWh. Factor de emisión para Perú en el año 2018 es de 0.151 tCO₂eq/MW.

Tabla 18

Factor de emisión de GEI por el consumo de energía actual de las empresas mineras a través del tiempo (30 años)

Empresas mineras	Emisiones de GEI por consumo energético – (tCO₂eq/MWh)	Emisiones de GEI por consumo energético – (tCO₂eq/MW Día)	Emisiones de GEI por consumo energético – (tCO₂eq/MW Mes)	Emisiones de GEI por consumo energético – (tCO₂eq/MW Año)	Emisiones de GEI por consumo energético – (tCO₂eq/MW 30 años)
Anglo American Quellaveco S.A.	24.613	590.712	17721.36	212656.32	6379689.6
Southern Perú Cooper Corporation	15.1	362.4	10872	130464	3913920
Minera Yanacocha S.R.L.	11.325	271.8	8154	97848	2935440
Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	2.718	65.232	1956.96	23483.52	704505.6
ICM Pachapaqui S.A.C.	1.51	36.24	1087.2	13046.4	391392
Ariana Operaciones Mineras S.A.C.	1.51	36.24	1087.2	13046.4	391392

Fuente: Elaborado por los autores

Nota: En la **Tabla 18** se expone el factor de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) originados por el consumo de energía convencional en las empresas mineras a lo largo del tiempo, expresado en toneladas de dióxido de carbono equivalente por megavatio (tCO₂eq/MW) durante un periodo de 30 años.

b. Factor de emisión de GEI de las plantas eólicas por la de energía eléctrica generada a través del tiempo (30 años).

Empleando la **Fórmulas 6**: Cálculo de emisiones con energía Eólica, se realiza la multiplicación de la generación de energía de la planta eólica (MW) por el factor de emisión de energía eólica expresado en (t CO₂ eq/MWh). Este procedimiento permite evaluar las emisiones asociadas a la generación de energía mediante fuentes eólicas. La huella de carbono de los parques eólicos del Perú es de 9 Kg CO₂ eq/MWh también se puede expresar como 0.009 t CO₂ eq/MWh.

Tabla 19

Factor de emisión de GEI de las plantas eólicas por la de energía eléctrica generada

Parque Eólico	Emisiones de GEI por energía generada (tCO₂eq/MWh)	Emisiones de GEI por energía generada (tCO₂eq/MW Día)	Emisiones de GEI por energía generada (tCO₂eq/MW Mes)	Emisiones de GEI por energía generada (tCO₂eq/MW Año)	Emisiones de GEI por energía generada (tCO₂eq/MW 30 AÑOS)
San Juan de Marcona	1.179	28.296	848.88	10186.56	305596.8
Punta Lomitas	2.34	56.16	1684.8	20217.6	606528

Fuente: Elaborado por los autores

Nota: En la **Tabla 19** se presenta el factor de emisión de GEI producido por las plantas eólicas durante un periodo de 30 años.

c. Factor de emisión de GEI de las empresas mineras al consumir energía eólica a través del tiempo (30 años).

Tabla 20

Factor de emisión de GEI de las empresas mineras al consumir energía eólica

Empresas mineras	Emisiones de GEI por consumo energético – (tCO₂eq/MWh)	Emisiones de GEI por consumo energético – (tCO₂eq/MW Día)	Emisiones de GEI por consumo energético – (tCO₂eq/MW Mes)	Emisiones de GEI por consumo energético – (tCO₂eq/MW Año)	Emisiones de GEI por consumo energético – (tCO₂eq/MW 30 años)
Anglo American Quellaveco S.A.	1.467	35.208	1056.24	12674.88	380246.4
Southern Perú Cooper Corporation	0.9	21.6	648	7776	233280
Minera Yanacocha S.R.L.	0.675	16.2	486	5832	174960
Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	0.162	3.888	116.64	1399.68	41990.4
ICM Pachapaqui S.A.C.	0.09	2.16	64.8	777.6	23328
Ariana Operaciones Mineras S.A.C.	0.09	2.16	64.8	777.6	23328

Fuente: Elaborado por los autores

Nota: En la **Tabla 20** proporcionada se exhibe el factor de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) de las empresas mineras al utilizar energía eólica a lo largo de un periodo de 30 años.

d. Reducción de emisiones de CO₂eq al pasar de la energía convencional a la energía eólica.

Empleando la **Fórmulas 7: Reducción de Emisiones**, se obtiene al restar las emisiones actuales de la energía convencional menos las emisiones con energía eólica, ambos expresados en t CO₂ eq/MWh.

Tabla 21

Reducción de emisiones de CO₂eq al pasar de la energía convencional a la energía eólica

Empresas mineras	Anglo American Quellaveco S.A.	Southern Perú Cooper Corporation	Minera Yanacocha S.R.L.	Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	ICM Pachapaqui S.A.C.	Ariana Operaciones Mineras S.A.C.
EC * h	24.613	15.1	11.325	2.718	1.51	1.51
EO * h	1.467	0.9	0.675	0.162	0.09	0.09
Total, RE	23.146	14.2	10.65	2.556	1.42	1.42
EC * Día	590.712	362.4	271.8	65.232	36.24	36.24
EO * Día	35.208	21.6	16.2	3.888	2.16	2.16
Total, RE	555.504	340.8	255.6	61.344	34.08	34.08
EC * Mes	17721.36	10872	8154	1956.96	1087.2	1087.2
EO * Mes	1056.24	648	486	116.64	64.8	64.8
Total, RE	16665.12	10224	7668	1840.32	1022.4	1022.4
EC * Año	212656.32	130464	97848	23483.52	13046.4	13046.4
EO * Año	12674.88	7776	5832	1399.68	777.6	777.6
Total, RE	199981.44	122688	92016	22083.84	12268.8	12268.8
EC * 30 Años	6379689.6	3913920	2935440	704505.6	391392	391392
EO * 30 Años	380246.4	233280	174960	41990.4	23328	23328
Total, RE	5999443.2	3680640	2760480	662515.2	368064	368064

Fuente: Elaborado por los autores

Nota: En la **Tabla 21** se muestra un cuadro comparativo que refleja la reducción estimada de las emisiones de dióxido de carbono equivalente (tCO₂eq) al sustituir la energía convencional por energía eólica, considerando intervalos de tiempo que abarcan horas, días, meses, años y un periodo total de 30 años.

Leyenda:

EC = Energía convencional (MWh)

EO = Energía eólica (MWh)

Total, RE = Total de reducción de emisiones tCO₂eq

2.5. Aspectos Éticos

Como parte de este estudio se realizó una revisión exhaustiva de diversas fuentes de información con el fin de sustentar y fundamentar las disposiciones y conclusiones propuestas en este trabajo académico. Las prácticas rigurosas de citación de fuentes ayudan a garantizar la transparencia y credibilidad de un estudio determinado, al tiempo que fortalecen la base teórica en la que se basan los argumentos desarrollados a lo largo del estudio. Cabe señalar que el uso de diversas fuentes de información permitió considerar el tema de investigación de manera integral e interdisciplinaria, brindando una visión enriquecedora e informada. En el desarrollo de esta investigación, los investigadores siempre mantienen un compromiso con la integridad moral, lo que se refleja en mantener una extraordinaria reputación por sus habilidades profesionales.

En última instancia, la integridad moral del investigador se manifiesta no sólo en la elección de seguir las normas APA, sino también en la meticulosa atención al detalle y en

la presentación ética y responsable de los resultados de la investigación, fortaleciendo así la calidad y credibilidad de este trabajo académico.

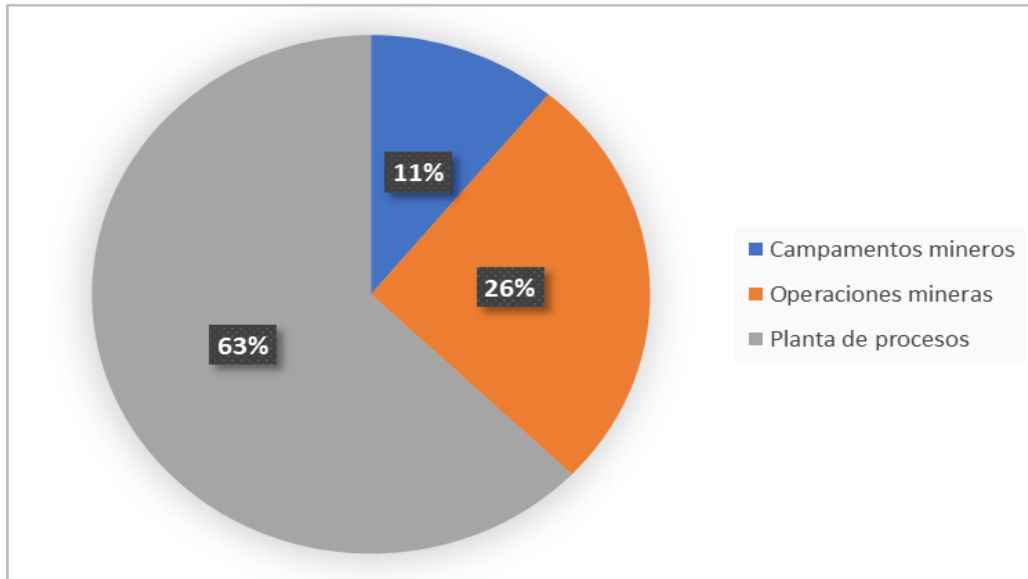
Este compromiso con la objetividad tiene como objetivo asegurar que el aporte académico del estudio esté sustentado en análisis basados en datos concretos, estableciendo así credibilidad y adherencia a los objetivos planteados.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Resultado de Identificar la dependencia de las fuentes convencionales de energía en las operaciones mineras.

Figura 1

Consumo aproximado de energía por sector minero

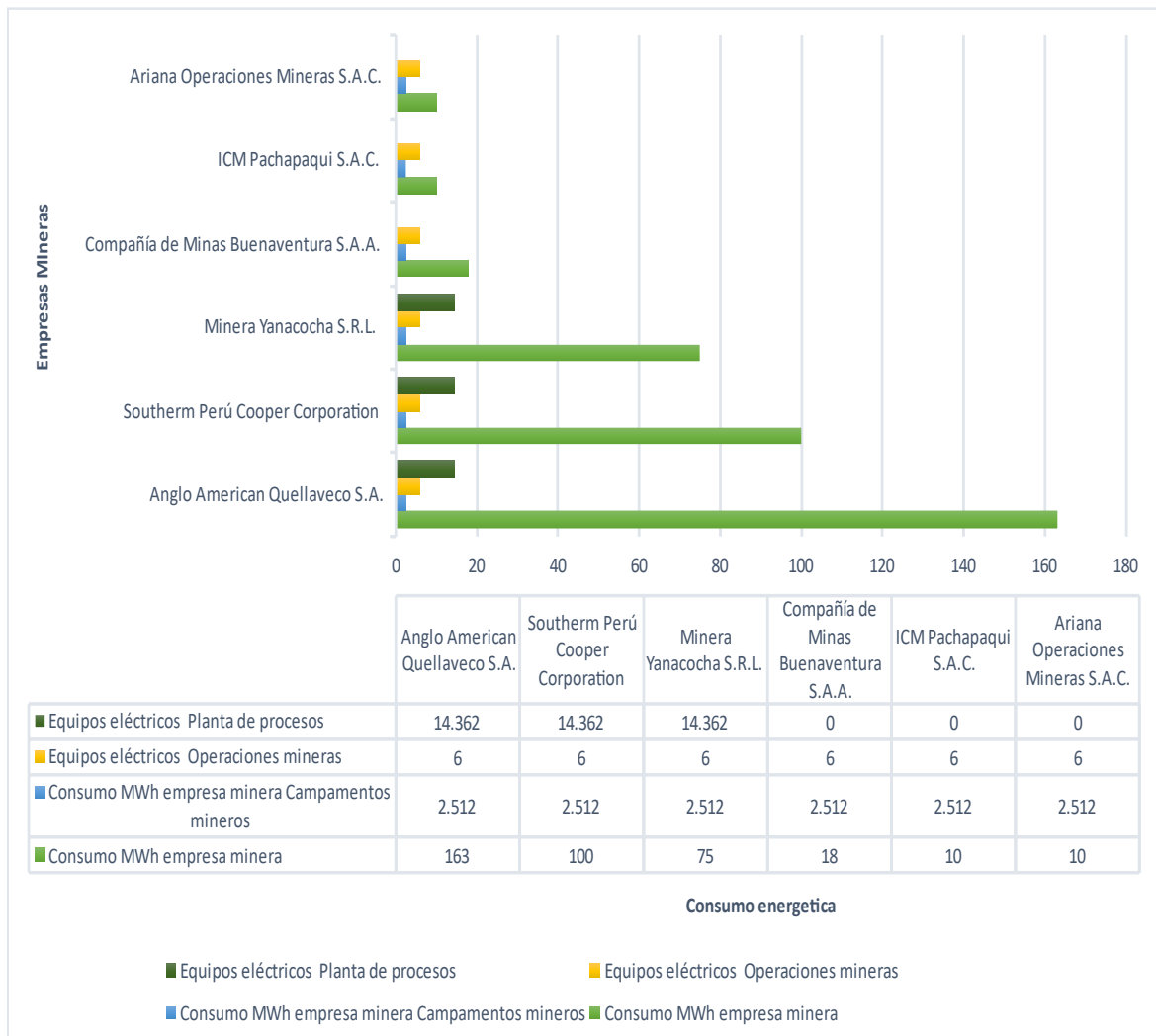


Fuente: Elaborado por los autores

Nota: En la **Figura 1** se muestran los datos representados en porcentajes de la **Tabla 9**, donde se menciona el consumo aproximado de energía por sector, ya que dicho consumo por MWh varía dependiendo de la cantidad de personal y equipo con los que cuenta la empresa minera. Sin embargo, es fundamental recalcar que toda empresa minera requiere de campamentos y operaciones mineras para su funcionamiento donde es inevitable el consumo energético por parte de la maquinaria y/o los trabajadores. Algunas empresas mineras consideradas de gran minería cuentan con su propia planta de procesos, la cual también se muestra en la figura.

Figura 2

Dependencia de las fuentes convencionales de energía en las operaciones mineras



Fuente: Elaborado por los autores

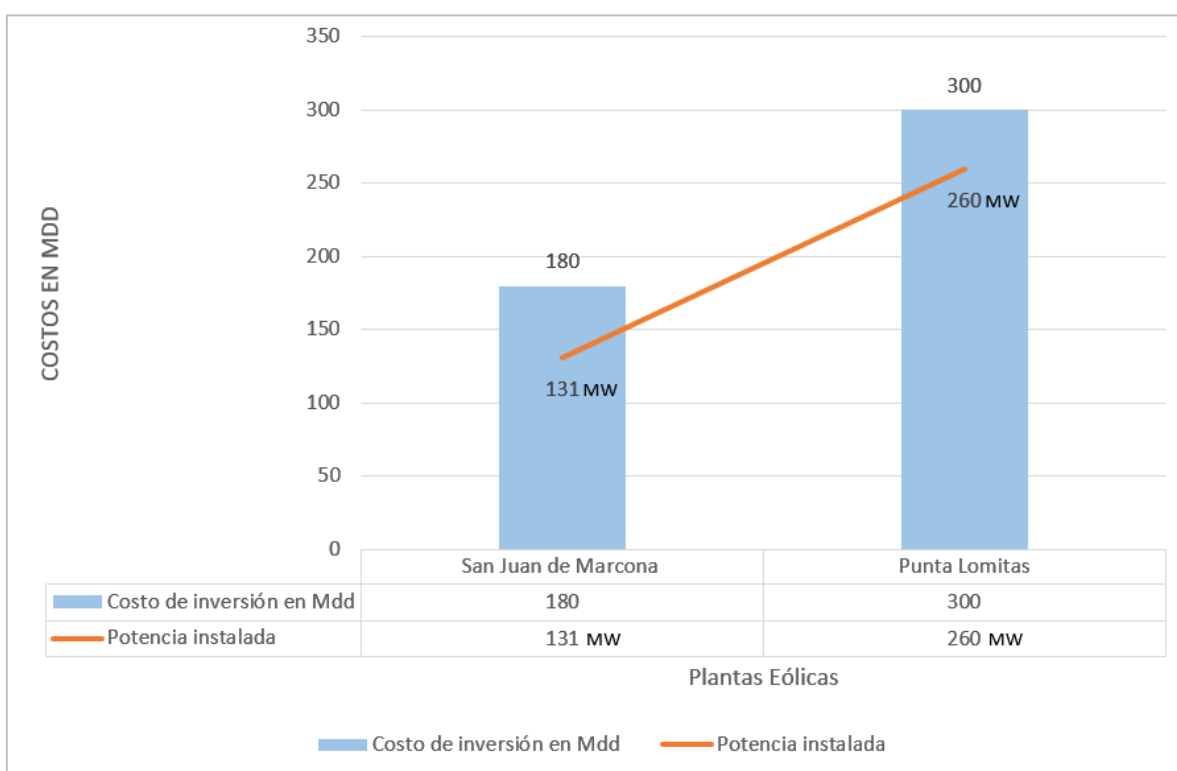
Nota: En la **Figura 2** se muestra la dependencia energética de las empresas mineras objeto de estudio ya que dependen totalmente de la energía eléctrica para su funcionamiento, al ser necesaria para los diferentes sectores de las empresas mineras presentados en la **Figura 1** , Según el documento publicado por el MINEM (2021) indica que, la dependencia de la energía eléctrica en la industria minera es alta y varía según el tipo de minería, la ubicación

y la tecnología utilizada. En general, se estima que la energía eléctrica representa alrededor del 74.4% del consumo total de energía en la industria minera.

3.2. Resultado de Calcular los costos de inversión, operación y mantenimiento asociados con la implementación de sistemas de energía eólica en la industria minera en comparación con las fuentes convencionales.

Figura 3

Costos de inversión de Parques Eólicos en Mdd según su Potencia instalada en MW



Fuente: Elaborado por los autores

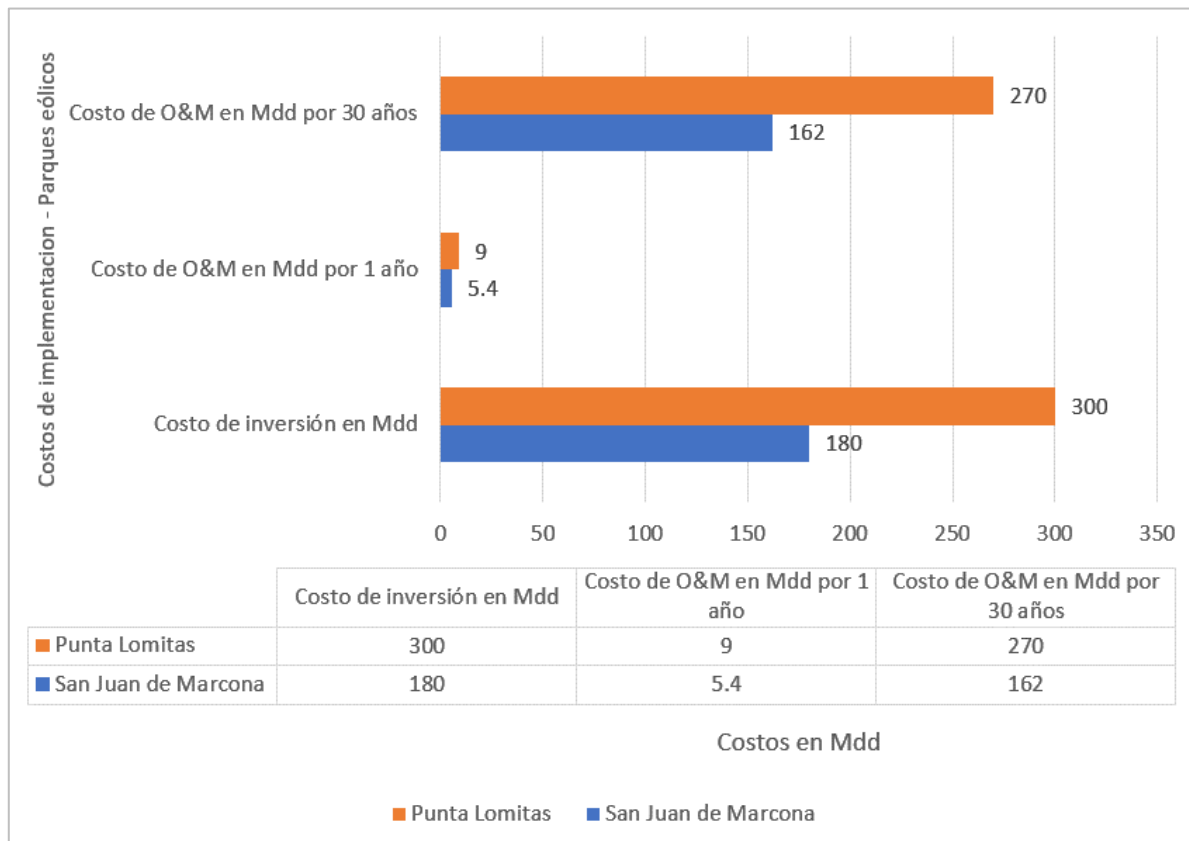
Nota: En la **Figura 3** se presenta la comparación de los costos de inversión asociados a los parques eólicos de estudio, tales como San Juan de Marcona y Punta Lomitas que poseen una potencia instalada de 131 MW y 260 MW respectivamente. Dentro de ellos, la inversión inicial varía dependiendo de la potencia instalada en MW

y la cantidad de aerogeneradores que estas plantas poseen o están destinadas a instalar.

Esta información fue mencionada en la **Tabla 11** y **Tabla 12**.

Figura 4

Costos de Operación y Mantenimiento de Parques Eólicos

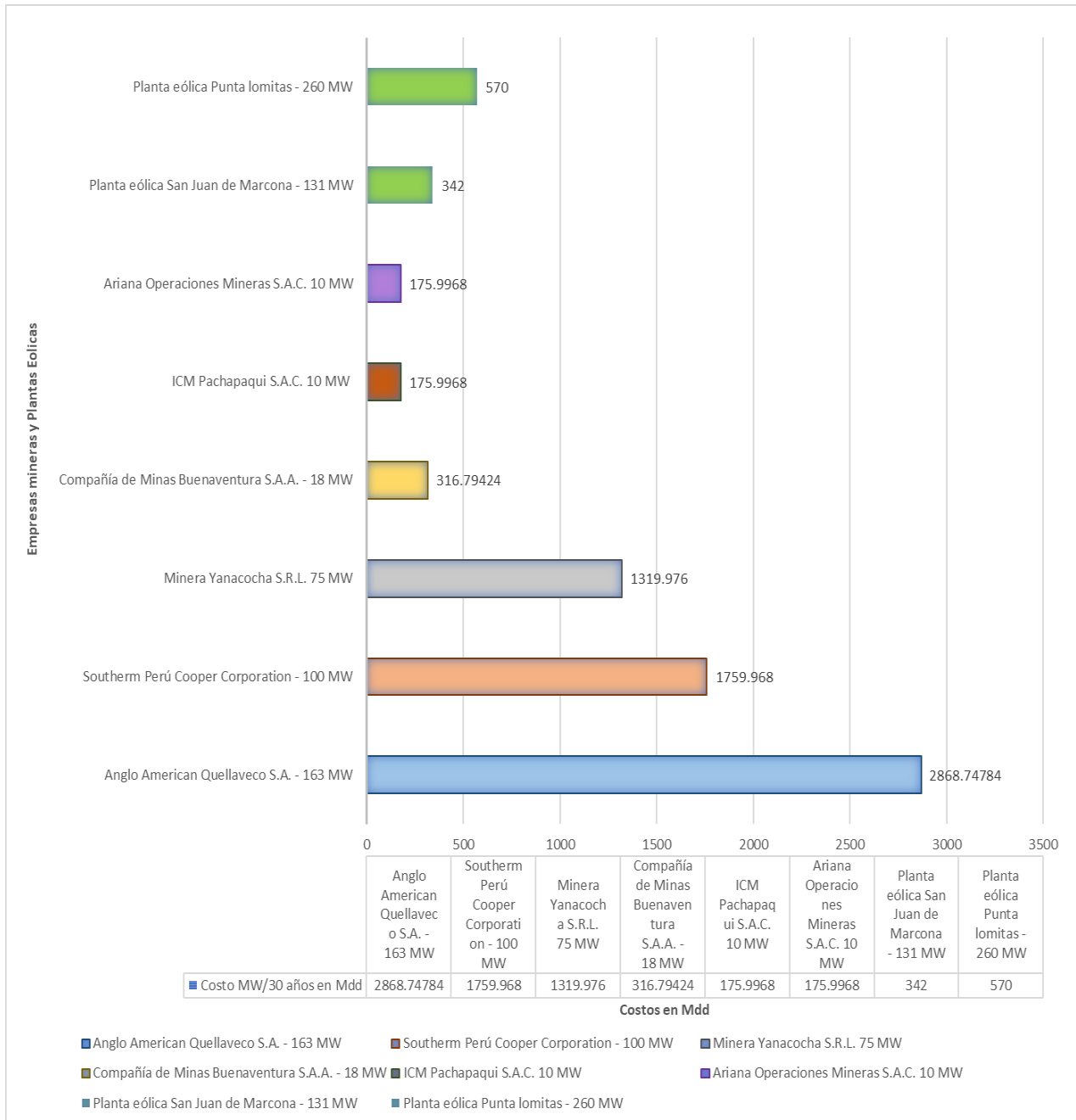


Fuente: Elaborado por los autores

Nota: En la **Figura 4** se presentan las comparaciones de los costos de operación y mantenimiento asociados a la implementación de las centrales eólicas San Juan de Marcona y Punta Lomitas en un periodo de 1 año, contrastados con los costos a lo largo de 30 años. Según Brücken Consult Bolivia S.R.L. (2019) los costos de operación y mantenimiento varían entre el 2% y el 3% anual del costo de inversión inicial de una central eólica. En este caso, se tomó el 3% por año. Los datos asociados se encuentran en la **Tabla 13**.

Figura 5

Comparativa de implementación de sistema de energía eólica por 30 años en comparación con la energía convencional



Fuente: Elaborado por los autores

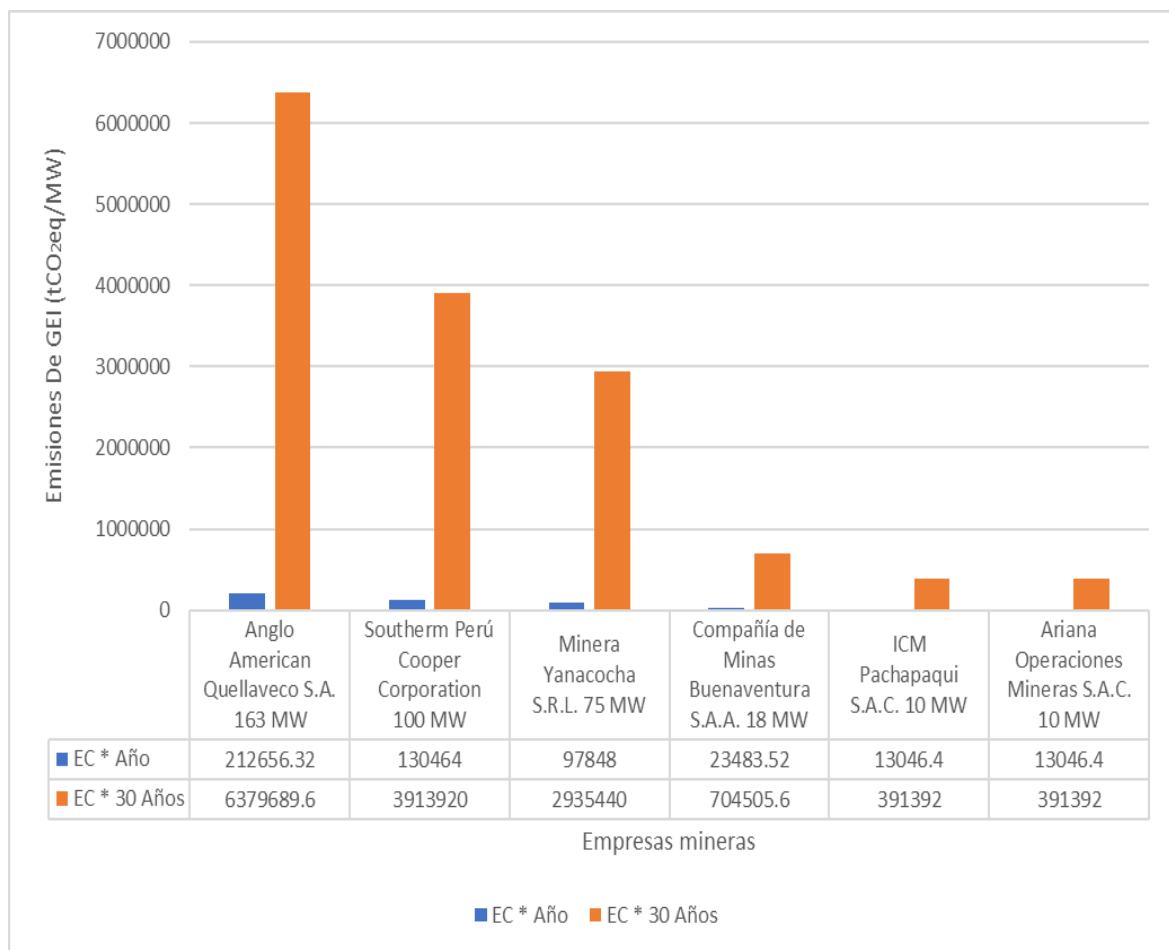
Nota: En la **Figura 5** Se muestra la comparación de la implementación de sistema de energía eólica por 30 años en comparación con la energía convencional,

todos los datos están expresados en Millones de dólares, donde los proyectos eólicos San Juan de Marcona y Punta lomas ambos proyectos de estudio están expresados de color verde y muestran cuánto cuestan implementar y mantener su funcionamiento por 30 años, comparando con los costos que se requieren por la misma cantidad de años pero usando energía convencional. Los datos se encuentran en la **Tabla 17**.

3.3. Resultado de Evaluar el impacto ambiental de la integración de energía eólica en las operaciones mineras, centrándose en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente dióxido de carbono (CO₂)

Figura 6

Emisiones de GEI (tCO₂eq/MW) de energía convencional (EC) de 1 – 30 años

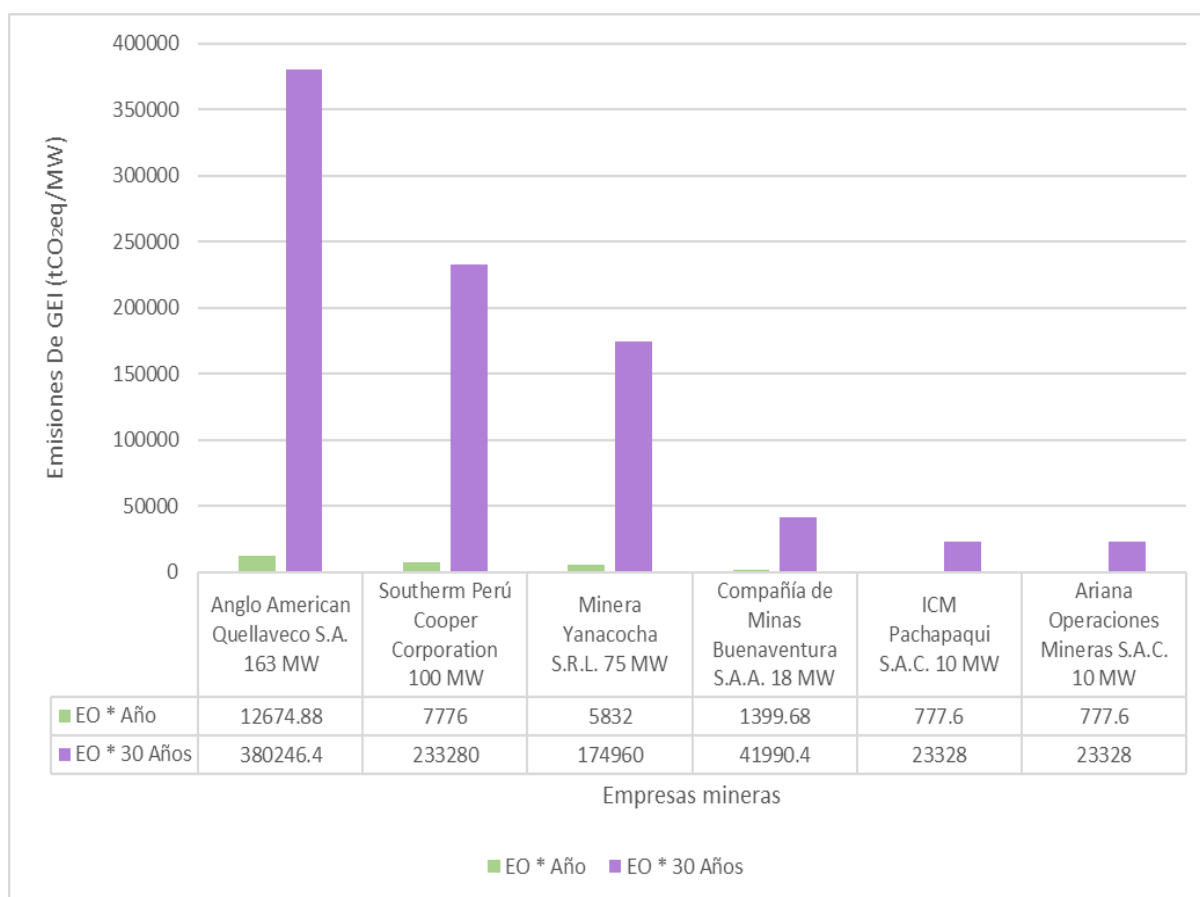


Fuente: Elaborado por los autores

Nota: En la **Figura 6** se muestra las emisiones de GEI a través del tiempo con los datos presentados en la **Tabla 18**, siendo los gráficos de color azul las emisiones de un año y de color naranja las emisiones de 30 años del uso de la energía convencional en las empresas mineras de estudio.

Figura 7

Emisiones de GEI (tCO₂eq/MW) de energía Eólica (EO) de 1 – 30 años

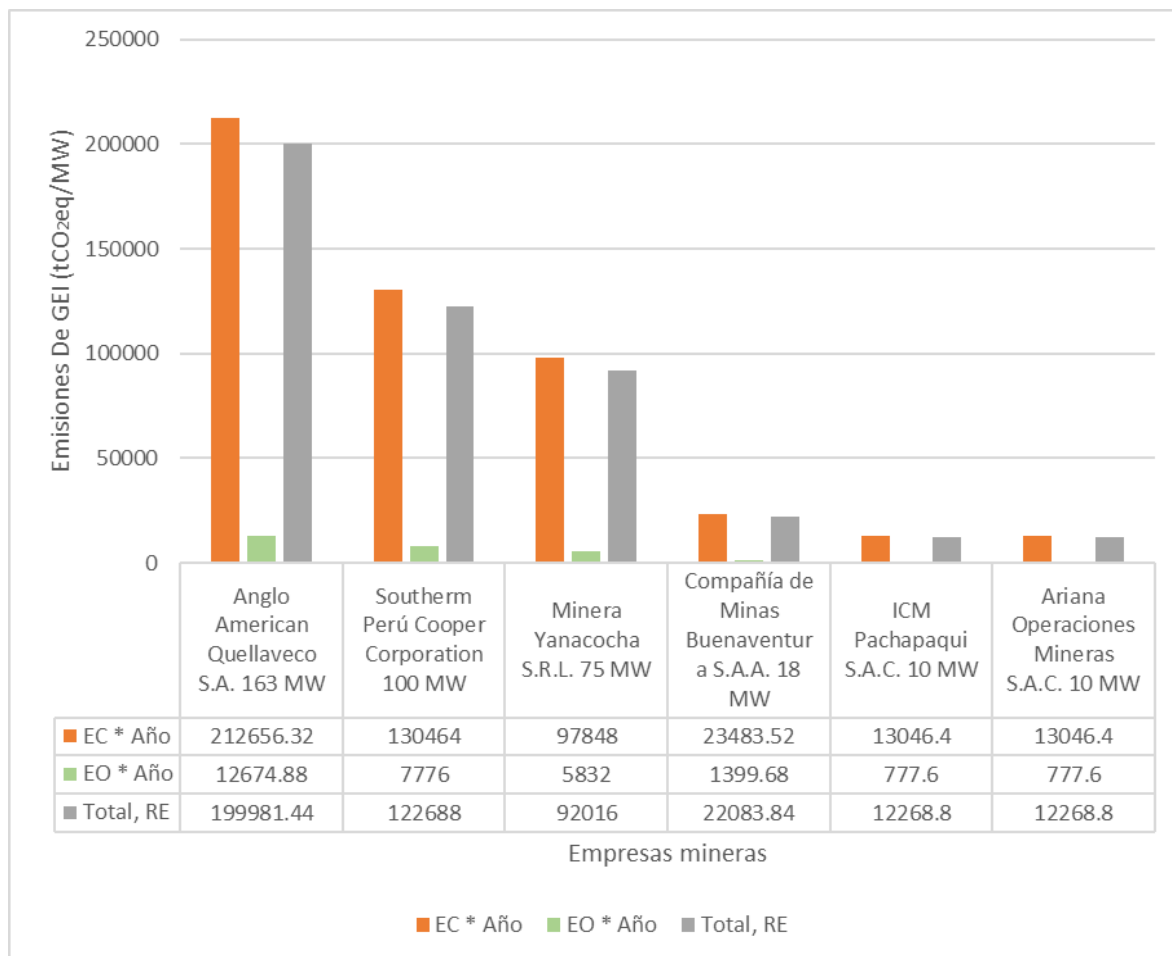


Fuente: Elaborado por los autores

Nota: En la **Figura 7** se muestra las emisiones de GEI a través del tiempo con los datos presentados en la **Tabla 19**, siendo los gráficos de color verde las emisiones de un año y de color morado las emisiones de 30 años del uso de la energía eólica en las empresas mineras de estudio.

Figura 8

Reducción de emisiones de GEI (t CO₂eq/MW) por 1 año

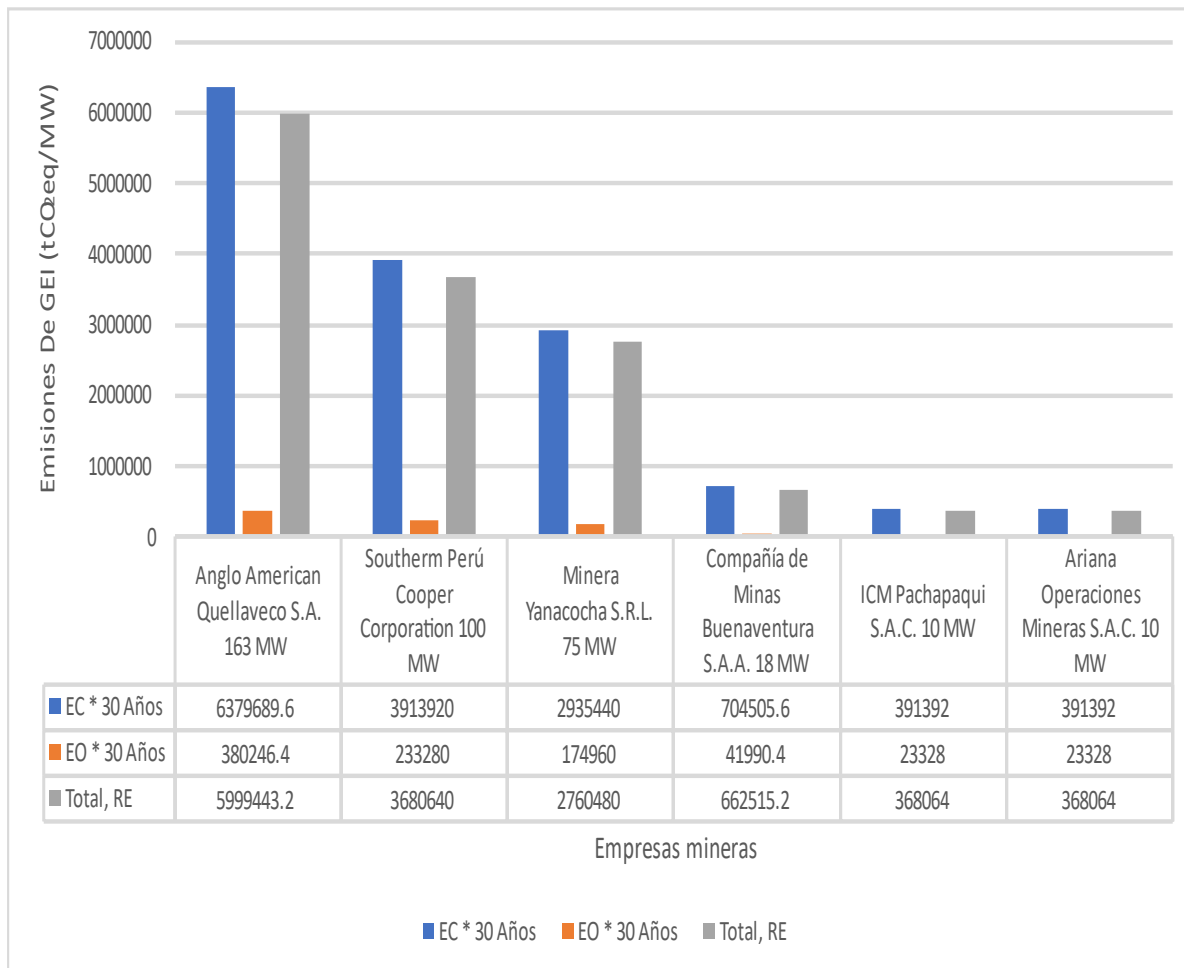


Fuente: Elaborado por los autores

Nota: En la **Figura 8** se evidencia el impacto de la reducción de emisiones de CO₂eq derivado de la implementación de energía eólica en las empresas mineras, en comparación con las emisiones de CO₂eq que las empresas mineras tendrían utilizando energía convencional a lo largo de un periodo de 1 año, con los datos presentes en la **Tabla 21**.

Figura 9:

Reducción de emisiones de GEI (t CO₂eq/MW) por 30 años



Fuente: Elaborado por los autores

*Nota: En la **Tabla 21***

Reducción de emisiones de CO₂eq al pasar de la energía convencional a la energía eólica **Figura 9** se evidencia el impacto de la reducción de emisiones de CO₂eq derivado de la implementación de energía eólica en las empresas mineras, en comparación con las emisiones de CO₂eq que las empresas mineras tendrían utilizando energía convencional a lo largo de un periodo de 30 años, con los datos presentes en la **Tabla 21**.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

4.1.1. Discusión comparativa con los antecedentes de la investigación

- El documento del MINEM (2021) señala que la industria minera tiene una alta dependencia de la energía eléctrica, representando aproximadamente el 74.4% del consumo total de energía en este sector. La **Figura 2** ilustra claramente esta dependencia energética, destacando la necesidad absoluta de energía eléctrica para operar eficientemente en las empresas mineras estudiadas. Se identifican tres áreas principales de consumo mínimo de energía: equipos eléctricos en operaciones mineras (6 MW mínimo), campamentos mineros (2.512 MW mínimo) y equipos eléctricos en planta de procesos (14.362 MW mínimo), cada una con sus propias demandas energéticas mínimas, influenciadas por factores como la cantidad de equipos activos y el personal contratado. La distribución del consumo requerido por las empresas mineras en MW muestra una variabilidad significativa, con ciertas empresas, como Anglo American Quellaveco S.A. (163 MW), Southern Peru Copper Corporation (100 MW) y Minera Yanacocha S.R.L. (75 MW), destacando con demandas más altas. Se observa una correlación entre la demanda de energía y la presencia de una planta de procesos propia, ya que las empresas con una mayor demanda energética suelen contar con esta infraestructura. En contraste, empresas como Compañía Minera Buenaventura S.A.A. (18 MW), ICM Pachapaqui S.A.C. y Ariana Operaciones Mineras S.A.C. tienen una demanda de 10 MW cada una.

Estos datos subrayan la necesidad crítica de energía eléctrica para el funcionamiento de las empresas mineras.

- Los resultados de este estudio sugieren que la implementación de sistemas de energía eólica en la industria minera presenta una oportunidad significativa para reducir los costos de inversión, operación y mantenimiento en comparación con las fuentes convencionales de energía. La comparación detallada de los costos de energía eléctrica entre plantas eólicas y empresas mineras estudiadas resalta la viabilidad económica de adoptar energías renovables. Por ejemplo, la planta eólica San Juan de Marcona, con una potencia instalada de 131 MW, requeriría una inversión total de 342 millones de dólares para operar y mantener durante 30 años, mientras que la planta eólica Punta Lomitas, con 260 MW, tendría un costo de inversión, operación y mantenimiento de 570 millones de dólares durante el mismo período. En contraste, las empresas mineras estudiadas enfrentarían costos sustancialmente más altos por el servicio eléctrico en 30 años, que oscilan entre 175.9968 y 2868.74784 millones de dólares. Además, la creciente accesibilidad económica de las tecnologías de energía renovable, señalada por Naciones Unidas (2021), respalda aún más el potencial de las energías renovables como una opción atractiva para la industria minera, incluso en regiones donde la dependencia histórica de los combustibles fósiles ha sido alta. En resumen, la transición hacia la energía eólica puede no solo ser económicamente eficiente, sino también ambientalmente sostenible, lo que subraya su importancia en el panorama energético actual y futuro de la industria minera.

- El antecedente proporcionado por Naciones Unidas (2021) destaca la importancia crucial de abordar el cambio climático global, con los combustibles fósiles identificados como los principales contribuyentes. Esta urgencia se ve reflejada en la Política Energética Nacional del Perú, que busca diversificar la matriz energética hacia fuentes renovables y mejorar la eficiencia energética. La **Figura 9** muestra claramente el impacto positivo de la integración de energía eólica en las operaciones mineras, evidenciando reducciones significativas en las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) a lo largo de 30 años. Se observa que empresas como Anglo American Quellaveco S.A., utilizando energía eólica, podrían reducir hasta 5,999,443.2 toneladas de CO₂eq, mientras que otras, como Southern Peru Copper Corporation, Minera Yanacocha S.R.L., Compañía Minera Buenaventura S.A.A., ICM Pachapaqui S.A.C. y Ariana Operaciones Mineras S.A.C., experimentarían reducciones que oscilan entre 662,515.2 y 3,680,640 toneladas de CO₂eq. Estos resultados subrayan el impacto ambiental positivo de la energía eólica en la industria minera, no solo en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, sino también en la mejora de la eficiencia operativa y la disminución de la dependencia de los combustibles fósiles. Este enfoque, como menciona Igogo et al. (2021), no solo beneficia a las empresas mineras en términos de sostenibilidad ambiental, sino que también puede impulsar el desarrollo económico local y mejorar la aceptación social.

4.1.2. Limitaciones del estudio

En el curso de la investigación, se encontraron múltiples limitaciones al intentar obtener información sobre el consumo energético de la industria minera y la viabilidad de las plantas eólicas en comparación con las fuentes convencionales. Las principales

dificultades fue la falta de disponibilidad y accesibilidad de información de costos de energía eléctrica convencional brindados a las empresas mineras, como también los costos de operación y mantenimiento de las centrales eólicas, ya que estos suelen ser confidenciales o estar sujetos a restricciones de divulgación. Esta limitación obstaculiza la obtención de una muestra representativa y completa, así como la comparación directa entre diferentes empresas mineras. Asimismo, la disponibilidad de datos sobre los consumos energéticos por sectores dentro de las empresas mineras es limitada, lo que dificulta la identificación de oportunidades de mejora y la implementación de estrategias de gestión energética eficaces.

4.1.3. Implicancias

Implicancia teórica / practica:

Desde un punto de vista teórico, adoptar sistemas de energía eólica en la industria minera podría contribuir al avance de teorías relacionadas con la transición hacia fuentes de energía más limpias y renovables en sectores industriales clave. Según Navarro Montejo (2020) En su investigación, destacó que la industria minera podría obtener beneficios mediante el uso de energía renovable, buscando así construir nuevas centrales de energía renovable y alcanzar los objetivos establecidos en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, esto podría incluir la aplicación de conceptos de teorías de transición energética y modelos de desarrollo sostenible para comprender mejor los desafíos y oportunidades asociados con la integración de energía eólica en el sector minero.

Desde una perspectiva práctica, la implementación del proyecto podría tener varias implicaciones concretas en la construcción, operación y mantenimiento de los parques

eólicos. Por ejemplo, podría conducir a la creación de empleo local y extranjero, lo que beneficiaría a las comunidades cercanas y al país. Acciona (2022) menciona que, la energía eólica sigue siendo la tecnología más eficiente para generar energía de forma segura y respetuosa con el medio ambiente: libre de emisiones, inagotable y crea prosperidad y empleo.

Implicancia Social:

La generación de empleo local asociada con la implementación de sistemas de energía eólica en la industria minera podría proporcionar oportunidades de trabajo estables y bien remuneradas para las comunidades cercanas a las minas, lo que contribuiría al desarrollo económico regional. Según Energía Estratégica (2016) indica que, para la implementación de un parque Eólico menor a 5 aerogeneradores, se suele emplear un máximo de 50 personas aproximadamente, estos puestos de trabajo varían de acuerdo con el tamaño del proyecto y la ubicación geográfica.

Implicancia de consumo de energía:

Mejora de la calidad del aire resultante de la reducción de la dependencia de las fuentes de energía convencionales tendría beneficios directos para la salud de las personas que viven y trabajan en áreas mineras, reduciendo la incidencia de enfermedades respiratorias y mejorando la calidad de vida. Asimismo, la adopción de energía eólica podría conducir a una reducción del impacto ambiental general de la industria minera, al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación del agua y el suelo, lo que contribuiría a la conservación de los ecosistemas locales y la biodiversidad. Según NLMK (2020) menciona que, la implementación de la energía eólica conlleva la disminución de los gastos energéticos a largo plazo, la reducción de la necesidad de combustibles fósiles y la ampliación de las fuentes de energía utilizadas. Asimismo, tiene

un impacto positivo en la reducción de las emisiones de contaminantes gaseosos, en la mejora de la percepción ambiental de la compañía minera y en el cumplimiento de las normativas más rigurosas establecidas

4.2. Conclusiones

- Se logro identificar la dependencia de las fuentes convencionales de energía en las operaciones mineras donde revela una alta dependencia de la energía eléctrica en este sector, los datos recopilados indican que aproximadamente el 74.4% del consumo total de energía en la industria minera está destinado a la electricidad, con áreas clave de consumo que son, equipos eléctricos en operaciones mineras (6 MW mínimo), campamentos mineros (2.512 MW mínimo) y equipos eléctricos en planta de procesos (14.362 MW mínimo). La distribución de los consumos mínimos de energía por sector destaca la variabilidad en las demandas energéticas, estas son influenciadas por factores como la cantidad de equipos activos y personal contratado. Finalmente podemos decir que los datos presentados revelan la dependencia de la energía eléctrica en la industria minera.
- Se logro calcular la implementación de sistemas de energía eólica en la industria minera donde presentan una oportunidad significativa para reducir los costos de inversión, operación y mantenimiento en comparación con las fuentes convencionales de energía, la planta eólica San Juan de Marcona, con una potencia instalada de 131 MW, requeriría una inversión total de 342 millones de dólares para operar y mantener durante 30 años, mientras que la planta eólica Punta Lomitas, con 260 MW, tendría un costo de inversión, operación y mantenimiento de 570 millones de dólares durante el mismo período. En contraste, las empresas mineras estudiadas enfrentarían costos sustancialmente más altos por el servicio eléctrico en

30 años, que oscilan entre 175.9968 y 2868.74784 millones de dólares. En resumen, la transición hacia la energía eólica puede ser económicamente eficiente.

- Se logró evaluar el impacto positivo de la integración de energía eólica en las operaciones mineras, específicamente en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, con un enfoque particular en el dióxido de carbono (CO₂). Anglo American Quellaveco S.A. podría resultar en la reducción de hasta 5,999,443.2 toneladas de CO₂eq durante un período de 30 años. Asimismo, otras empresas mineras podrían experimentar reducciones significativas en sus emisiones, que oscilan entre 662,515.2 y 3,680,640 toneladas de CO₂eq. En resumen, la integración de energía eólica en la industria minera representa una estrategia clave para avanzar hacia una economía más sostenible y resiliente al cambio climático.
- Se determinó que la adopción de energía eólica en la industria minera peruana es viable como reemplazo a las fuentes de energía convencionales, también ofrece numerosos beneficios económicos y medioambientales significativos, con oportunidades para reducir costos de inversión, operación y mantenimiento a largo plazo, como se muestra en la planta eólica San Juan de Marcona y Punta Lomitas, cuyos costos de inversión total serían de 342 y 570 millones de dólares respectivamente. Además, la transición hacia la energía eólica tiene un impacto positivo en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, con posibles reducciones que oscilan entre 662,515.2 y 5,999,443.2 toneladas de CO₂eq durante un período de 30 años, lo que contribuye significativamente a la mitigación del cambio climático y promueve una economía más sostenible. En conclusión, la adopción de energía eólica en la industria minera peruana no solo es factible, sino

Estudio de viabilidad del uso de energía eólica como alternativa a fuentes convencionales en la industria minera que también es una estrategia clave para avanzar hacia una economía más limpia, sostenible y resiliente al cambio climático.

Referencias

- Acciona. (2022). *Acciona*. https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/?_adin=02021864894
- Antala. (2021). *Antala*. <https://www.antala.es/vida-util-aerogenerador/>
- Bojorquez Chavez, M. A. (2018). *Planteamiento de un parque eólico marino en la costa peruana: regiones de Ica, Piura y La Libertad*. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13054/BOJORQUEZ_CHAVEZ_MIGUEL_PLANEAMIENTO_PARQUE_EÓLICO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Brücken Consult Bolivia S.R.L. (2019). *Estudio de determinación de Costos de Operación, Mantenimiento y Administración Fijos de Generación con base en Energías Alternativas*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://energypedia.info/images/e/e2/Estudio_Costos_Fijos_OMA-Generacion_SOLAR_FV.pdf
- Chacon, T. (2022). *Rumbo minero*. [https://www.rumbominero.com/peru/noticias/mineria/peru-1363-unidades-mineras-actividad/#:~:text=M%C3%A1s%20unidades%20mineras%20operando&text=Seg%C3%BAn%20el%20Minem%2C%20el%202021,del%20mismo%20a%C3%B1o%20\(1%2C355\)](https://www.rumbominero.com/peru/noticias/mineria/peru-1363-unidades-mineras-actividad/#:~:text=M%C3%A1s%20unidades%20mineras%20operando&text=Seg%C3%BAn%20el%20Minem%2C%20el%202021,del%20mismo%20a%C3%B1o%20(1%2C355))
- Ching, A., Estela, J., Rodriguez, C., & Zamora Tania. (2021). *Análisis del potencial y eventuales actuales usos que tienen las fuentes de energías alternativas en la minería peruana*. Chile. <https://minsus.net/mineria-sustentable/wp-content/uploads/2021/02/Energias-renovables-en-la-mineria-del-Peru.pdf>
- Córdova Rau, A. (2019). FACTORES DE EMISIÓN NACIONALES ASOCIADOS CON EL CONSUMO DE ELECTRICIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO INTERCONECTADO NACIONAL. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://namasenergia.minem.gob.pe/Content/fileman/Uploads/eficienciaenergetica/menueficiencia/Factores%20de%20emisi%C3%B3n%20nacionales%20por%20consumos%20de%20electricidad.pdf>
- Deutsche Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. (Marzo de 2019). *La energía renovable en la minería. Informe*. Alemania. https://ccsi.columbia.edu/sites/default/files/content/docs/our%20focus/extractive%20industries/La_energ_a_renovable_en_la_miner_a.pdf

- Ducardo, P. J. (2018). *Introducción a los recursos económicos*.
<https://publicaciones.autonoma.edu.co/index.php/anfora/article/view/450#:~:text=Por%20recursos%20se%20enmarcan%20en,comprensi%C3%B3n%20en%20la%20ciencia%20econ%C3%B3mica>
- Enel,Cobra,Greenergy,ContourGlobal. (2022). *Mordor Intelligence*.
<https://mordorintelligence.com/es/industry-reports/peru-wind-energy-market>
- Energía Estratégica. (2016). *Energía Estratégica*. <https://www.energiaestrategica.com/todos-los-pasos-la-construccion-exitosa-parque-eolico-los-secretos-tecnicos-comerciales/#:~:text=Para%20un%20parque%20porte%20menor,m%C3%A1ximo%20de%2050%20personas%20aproximadamente>.
- ENGIE. (2023). *ENGIE*. <https://engie-energia.pe/notas-de-prensa/central-eolica-punta-lomitas-entra-en-operacion-comercial#:~:text=Punta%20Lomitas%2C%20con%20una%20inversi%C3%B3n,toneladas%20de%20CO2%20por%20a%C3%B1o>
- Global Energy Monitor contributors. (22 de Julio de 2022). *Global Energy Monitor*, .
https://www.gem.wiki/w/index.php?title=Perfil_energ%C3%A9tico:_Per%C3%BA&oldid=351785
- Gonzales Zamora, V. (2020). Estado de las energías renovables en el Perú. *CITEenergía*.
http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2021/01/Ing.-Victor-Gonzales-Zamora_1.pdf
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.).
<https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Igogo, T., Awuah Offei, K., Newman, A., Lowder, T., & Engel Cox, J. (2021). Integrating renewable energy into mining operations: Opportunities, challenges, and enabling approaches. 42.
- IIMP. (2021). *Instituto de Ingenieros de Minas del Perú*. <https://iimp.org.pe/noticias/sector-minero-peruano-prioriza-adopcion-de-energias-renovables-frente-al-cambio-climatico>
- IRENA. (2022). *Costos de generación de energías renovables en 2021*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Power_Gen_Costs_2021_Summary_ES.pdf?rev=2ac802f758ae4c3fa87d60e4cb430d14
- López, P. (2004). *POBLACIÓN MUESTRA Y MUESTREO*.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012

- MINEM. (2021). *Balance Nacional de Energía*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4673983/PLAN%20NACIONAL%20DE%20ENERG%C3%8DA%202021.pdf?v=1686599146
- MINEM. (2022). *Anuario Estadístico de Electricidad*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Electricidad/promocion%20electronica/anuarios%20estadisticos/anuarioestadistico2022.pdf
- Ministerio de Energía y minas. (2022). *Anuario estadístico de electricidad*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Electricidad/promocion%20electronica/anuarios%20estadisticos/anuarioestadistico2022.pdf
- Naciones Unidas. (2021). *Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/climatechange/science/causes-effects-climate-change>
- Navarro Montejó, A. (2020). *Estrategias de reducción de costos asociados al cobro de la energía eléctrica consumida por la industria minera de Zacatecas, Durango, Sonora, Chihuahua y Guerrero*. Mexico.
- NLMK. (2020). *NLMK*. <https://nlmkperu.com/la-energia-eolica-y-el-impulso-hacia-la-sostenibilidad-en-la-mineria-peruana/>
- Osinermin. (2019). *REPORTE DE ANÁLISIS ECONÓMICO SECTORIAL*. https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/RAES/RAES-Mineria-diciembre-2019-GPAE-OS.pdf
- Portugal, J. A. (2022). *Estudio de Prefactibilidad de un parque eólico en área de influencia minera en el departamento de Cajamarca*. Tesis, Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3381131>
- Quintanilla Sangüeza, V. (2023). *AIDA*. <https://aida-americas.org/es/blog/el-rol-de-america-latina-en-la-extraccion-y-uso-de-carbon>
- Repsol. (2023). *REPSOL*. Hacia un consumo en el hogar más sostenible: https://www.caser.es/seguros-de-hogar/articulos/calcula-consumo-aparatos-electricos#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20consumida%20por%20los,%3A%20consumo%20%3D%20potencia%20*%20tiempo
- Ryzhkov, A. (2023). *FINMODELSLAB*. <https://finmodelslab.com/es/blogs/startup-costs/wind-farm-startup-costs>
- Toledano, O. (2019). *Rotecna*. <https://www.rotecna.com/blog/como-luchar-contr-el-cambio-climatico-desde-nuestras-granjas/>

Anexos

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	TIPO DE INVESTIGACION
<p>¿La adopción de energía eólica en la industria minera peruana es viable como reemplazo a las fuentes de energía convencionales?</p>	<p>O. General:</p> <p>Determinar si la adopción de energía eólica en la industria minera peruana es viable como reemplazo a las fuentes de energía convencionales.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>La viabilidad de sustituir las fuentes de energía convencionales por energía eólica en la industria minera peruana se encuentra respaldada por factores económicos, tecnológicos y medioambientales que indican que esta transición es una opción beneficiosa en términos de rentabilidad, sostenibilidad y reducción de emisiones de carbono.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Energía Eólica como Alternativa a Fuentes de Energía Convencionales</p>	<p>Investigación Aplicada, No experimental - Transversal - Descriptivo</p> <p>Población:</p> <p>1,363 unidades mineras en actividad en todo el Perú.</p> <p>Muestra:</p> <p>6 empresas mineras divididas por su consumo energético: mayor a 100 MW, entre 100 a 10 MW y menores a 10 MW.</p>
	<p>O. Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Identificar la dependencia de las fuentes convencionales de energía en las operaciones mineras. ➤ Calcular los costos de inversión, operación y mantenimiento asociados con la implementación de sistemas de energía eólica en la industria minera en comparación con las fuentes convencionales. ➤ Evaluar el impacto ambiental de la integración de energía eólica en las operaciones mineras, centrándose en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente dióxido de carbono (CO2) 		<p>Variable dependiente:</p> <p>Viabilidad en la Industria Minera Peruana</p>	

ANEXO 2. Matriz de operacionalización

VARIABLE (S)	DIMENSIONES	INDICADORES	Formulas
Energía Eólica como Alternativa a Fuentes de Energía Convencionales	<p>Energético</p> <p>La energía eólica puede proporcionar grandes cantidades de energía. Las centrales eólicas pueden producir grandes cantidades de electricidad, contribuyendo así a reducir la dependencia de los combustibles fósiles. (Acciona, 2022)</p>	<p>Consumo energético</p> <p>El consumo de energía está directamente relacionado con la eficiencia energética, porque a mayor consumo, menor será la eficiencia energética. (Repsol, 2023).</p>	$DE = P * t$
	<p>Económica</p> <p>(Acciona, 2022) nos hace mención que la energía eólica se considera una fuente de energía relativamente económica. En los últimos años se han observado reducciones significativas en el coste de la energía eólica y se espera que esta tendencia a la baja continúe en el futuro.</p>	<p>Recurso económico</p> <p>Según (Ducardo, 2018) señala que un recurso económico son todos aquellos elementos, medios, factores mediante cuyo uso o acción se puede lograr la satisfacción de las necesidades.</p>	$CI = CE + EI + PA + C + I + PI + OC$ $O\&M = \frac{\Pi * 3}{100}$
Viabilidad en la Industria Minera Peruana	<p>Tiempo</p> <p>La energía eólica es una fuente de energía sostenible. No hay emisiones de gases de efecto invernadero, lo que ayuda a reducir el cambio climático a largo plazo. (Acciona, 2022)</p>	<p>Tiempo de proyecto</p> <p>A través de las últimas investigaciones se sabe que los aerogeneradores están diseñados para durar entre 20 y 25 años. (Antala, 2021)</p>	$C = P * Ta * t$
	<p>Impacto</p> <p>La energía eólica tiene un impacto positivo en el medio ambiente. Según (Acciona, 2022) nos dice que no genera emisiones de gases de efecto invernadero, lo que contribuye a mejorar la calidad del aire y el agua.</p>	<p>Impacto Ambiental</p> <p>La energía renovable tiene un impacto significativo porque puede restaurar ecosistemas, reducir el calentamiento global y mejorar la calidad de vida. La energía renovable no se agotará, por lo que las generaciones futuras no sufrirán el agotamiento de los recursos naturales.</p>	$E_{GEI} = FE * EC$ $E_{EE} = G_{PE} * FE_{EE}$ $RE = EA - E_{EE}$

ANEXO 3. Equipos eléctricos para campamentos mineros

Equipos eléctricos para campamentos mineros		Consumo energético aproximado por equipo
Generadores eléctricos	Los generadores eléctricos son la principal fuente de energía para los campamentos mineros. Pueden ser de combustión interna, diésel, gas natural o turbinas.	1 a 2 MWh
Transformadores	Los transformadores se utilizan para aumentar o disminuir el voltaje de la energía eléctrica.	0.01 a 0.02 MWh
Subestaciones	Las subestaciones son instalaciones que contienen transformadores, interruptores y otros equipos eléctricos para controlar el flujo de energía.	0.1 a 0.2 MWh
Líneas de transmisión	Las líneas de transmisión se utilizan para transportar la energía eléctrica desde las subestaciones hasta los campamentos mineros.	0.1 a 0.2 MWh
Iluminación	La iluminación es necesaria para proporcionar seguridad y comodidad a los trabajadores de los campamentos mineros.	0.01 a 0.02 MWh
Calefacción y refrigeración	La calefacción y refrigeración son necesarias para mantener un ambiente confortable en los campamentos mineros.	0.02 a 0.04 MWh – Por empleado
Equipos de cocina	Los equipos de cocina se utilizan para preparar alimentos para los trabajadores de los campamentos mineros.	0.01 a 0.02 MWh – Por empleado
Equipos de lavandería	Los equipos de lavandería se utilizan para lavar la ropa de los trabajadores de los campamentos mineros.	0.005 a 0.01 MWh – Por empleado
Equipos de oficina	Los equipos de oficina se utilizan para realizar tareas administrativas en los campamentos mineros.	0.001 a 0.002 MWh – Por empleado

ANEXO 4. Equipos eléctricos para operaciones mineras

Equipos eléctricos para operaciones mineras		Consumo energético aproximado por equipo
Camiones tolva	Los camiones tolva se utilizan para transportar el mineral extraído de la mina a la superficie.	0.1 a 0.2 MWh
Palas cargadoras	Las palas cargadoras se utilizan para excavar el mineral de la mina.	0.1 a 0.2 MWh
Perforadoras	Las perforadoras se utilizan para perforar agujeros en la roca para la voladura o para la instalación de explosivos.	0.1 a 0.2 MWh
Bomba centrífuga de 100 m ³ /h	Las bombas centrífugas son las más utilizadas en las operaciones mineras. Estas bombas consumen menos energía que las bombas de desplazamiento positivo.	1 MWh
Elevadores	Los elevadores se utilizan para transportar a los trabajadores y el equipo dentro y fuera de la mina.	0.1 a 0.2 MWh
Cintas transportadoras:	Las cintas transportadoras se utilizan para transportar el mineral desde el lugar de extracción hasta el lugar de procesamiento.	0.1 a 0.2 MWh
Molinos:	Los molinos se utilizan para reducir el tamaño del mineral para facilitar su procesamiento.	1 a 2 MWh
Filtros	Los filtros se utilizan para separar los minerales valiosos de las impurezas.	1 a 2 MWh

ANEXO 5. Equipos eléctricos que se usan en una planta de procesos mineros

Equipos eléctricos que se usan en una planta de procesos mineros		Consumo energético aproximado por equipo
Generadores eléctricos	Los generadores eléctricos son la principal fuente de energía para las plantas de procesos mineros. Pueden ser de combustión interna, diésel, gas natural o turbinas.	1 a 2 MWh
Transformadores	Los transformadores se utilizan para aumentar o disminuir el voltaje de la energía eléctrica.	0.01 a 0.02 MWh
Subestaciones	Las subestaciones son instalaciones que contienen transformadores, interruptores y otros equipos eléctricos para controlar el flujo de energía.	0.1 a 0.2 MWh
Líneas de transmisión	Las líneas de transmisión se utilizan para transportar la energía eléctrica desde las subestaciones hasta las plantas de procesos mineros.	0.1 a 0.2 MWh
Iluminación	La iluminación es necesaria para proporcionar seguridad y comodidad a los trabajadores de las plantas de procesos mineros.	0.01 a 0.02 MWh - Por empleado
Controles eléctricos	Los controles eléctricos se utilizan para controlar los procesos de procesamiento.	0.001 a 0.002 MWh
Plantas de molienda		
Molino de bolas	El molino de bolas se utiliza para reducir el tamaño del mineral.	1 a 2 MWh
Molino de barras	El molino de barras se utiliza para reducir el tamaño del mineral.	1.5 a 2.5 MWh
Molino vertical	El molino vertical se utiliza para reducir el tamaño del mineral.	1.2 a 2.2 MWh
Plantas de fundición		
Hornos:	Los hornos se utilizan para fundir los minerales.	3 a 5 MWh
Electrodos	Los electrodos se utilizan para suministrar energía eléctrica a los hornos.	0.01 a 0.02 MWh
Decantadores:	Los decantadores se utilizan para separar los metales fundidos de las impurezas.	0.1 a 0.2 MWh

ANEXO 6. Proyectos mineros según demanda eléctrica – Osinergmin 2019

Demanda	Proyectos
Mayor a 100 MW	Pampa del Pongo, Michiquillay, Quellaveco, Haquira y Los Chancas
Entre 10 MW y 100 MW	Zafranal, Minas Justa, Yanacocha, A. Toromocho, Corani, Magistral, Coroccohuayco y San Gabriel
Menor a 10 MW	Ariana, Quecher Main, Inmaculada, A. Pachapaqui y Santa María

ANEXO 7. Proyectos mineros en cartera y su demanda eléctrica en MW y GWh – Sami Energy 2021

Nº	Proyecto	Empresa	Ubicación	Producto Principal	Etapa de Avance	Puesta en Marcha	Inversión MMUS\$	Demanda MW	Demanda GWh/año
1	Mina Justa	Marcobre S.A.C.	Ica	Cobre	Construcción	2021	1.600	84	625
2	Ampliación Toromocho	Minera Chinalco Perú S.A.	Junín	Cobre	Construcción	2021	1.355	83	444
3	Ariana	Ariana Operaciones Mineras S.A.C.	Junín	Cobre	Construcción	2021	125	10	71
4	Quellaveco	Anglo American Quellaveco S.A.	Moquegua	Cobre	Construcción	2022	5.300	163	1.214
5	Ampliación Santa María	Compañía Minera Poderosa S.A.	La Libertad	Oro	Construcción	2022	110	13	105
6	Optimización Inmaculada	Compañía Minera Ares S.A.	Ayacucho	Oro	Factibilidad	2021	136	13	94
7	Integración Coroccohuayco	Compañía Minera Antapaccay S.A.	Cusco	Cobre	Factibilidad	2022	590	43	344
8	Ampliación Pachapaqui	ICM Pachapaqui S.A.C.	Ancash	Zinc	Factibilidad	2023	117	10	75
9	Corani	Bear Creek Mining S.A.C.	Puno	Plata	Ingeniería de Detalle	2023	585	40	290
10	San Gabriel (Ex Chucapaca)	Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	Moquegua	Oro	Pre-Factibilidad	2023	431	18	126
11	Yanacocha Sulfuros	Minera Yanacocha S.R.L.	Cajamarca	Cobre	Factibilidad	2023	2.100	75	415
12	Pampa de Pongo	Jinzhao Mining Perú S.A.	Arequipa	Hierro	Ingeniería de Detalle	2024	2.200	247	1.947
13	Zafranal	Compañía Minera Zafranal S.A.C.	Arequipa	Cobre	Factibilidad	2024	1.157	96	800
14	Magistral	Nexa Resources Perú S.A.A.	Ancash	Cobre	Factibilidad	2023	480	38	271
15	Haquira	Minera Antares Perú S.A.C.	Apurímac	Cobre	Pre-Factibilidad	2025	1.860	180	1.576
16	Los Chancas	Southern Perú Cooper Corporation	Apurímac	Cobre	Pre-Factibilidad	2025	2.800	100	820
TOTAL							20.946	1.213	9.217

ANEXO 8. Precio medio de energía eléctrica por actividad CIU (Cent. US\$/kWh)

Región \ Actividad CIU	Activ. Comunitaria y esparcimiento	Actividad no especificada	Administración Pública	Agricultura y Ganadería	Alumbrado Público	Comercio	Construcción	Enseñanza	Hoteles y restaurantes	Inmobiliarias	Intermediación financiera	Manufactura	Minería	Organizaciones extraterritoriales	Pesca	Servicio social y de salud	Suministros de Electricidad, gas y agua	Transporte y telecomunicaciones	Total	Residencial
AMAZONAS	22,48		18,23	19,87	13,40	21,90	25,68	20,13	23,65	22,76	23,38	19,38	18,55	269,18		18,14	16,71	18,06	17,52	21,84
ANCASH	16,19	20,20	15,55	11,35	15,76	14,18	13,75	17,82	15,73	14,11	18,02	6,40	8,08	19,91	9,19	15,53	13,01	12,91	8,38	19,51
APURIMAC	24,25	21,15	21,90	25,42	16,00	24,91	30,73	22,14	25,99	24,33	23,80	26,62	6,75	25,36	25,15	20,60	18,18	20,00	7,28	24,75
AREQUIPA	18,80		16,55	9,82	18,04	14,00	21,59	16,50	19,58	14,04	15,72	7,06	5,96	14,87	17,25	14,39	14,89	12,97	6,80	21,76
AYACUCHO	22,66		20,95	24,93	20,90	23,67	25,73	21,17	23,25	12,59	22,00	10,24	7,66	20,68	25,40	17,32	14,32	19,57	13,30	23,83
CAJAMARCA	16,69	16,15	15,35	10,02	11,41	16,82	21,47	16,85	17,87	10,45	19,87	15,69	6,35	7,27	11,01	16,96	15,28	13,77	7,93	19,96
CALLAO	15,16		14,88	9,60	18,54	12,84	9,62	16,93	15,66	10,48	16,07	7,12	16,65	7,32	12,67	11,71	14,55	9,66	8,56	17,75
CUSCO	20,46	21,55	20,43	23,23	21,48	20,09	27,42	20,86	17,64	16,05	22,57	5,39	7,28	25,66	25,45	18,71	9,48	18,86	8,21	24,82
HUANCAVELICA	25,03		24,32	25,62	16,86	23,86	21,69	24,00	23,91	19,28	24,74	25,33	7,53	24,00	15,04	19,16	16,25	21,32	10,44	23,19
HUANUCO	23,58		19,93	7,84	28,44	21,38	19,21	20,84	22,66	12,18	23,85	19,22	7,37	24,12	24,86	18,04	14,21	20,19	17,35	23,96
ICA	15,38		15,71	9,70	20,26	13,80	12,11	19,15	14,22	11,11	19,88	5,21	6,25	20,06	9,14	14,56	12,59	13,90	7,01	20,25
JUNIN	21,48		20,03	13,22	22,29	19,93	23,23	21,41	23,15	18,00	23,10	5,71	6,82		24,73	17,92	14,21	20,85	8,63	23,42
LA LIBERTAD	16,50	20,50	10,05	8,13	22,24	13,50	15,52	16,17	17,03	12,21	13,80	8,05	6,03	112,08	12,02	12,93	11,87	11,16	9,22	20,06
LAMBAYEQUE	13,96	17,25	11,77	8,48	13,68	12,19	14,25	14,84	12,78	5,91	16,56	8,13	16,53	11,47	20,42	13,39	11,97	11,63	10,22	16,86
LIMA	15,76		15,14	8,69	18,11	12,61	14,87	13,11	14,24	12,39	12,07	6,97	6,14	12,55	8,77	12,39	13,21	11,82	9,69	17,76
LORETO	19,12		18,10	15,16	21,82	19,76	20,89	20,37	22,28	18,84	17,41	16,06	16,92	13,18	16,46	15,73	13,43	17,60	17,94	20,98
MADRE DE DIOS	22,65	21,69	23,22	19,54	25,87	26,45	21,12	22,24	24,64	26,57	23,04	23,22	25,33	26,05	30,48	21,07	17,35	18,33	22,95	25,02
MOQUEGUA	17,20		13,96	16,88	19,70	12,60	24,23	9,11	21,89	16,11	19,48	11,25	7,48	17,10	9,42	13,40	15,69	16,85	7,66	22,29
PASCO	24,32		20,29	26,70	20,97	23,00	20,63	22,69	24,87	14,58	24,91	16,36	6,60		24,77	18,20	28,68	21,04	7,09	23,37
PIURA	14,42	20,52	9,70	5,70	19,06	11,38	10,02	15,35	16,88	9,39	19,49	6,66	8,80	18,46	8,09	15,32	6,64	12,82	8,59	20,29
PUNO	22,60	12,24	22,01	14,99	14,53	22,18	15,20	21,61	24,15	14,99	22,13	10,11	8,30	25,80	31,96	19,96	29,27	20,41	11,78	23,65
SAN MARTIN	22,05	26,51	19,96	14,67	17,52	22,81	20,94	22,48	23,77	23,36	21,04	11,09	32,85	18,24	14,11	15,05	15,73	21,17	16,54	22,47
TACNA	15,85		16,34	6,98	18,87	15,91	18,60	17,52	20,44	17,21	17,49	11,23	7,58	18,35	9,65	15,09	10,67	14,73	12,23	22,11
TUMBES	9,24	14,99	14,71	8,65	18,73	10,76	18,24	14,27	11,71	16,42	18,84	6,14		20,95	7,54	13,96	10,83	16,96	9,53	20,46
UCAYALI	21,67		18,01	14,29	20,09	16,29	24,66	19,11	18,87	14,03	22,38	12,23	20,49	19,60	21,67	17,19	16,15	19,08	16,49	23,65
Total	16,42	14,22	15,26	8,67	18,39	13,51	14,54	16,39	15,95	12,26	14,02	6,99	6,79	11,97	8,71	13,99	12,82	13,04	8,72	19,22

ANEXO 9. Factores de Emisión de GEI - Perú

Año	FE (tCO₂eq/MWh)
2010	0.240
2011	0.230
2012	0.224
2013	0.209
2014	0.207
2015	0.203
2016	0.222
2017	0.184
2018	0.151

ANEXO 10. Huella de los parques eólicos.

Parque eólico	Unidad de producción	kg CO₂ eq.
Marino	1 MWh	15.60
Terrestre		9.00