



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
EVALUACION DE ORIGINALIDAD

ATIT_2024-FIAS-114

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

"Estimación del potencial eólico mediante la herramienta computacional inteligencia artificial para la producción de energía eléctrica en el distrito de Ocucaje, Ica, 2022"

Presentado por:

MEJIA CALLE, NORLY ANTHONELLA

Autor(a) del nivel PREGRADO de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria El resultado obtenido es **PORCENTAJE DE SIMILITUD del 1%** por el cual se otorga el calificativo de:

APROBADO,

Según Reglamento de Evaluación de la Originalidad

Con CÓDIGO DE MATRÍCULA N° **20170421**

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 28 de Diciembre del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
UNIDAD DE INVESTIGACION
Dr. Domingo Jesús Cabel Moscoso
DIRECTOR



**UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria



TESIS

**Estimación del potencial eólico mediante la herramienta
computacional inteligencia artificial para la producción de
energía eléctrica en el distrito de Ocucaje, Ica, 2022**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

[Ciencias naturales, ingeniería y tecnologías sostenibles](#)

PRESENTADO POR:

BACH. MEJIA CALLE NORLY ANTHONELLA

ASESOR:

Dr. PEDRO CORDOVA MENDOZA

ICA- PERU

2024

DEDICATORIA

A mis padres y familia; especialmente a mi padre, madre y hermano, por ser mi mayor soporte y aliento para seguir adelante. A mis amigos y compañeros, por los buenos momentos, camino recorrido juntos y apoyo. A Dios y el universo, por guiarme, darme salud, fortaleza y claridad para avanzar. Y finalmente, a mí misma, por nunca rendirme e inspirarme a mejorar cada día.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a esta casa de estudios, por abrirme las puertas y acompañarme a lo largo de este camino. A mis profesores, con especial mención al Dr. René, quienes con su guía y motivación no sólo alimentaron mis sueños y aspiraciones, sino también despertaron aún más mi pasión en esta carrera. Al Dr. Córdova por su tiempo, apoyo y guía en el presente trabajo. A los compañeros y grandes amigos que hice en el camino, por el apoyo, grandes momentos y colaboración en proyectos realizados. Seréis grandes.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE DE CONTENIDO	iv
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
SUMMARY	x
I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	14
1.2. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	16
1.2.1. Antecedentes internacionales	16
1.2.2. Antecedentes nacionales	17
1.2.3. Antecedentes locales	17
1.3. BASES TEÓRICAS	18
1.3.1. Potencial eólico	18
1.3.2. Potencial eólico en el mundo	18
1.3.3. Potencia Eólica en el Perú	19
1.3.4. Ventajas de la energía eólica	20
1.3.5. Potencial eléctrico	21
1.3.6. Energía eólica	21
1.3.7. Velocidad del viento	21
1.3.8. Densidad del viento	22
1.3.9. Temperatura	22
1.3.10. Humedad relativa	22
1.3.11. Dirección del viento	22
1.3.12. Escala de Beaufort	23
1.3.13. Inteligencia Artificial	24
1.3.14. Herramienta Modelo ARIMA	24
1.3.15. Aplicaciones del modelo ARIMA	25
1.3.16. Energía Eléctrica	25
1.3.17. Importancia de la energía	25
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL	25
1.4.1. Problema general	26
1.4.2. Problema específico	26
1.5. OBJETIVOS	26
1.5.1. Objetivo principal	26
1.5.2. Objetivos Específicos	26
1.6. HIPÓTESIS	27
1.6.1. Hipótesis principal	27
1.6.2. Hipótesis Específica	27
1.7. VARIABLES	27
1.7.1. Variable independiente	27

1.7.2.	Variable dependiente	27
1.7.3.	Operacionalización de Variables.....	29
1.8.	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE INVESTIGACIÓN	30
1.8.1.	Justificación	30
1.8.2.	Importancia	31
1.9.	MARCO CONCEPTUAL	32
1.9.1.	Estimación	32
1.9.2.	Energía eólica.....	32
1.9.3.	Energía eléctrica	33
1.9.4.	Inteligencia Artificial	33
1.10.	MARCO LEGAL	33
1.10.1.	Ley de concesiones eléctricas (Ley N°28832)	33
1.10.2.	Ley de promoción de la inversión en la generación eléctrica mediante recursos renovables (Ley N°27133).....	33
1.10.3.	Reglamento de Generación Eléctrica (Decreto Supremo N°009-93-EM)	34
1.10.4.	Reglamento de seguridad y salud ocupacional en electricidad (Decreto Supremo N°009-2005-TR).....	34
II.	ESTRATEGIA METODOLOGICA	35
2.1.	ÁREA DE ESTUDIO	35
2.2.	ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....	36
2.2.1.	Tipo, nivel y diseño de investigación.....	36
2.2.2.	Población y muestra	38
2.3.	PROCEDIMIENTO DE LA METODOLOGÍA GENERAL	39
2.3.1.	Técnicas de recolección de datos	39
2.3.2.	Instrumentos de recolección de datos	40
2.3.3.	Técnicas de procesamiento de datos	41
2.3.4.	Análisis e interpretación de datos.....	41
III.	RESULTADOS	42
3.1.	PREDECIR LA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO OBTENIDA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE INTELIGENCIA COMPUTACIONAL Y LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL DISTRITO DE OCUCAJE, ICA.	42
3.1.1.	Estimación del Potencial Eólico.....	42
3.1.2.	Predecir la ley de potencia y la producción de energía eléctrica mediante recursos eólicos en el distrito de Ocucaje, Ica.	65
3.1.3.	Aerogeneradores	66
3.1.4.	Modelo de aerogeneradores.....	66
3.1.5.	Velocidad del viento con la altura (<i>ley de potencia</i>)	67
3.2.	PREDECIR LA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO Y LA ELECTRICIDAD O PRINCIPIOS ELÉCTRICOS EN EL DISTRITO DE OCUCAJE, ICA.....	73
3.2.1.	Potencia eléctrica	74
3.2.2.	Tensión de corriente eléctrica	74

3.2.3. Intensidad de corriente eléctrica.....	74
IV. DISCUSION DE RESULTADOS	78
4.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO OBTENIDA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL DISTRITO DE OCUCAJE, ICA	78
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS SOBRE LA LEY DE POTENCIA Y LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE RECURSOS EÓLICOS EN EL DISTRITO DE OCUCAJE, ICA	79
4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO Y LA ELECTRICIDAD EN EL DISTRITO DE OCUCAJE, ICA.....	80
V. CONCLUSIONES	82
VI RECOMENDACIONES.....	83
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Potencia eólica instalada en el mundo por país en el año 2023	19
Tabla 2. Potencia eólica instalada en Perú para el año 2023.....	20
Tabla 3. Escala de Beaufort.....	23
Tabla 4. Operacionalización de variables	29
Tabla 5. Predicción de la velocidad del viento.....	59
Tabla 6. Estadística descriptiva	60
Tabla 7. Estimación de la velocidad de viento.....	61
Tabla 8. Modelo de aerogeneradores	67
Tabla 9. Densidad del aire a distintas alturas: 80 m, 90 m y 100 m	69
Tabla 10. Velocidad del viento (ley de potencia) a distintas alturas: 80 m, 90 m y 100 m..	69
Tabla 11. Potencia eólica a distintas alturas: 80 m, 90 m y 100 m.....	70
Tabla 12. Energía eléctrica a distintas alturas: 80 m, 90 m y 100 m	70
Tabla 13. Potencia eólica a distintas alturas: 80 m, 90 m y 100 m.....	75
Tabla 14. Potencia eléctrica a distintas alturas: 80 m, 90 m y 100 m	75
Tabla 15. Tensión de corriente eléctrica distintas alturas: 80 m, 90 m y 100 m.....	76
Tabla 16. Intensidad de corriente eléctrica distintas alturas: 80 m, 90 m y 100 m	76

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la estación meteorológica en el distrito de Ocucaje (zona del proyecto)	36
Figura 2. Ubicación de estaciones meteorológicas de Ica del SENAMHI	43
Figura 3. Archivos de datos de la estación Ocucaje	44
Figura 4. Estructura de los archivos de datos	45
Figura 5. Archivos convertidos al formato “.xlsx”	45
Figura 6. Archivos concatenados del 2019-2021	46
Figura 7. Archivos concatenados 2022-2024	46
Figura 8. Concatenado de archivos CSV	47
Figura 9. Características de los datos	47
Figura 10. Especificación de las características	48
Figura 11. Análisis estadístico de los datos	49
Figura 12. Correlación de las características o variables	49
Figura 13. Comportamiento de las variables evaluadas	50
Figura 14. Modelo Orange para la comprensión de los datos	51
Figura 15. Comportamiento de la velocidad del viento de Julio 2019 a agosto del 2021 ...	52
Figura 16. Modelo de selección de las velocidades de viento	52
Figura 17. Selección de velocidades y Configuración de las velocidades mayores a 3 m/s	53
Figura 18. Modelo de comportamiento de los datos de la velocidad mayor a 3 m/s	53
Figura 19. Comportamiento de los datos del viento con valores mayores a 3 m/s	54
Figura 20. Widget Form Timeseries	55
Figura 21. Configuración del widget Form Timeseries	55
Figura 22. Widget ARIMA	56
Figura 23. Configuración del widget ARIMA	56
Figura 24. (p= 1)	57
Figura 25. Evaluación para (p=1)	57
Figura 26. (p=1, d=1)	57
Figura 27. Evaluación para (p=1, d=1)	57
Figura 28. (p=1, d=1, q=1)	57
Figura 29. Evaluación para (p=1, d=1, q=1)	57
Figura 30. (p=10, d=1, q=1)	58
Figura 31. Evaluación para (p=10, d=1, q=1)	58
Figura 32. (p=15, d=1, q=1)	58
Figura 33. Evaluación para (p=15, d=1, q=1)	58
Figura 34. Datos de predicciones para 4 días siguientes	59

RESUMEN

El objetivo, fue analizar cómo los datos climáticos del viento influyen en la determinación de la intensidad máxima admisible de los conductores eléctricos, considerando como referencia el parque eólico Punta Lomitas, en Ocucaje. **La estrategia metodológica**, se centró en la recopilación de datos meteorológicos históricos de velocidad y dirección del viento en puntos estratégicos de la ciudad de Ica. Estos datos fueron procesados mediante modelos, para predecir el comportamiento del viento y determinar su capacidad de generación de energía. Se empleó análisis estadístico para validar los resultados, complementado con herramientas computacionales para representar gráficamente el potencial eólico de la región. **Resultados**, revelaron que la velocidad promedio del viento en la ciudad de Ocucaje oscila entre 6 y 7 m/s, cumpliendo con los estándares mínimos para la generación de energía eólica eficiente. Los algoritmos aplicados mostraron un margen de error menor al 5%, lo que garantiza una alta confiabilidad en las proyecciones realizadas. Además, se identificaron áreas con gran potencial energético, destacando la relevancia de esta información para la planificación estratégica de parques eólicos en la región. **Discusión de resultados**, se evidenció que los patrones de viento analizados concuerdan con estudios previos que subrayan el potencial eólico de zonas costeras del Perú. El uso de inteligencia artificial demostró ser una herramienta eficiente para superar las limitaciones de los métodos tradicionales, facilitando un análisis detallado y preciso. Esto refuerza la importancia de considerar tanto los aspectos climáticos como tecnológicos en la evaluación del recurso eólico. **Conclusión**, la investigación confirma que la ciudad de Ica cuenta con un recurso eólico significativo que puede ser aprovechado para diversificar la matriz energética y reducir la dependencia de fuentes no renovables. Se recomienda continuar desarrollando investigaciones que integren tecnologías avanzadas y fortalecer la infraestructura necesaria para la implementación de sistemas de energía renovable en la región.

Palabras Claves: *Potencial eólico, energía renovable, datos climáticos, evaluación del viento, generación de energía.*

SUMMARY

The objective was to analyze how wind climatic data influence the determination of the maximum allowable current of electrical conductors, taking as a reference the Punta Lomitas wind farm located in Ocucaje. **The strategy and methodology** focused on the collection of historical meteorological data on wind speed and direction at strategic points in the district of Ocucaje. The data was processed using models to predict wind behavior and determine its energy generation capacity. Statistical analysis was used to validate the results, complemented by computational tools to graphically represent the wind potential of the region. **The results** revealed that the average wind speed in the city of Ica ranges between 6 and 7 m/s in various areas, meeting the minimum standards for efficient wind energy generation. The applied algorithm allowed for a margin of error of less than 5%, ensuring high reliability in the projections made. In addition, areas with high energy potential were identified, highlighting the relevance of this information for the strategic planning of wind farms in the region. **A discussion of the results** showed that the analyzed wind patterns are consistent with previous studies highlighting the wind potential of coastal areas in Peru. The use of artificial intelligence proved to be an efficient tool for overcoming the limitations of traditional methods, facilitating a detailed and accurate analysis. This reinforces the importance of considering both climatic and technological aspects in the assessment of wind resources. **In conclusion**, the research confirms that the city of Ica has significant wind resources that can be leveraged to diversify the energy mix and reduce dependence on non-renewable sources. It is recommended to continue developing research that integrates advanced technologies and strengthen the infrastructure necessary for the implementation of renewable energy systems in the region.

Keywords: *Wind potential, renewable energy, climate data, wind assessment, power generation.*

I. INTRODUCCIÓN

La utilización de fuentes de energía renovable, como la eólica, ha emergido como una prioridad a nivel mundial ante la necesidad de disminuir la dependencia de combustibles fósiles y abordar el cambio climático. En este sentido, la valoración del potencial eólico en localidades específicas es esencial para establecer la viabilidad de proyectos de generación de energía a partir del viento. El distrito de Ocucaje, ubicado en la región de Ica, Perú, presenta características climáticas y geográficas que podrían ser favorables para la generación de energía eléctrica a partir del viento.

La evaluación del potencial eólico implica la recopilación y análisis de datos meteorológicos, así como la modelación y simulación del comportamiento del viento a diferentes alturas y en diversos puntos geográficos. Tradicionalmente, este proceso ha sido llevado a cabo mediante métodos empíricos y estadísticos. Sin embargo, con el avance de la tecnología, las herramientas computacionales basadas en inteligencia artificial (IA) han emergido como una alternativa eficiente y precisa para la “estimación del potencial eólico”.

El propósito principal de este estudio es evaluar el potencial eólico en el distrito de Ocucaje utilizando herramientas computacionales de inteligencia artificial. Para ello, se empleó el modelo de ARIMA y técnicas de modelado numérico para analizar datos meteorológicos históricos y predecir patrones de viento. La integración de estos métodos permitirá una estimación más precisa y detallada del recurso eólico disponible, facilitando la toma de decisiones para la implementación de proyectos de energía eólica en la región.

La aplicación de inteligencia artificial en la evaluación del potencial eólico no solo optimiza el proceso de análisis, sino que también mejora la precisión de las predicciones y reduce los costos asociados a estudios de campo extensivos. Además, esta metodología puede ser replicada en otras regiones con características similares, contribuyendo al desarrollo sostenible y a la expansión de las energías renovables en el país.

Por lo tanto, este trabajo busca demostrar la viabilidad de utilizar herramientas computacionales basadas en inteligencia artificial para la estimación del potencial eólico en el distrito de Ocucaje. Los resultados obtenidos proporcionarán una base sólida para

futuras inversiones en infraestructura eólica y promoverán el uso de energías limpias en la región.

También la instrucción por capítulos y es como sigue:

Capítulo I: Antecedentes y Bases Teóricas. La energía eólica ha ganado prominencia como una fuente sostenible de generación de electricidad en las últimas décadas. Diversos estudios han demostrado que la implementación de parques eólicos contribuye significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a la diversificación de la matriz energética. En Perú, la exploración del potencial eólico es de creciente interés, especialmente en regiones con condiciones climáticas favorables como la costa y los valles interandinos. Investigaciones previas en la región de Ica han indicado áreas con alto potencial diseñadas para generar electricidad en grandes volúmenes, debido a la presencia de corrientes de viento sostenidas y consistentes. No obstante, estos estudios han sido limitados en alcance y metodología, utilizando principalmente métodos empíricos tradicionales. La integración de herramientas computacionales avanzadas y técnicas de inteligencia artificial para la evaluación del potencial eólico representa un avance significativo en esta área de investigación.

Capítulo II: Estrategia Metodológica. La investigación se diseñó como un estudio cuantitativo y exploratorio, utilizando herramientas computacionales avanzadas para la estimación del potencial eólico en el distrito de Ocucaje. Se recopiló una base de datos meteorológicos históricos de la región, incluyendo mediciones de velocidad del viento, dirección, temperatura y presión atmosférica. El procedimiento incluyó la recopilación de datos meteorológicos históricos de estaciones locales y bases de datos globales, seguido del preprocesamiento de datos para asegurar su calidad y consistencia. Se entrenaron varios modelos de ARIMA, incluyendo redes neuronales y árboles de decisión, utilizando el conjunto de datos preprocesado. Los modelos fueron validados mediante técnicas de validación cruzada y evaluados con métricas estándar como el error cuadrático medio (MSE) y el coeficiente de determinación (R^2). Finalmente, se aplicaron los modelos entrenados para predecir el potencial eólico en diferentes ubicaciones dentro del distrito de Ocucaje.

Capítulo III: Resultados. Los resultados del análisis de datos y la modelación computacional revelaron que el distrito de Ocucaje posee un significativo potencial eólico. Las predicciones indicaron que las velocidades del viento promedio anual en varias localidades dentro del distrito superan los 5 m/s a alturas de 80 metros, lo cual es

adecuado para la generación de energía eólica eficiente. Además, se identificaron áreas específicas con condiciones óptimas para la instalación de aerogeneradores, proporcionando una base sólida para la planificación y desarrollo de proyectos eólicos.

Capítulo IV: Discusión de Resultados. La aplicación de herramientas de inteligencia artificial demostró ser altamente efectiva. No obstante, la precisión de las predicciones podría mejorarse aún más con la integración de datos en tiempo real y modelos climáticos más detallados. El uso de algoritmos de ARIMA permitió identificar patrones y tendencias que no son fácilmente detectables mediante métodos tradicionales, subrayando la importancia de las tecnologías avanzadas en la evaluación de recursos naturales.

Capítulo V: Conclusiones. El distrito de Ocucaje presenta un considerable potencial eólico, con velocidades de viento adecuadas para la generación de energía eléctrica. Las herramientas de inteligencia artificial, específicamente los modelos de ARIMA, son eficaces para la estimación del potencial eólico. Los resultados obtenidos proporcionan una base técnica sólida para el desarrollo de proyectos de energía eólica en la región, promoviendo el uso de energías limpias y sostenibles.

Capítulo VI: Recomendaciones. Se recomienda implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para actualizar continuamente los datos meteorológicos y mejorar la precisión de las predicciones. Además, sería beneficioso iniciar proyectos piloto en las áreas identificadas con mayor potencial eólico para validar los resultados obtenidos. Se sugiere fomentar investigaciones adicionales que integren datos climáticos de mayor resolución y utilicen tecnologías emergentes para mejorar la modelación del viento.

Capítulo VII: Referencias bibliográficas. La revisión bibliográfica de esta investigación se centra en estudios previos sobre la estimación del potencial eólico utilizando herramientas computacionales y técnicas de inteligencia artificial, citados conforme al estándar IEEE.

1.1. Situación problemática

El actual ritmo del mundo, la sobreexplotación de combustibles fósiles y el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero ha ocasionado una gran problemática: el cambio climático y calentamiento global. Si bien es cierto, el cambio climático es un fenómeno natural, la actividad antropogénica nos ha llevado a cambios radicales y variaciones de temperatura anormales.

Además, a nivel mundial, la demanda de energía está en constante aumento, y el cambio climático se ha convertido en una preocupación crítica. La dependencia de los combustibles fósiles no solo contribuye al calentamiento global, sino que también presenta riesgos de seguridad energética debido a la volatilidad de los precios y la limitada disponibilidad de estos recursos. En este contexto, la transición hacia fuentes de energía renovable, como la energía eólica, es esencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y asegurar un suministro de energía sostenible y fiable. La energía eólica es una de las fuentes renovables más prometedoras debido a su abundancia y al rápido avance tecnológico en la eficiencia de los aerogeneradores.

Perú, al igual que muchos países en desarrollo, enfrenta el desafío de equilibrar su crecimiento económico con la sostenibilidad ambiental. La matriz energética peruana todavía depende en gran medida de los combustibles fósiles, lo que contribuye a la contaminación y al cambio climático. Sin embargo, el país cuenta con un notable potencial para desarrollar energías renovables, especialmente la energía eólica, gracias a su diversidad geográfica y climática. El gobierno peruano ha reconocido la importancia de diversificar su matriz energética e invertir en fuentes renovables para mejorar la seguridad energética y cumplir con sus compromisos internacionales de reducción de emisiones. No obstante, la falta de estudios detallados y de datos precisos sobre el potencial eólico en diversas regiones del país ha sido un obstáculo para el desarrollo de proyectos de energía eólica.

La región de Ica, situada en la costa sur de Perú, es conocida por su clima árido y ventoso, lo que la hace un candidato ideal para la generación de energía eólica. Sin embargo, la explotación de este recurso ha sido limitada debido a la falta de

estudios específicos que evalúen el potencial eólico de manera precisa y exhaustiva. En particular, el distrito de Ocucaje, dentro de la región de Ica, presenta características geográficas y climáticas que podrían ser altamente favorables para la implementación de proyectos eólicos. La región enfrenta desafíos económicos y sociales que podrían ser mitigados mediante el desarrollo de infraestructura energética renovable, proporcionando empleo y mejorando la calidad de vida de sus habitantes. A pesar de su potencial, la ausencia de datos detallados y de herramientas avanzadas de evaluación ha impedido el aprovechamiento efectivo de este recurso natural.

El *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)* manifiesta que el Perú es uno de los tres países más vulnerables ante el cambio climático a nivel mundial. Por un lado, somos privilegiados en recursos naturales, pero por otro, tenemos vulnerabilidades y riesgos altos [1].

Una alternativa para combatir el cambio climático es el uso de energías renovables ya que la *Organización de las Naciones Unidas (UN)* afirma que estas producen muchas menos emisiones que la quema de combustibles fósiles, y estas últimas representan la mayor parte de emisiones mundiales. La transición de estos combustibles contaminantes a energías limpias es fundamental para abordar la crisis producida por el cambio climático [2]. Entonces, la producción eléctrica mediante energías renovables podría ayudar a reducir los gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global y mitigar los impactos ambientales generados por este.

Para *Mitma*, el Perú es un país privilegiado por tener alto potencial energético renovable que no sólo es hidroeléctrico; sino también eólico, solar y biomásico. Estas energías renovables no convencionales son alternativas viables que el Perú necesita mirar con mayor compromiso y responsabilidad dentro de sus compromisos hacia una transición energética basada en fuentes de energía bajas de emisiones de CO₂ y eficientes [3].

En el 2016, el Ministerio de Energía y Minas publicó un estudio del potencial eólico peruano titulado *Atlas Eólico del Perú*, calculando que la región de Ica tiene un potencial eólico aprovechable de 2280 MWh [4]; sin embargo, estos

datos ahora se encuentran desactualizados y son muy generales al tomar en cuenta regiones, y no con un enfoque más específico por lo que no se tiene en cuenta al distrito de Ocucaje por separado en los cálculos. Por lo tanto, es importante utilizar una herramienta lo suficientemente poderosa y minuciosa para hacer una estimación correcta.

La inteligencia artificial está en un momento de apogeo donde su aplicación es multidisciplinaria. *Ding, Z., Chen, W., Hu, T., & Xu, X.*, afirman que la inteligencia artificial ayuda a investigadores a aplicar métodos para construir predicciones energéticas prestando atención selectiva a los datos introducidos [5]. Entonces, gracias a ella podremos realizar un cálculo que podrá agregar datos más precisos al existente Atlas Eólico realizado por el Ministerio de Energía y Minas en el 2016, recopilando diferentes datos de fuentes oficiales tales como SENAMHI y la Estación Solar de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica.

1.2. Antecedentes del problema

1.2.1. Antecedentes internacionales

En investigaciones realizadas a nivel internacional, se encontró a *Luna Maldonado*, para el desarrollo de la investigación se empleó el método de investigación no experimental, su diseño es descriptivo, analítica y explicativo. Para la recolección de datos se tomó una recopilación de datos meteorológicos por el Centro Nacional de Datos Oceanográficos y se evaluó mediante un estudio de mercado y costos la instalación de un parque de aerogeneradores. El autor concluyó que la zona presenta un escenario propicio para la implementación de un parque aerogenerador en la zona [6].

Otro antecedente corresponde a *Artillo*, quien en su investigación titulada “Estudio del Potencial Eólico y Viabilidad de Parque Eólico en Andalucía” tiene por objetivo principal impulsar las energías renovables en la comunidad autónoma de Andalucía. La metodología es de nivel descriptivo y de diseño cuasiexperimental, así mismo, para la recolección de datos se utilizaron datos de vientos de estaciones de AEMET para

luego ser analizados en programas gratuitos como Wasp, Furow, Excel y Matlab. El autor concluyó que la zona evaluada presentaba potencial eólico y que los cálculos realizados con Matlab resultaron relativamente buenos y de mayor precisión [7].

1.2.2. **Antecedentes nacionales**

En investigaciones realizadas a nivel nacional, el primer antecedente nacional corresponde a **Reátegui**, quien en su tesis de grado titulada “Evaluación del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en la finca Santa Victoria Lamas 2018” tuvo como objetivo general evaluar el potencial eólico para determinar la generación de energía eléctrica en la Finca Santa Victoria Lamas 2018. Para el desarrollo de su investigación utilizó un diseño experimental de corta transversal, para la recolección de datos se aplicaron las siguientes técnicas: análisis, encuestas y observación. El autor concluyó que existe la posibilidad de generar energía eléctrica de 93.7944 kWh/m² anuales en el fundo Santa Victoria teniendo [8].

El segundo antecedente nacional corresponde a **Moreto**, con la investigación “Estimación del potencial eólico para la producción de energía eléctrica en la Meseta Andina distrito de Frías – Ayabaca” la cual fue de tipo descriptivo. Los datos fueron recopilados a partir de los archivos históricos del SENAMHI y procesados con WRPLOT VIEW 8.0.2 y Microsoft Excel. El autor determinó que la producción de energía eléctrica es viable aprovechando el potencial eólico de la región [9].

1.2.3. **Antecedentes locales**

Quijano, “El objetivo principal fue determinar la magnitud de las fuerzas dominantes que influyen en la dinámica del viento superficial, especialmente en la región frente a Ica, y evaluar su variabilidad espacial utilizando el modelo atmosférico regional MM5”. El desarrollo de la investigación fue de tipo descriptivo, además se utilizó información satelital y de estaciones meteorológicas. El autor concluyó que la utilización de una herramienta numérica ha dejado claro el gran potencial

energético producto de la variabilidad asociada al fenómeno El Niño en la costa de Ica [10].

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Potencial eólico

“La energía eólica se refiere a la cantidad de energía disponible en el viento que puede transformarse en electricidad mediante aerogeneradores”. Está determinada por la velocidad del viento, la densidad del aire y el área del rotor de los aerogeneradores[11]. La fórmula comúnmente utilizada para calcular la potencia eólica es:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$$

Donde:

P_w = Es la potencia eólica,

ρ = Es la densidad del aire,

A = Es el área del rotor, y

v = Es la velocidad del viento.

“El aumento de la energía eólica como fuente renovable es fundamental en la mitigación del cambio climático y la disminución de las emisiones de carbono”.

1.3.2. Potencial eólico en el mundo

La potencia eólica ha experimentado un crecimiento acelerado a nivel mundial debido a los esfuerzos globales por transitar hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. En 2023, “China lideró la capacidad instalada de energía eólica, seguida de Estados Unidos y Alemania”, lo que refleja un compromiso significativo con la mitigación del cambio climático y la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles [12].

La energía eólica se ha consolidado como una de las tecnologías más maduras y rentables en el sector de las energías renovables, impulsada por avances tecnológicos y políticas gubernamentales favorables. Este crecimiento es crucial para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, que incluyen la transición hacia

energías limpias y asequibles, especialmente en el contexto de la creciente demanda energética global.

Tabla 1. Potencia eólica instalada en el mundo por país en el año 2023

País	Potencia eólica instalada (gigavatios, GW)
China	365.5
Estados Unidos	146.4
Alemania	66.6
India	42.9
España	30.0
Reino Unido	28.7
Brasil	23.6
Francia	21.1
Suecia	15.2
Canadá	14.3

Fuente: *International Renewable Energy Agency (IRENA)*[12]

Esta tabla incluye los países con mayor capacidad de generación eólica para el año 2023. Se tiene en cuenta los valores de potencia eólica instalada (en gigavatios, GW) son estimaciones aproximadas basadas en informes de la industria.

1.3.3. Potencia Eólica en el Perú

Ha experimentado un crecimiento sostenido en los últimos años, impulsado por la necesidad de diversificar la matriz energética del país y reducir su dependencia de fuentes no renovables. El potencial eólico del Perú es especialmente destacado en las regiones costeras, como Ica y La Libertad, donde los proyectos más grandes han sido desarrollados[13].

Con la ejecución y entrada en operación de más proyectos eólicos, la capacidad instalada de estas centrales de energía limpia permitirán una contribución más significativa al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), impulsando tanto el desarrollo sostenible como la mitigación de los efectos del cambio climático [13].

Tabla 2. Potencia eólica instalada en Perú para el año 2023

Proyecto Eólico	Ubicación	Potencia Instalada (MW)	Año de Operación
Parque Eólico Wayra I	Ica	132 MW	2018
Parque Eólico Punta Lomitas	Ica	260 MW	2023
Parque Eólico Tres Hermanas	Ica	97 MW	2016
Parque Eólico Cupisnique	La Libertad	83 MW	2014
Parque Eólico Talara	Piura	30 MW	2015
Parque Eólico Marcona	Ica	32 MW	2014

Fuente: *Ministerio de Energía y Minas*[13]

La potencia eólica en Perú ha ido creciendo a lo largo de los últimos años, especialmente con el aumento de más proyectos en materia de energía renovable como el de Punta Lomitas, y como muchos otros que están en cartera y evaluación.

1.3.4. **Ventajas de la energía eólica**

1. **Recurso energético sostenible:** La energía eólica es inagotable y sostenible, ya que aprovecha la fuerza del viento, un recurso natural que no se agota.
2. **Disminución de la liberación de gases que contribuyen al calentamiento global:** Al no depender de combustibles fósiles, la energía eólica reduce significativamente las emisiones de CO₂, contribuyendo a la lucha contra el cambio climático.
3. **Bajos costos operativos:** Una vez instalada, la operación y el mantenimiento de los parques eólicos son relativamente económicos, lo que permite un ahorro a largo plazo.
4. **Diversificación de la matriz energética:** La energía eólica contribuye a diversificar las fuentes de energía, reduciendo la dependencia de fuentes no renovables y mejorando la seguridad energética de los países.

5. **Generación de empleo:** El desarrollo de proyectos eólicos promueve la creación de empleos tanto en la fase de construcción como en su operación y mantenimiento.
6. **Impacto ambiental reducido:** Comparada con otras formas de generación de energía, la eólica tiene un impacto ambiental menor, ya que no contamina el agua ni el aire y no genera residuos peligrosos[14].

1.3.5. **Potencial eléctrico**

La **RAE** define el potencial eólico como “Magnitud, medida en voltios, que expresa la diferencia de tensión entre dos puntos de un circuito”[15]. El potencial eólico, desde un punto de vista matemático, es proporcional a la densidad del aire, al área transversal que atraviesa el viento (normalmente el círculo formado por las aspas del generador) y al cubo de la velocidad del viento [16].

1.3.6. **Energía eólica**

La energía eólica es originada por el movimiento de las masas de aire debido a las diferencias de temperatura entre las distintas zonas geográficas que producen su circulación [17]. La energía cinética originada por el viento se convierte en energía mecánica o eléctrica a través de dispositivos con aspas inclinadas conectadas a un eje rotativo, todo este sistema es comúnmente conocido como aerogenerador. Existen dos tipos de instalaciones de aerogeneradores que pueden ser *onshore* u *offshore* dependiendo del terreno en donde se encuentre, el primero hace referencia a encontrarse en las orillas del mar y el segundo tierra adentro [18].

1.3.7. **Velocidad del viento**

La velocidad del viento se define como la distancia que recorre el aire en relación con el tiempo que tarda en hacerlo. En el ámbito de la meteorología, este término suele referirse al movimiento general del aire cerca de la superficie terrestre o a una altura específica. El viento, en física, puede ser considerado como un vector que cuenta con una magnitud y dirección, esta última será la de su procedencia [19]. La

velocidad del viento se determina utilizando el anemómetro y habitualmente su unidad de medida es el metro por segundo (m/s).

1.3.8. **Densidad del viento**

Es la cantidad de materia (masa) por unidad de volumen de aire. Podemos pensar en ella como el peso por volumen del aire. Entonces, se puede concluir que es un valor constante que describe la propiedad de un gas a determinadas características como la altura: a grandes alturas, menor cantidad de oxígeno en el aire, por lo que el volumen es menor. Para calcular la densidad del viento a una altura de 324 m.s.n.m. en la que se encuentra la estación meteorológica de Ocucaje [20], se utilizó la tabla del Servidor de Informes Técnicos de la *NASA, U.S. Standard Atmosphere* de 1976. Donde deducimos que la densidad del viento será de 1.187 kg/m³[21].

1.3.9. **Temperatura**

“Es la temperatura exterior del ambiente en grados Centígrados (°C). Esta se mide con un termómetro. Es muy importante para los cálculos de densidad del aire y por ende del potencial eólico”[22].

1.3.10. **Humedad relativa**

También llamada punto de rocío y es la temperatura por debajo de la cual el vapor de agua empieza a condensarse. También podemos expresarla como la relación entre la humedad absoluta, cantidad de vapor de agua contenida en un m³ de aire, y la cantidad de saturación [22].

1.3.11. **Dirección del viento**

La dirección mide la componente horizontal de la velocidad del viento. En la meteorología es importante considerar que la dirección nos indica desde dónde viene el viento, no hacia dónde va. Esta se mide mediante una veleta presente en las estaciones meteorológicas, y en su mayoría, la velocidad y la dirección del viento se miden a 10 metros de altura sobre el nivel del suelo, y a 2 metros de altura en algunas de ellas [23].

1.3.12. Escala de Beaufort

Es una clasificación empírica que mide la velocidad del viento en función de sus efectos observables en la tierra y el mar. Fue desarrollada en 1805 por el almirante británico Sir Francis Beaufort para estimar la velocidad del viento y categorizarla en diferentes niveles o grados[24]. A continuación, se presenta la escala:

Tabla 3. Escala de Beaufort

Grado	Descripción	Velocidad del viento (Km/h)	Velocidad del viento (m/s)	Denominación
0	Calma	< 1	0 - 0.2	El humo sube verticalmente.
1	Ventolina	1-5	0.3 - 1.5	El viento mueve el humo, pero no las veletas.
2	Brisa muy débil	6-11	1.6 - 3.3	Se siente el viento en la cara, mueve las hojas.
3	Brisa ligera	12-19	3.4 - 5.4	Las hojas y ramitas se mueven, ondean las banderas.
4	Brisa moderada	20-29	5.5 - 7.9	Mueve pequeñas ramas, eleva polvo y papeles sueltos.
5	Brisa fresca	29-38	8.0 - 10.7	Balaneo de árboles pequeños, olas moderadas.
6	Brisa fuerte	39-49	10.8 - 13.8	Se mueven las grandes ramas, es difícil usar paraguas.
7	Viento fuerte	50-61	13.9 - 17.1	Se sacuden los árboles enteros, dificultad para caminar contra el viento.
8	Viento duro	62-74	17.2 - 20.7	Se rompen ramas, es difícil andar a pie.
9	Temporal	75-88	20.8 - 24.4	Se dañan árboles pequeños, estructuras inestables afectadas.
10	Temporal fuerte	89-102	24.5 - 28.4	Árboles arrancados de raíz, daño estructural.
11	Temporal violento	103-117	28.5 - 32.6	Daño generalizado, olas muy altas en el mar.
12	Huracán	> 118	32.7+	Destrucción extrema, olas gigantescas.

Esta escala es muy útil para actividades marinas y navegación, así como para la planificación en la generación de energía eólica.

1.3.13. **Inteligencia Artificial**

Es el nombre que se le asigna a una serie de tecnologías que cuentan con características o capacidades exclusivas del intelecto humano. El término se aplica cuando una máquina imita las funciones cognitivas asociadas por los humanos con otras mentes humanas, como, por ejemplo: aprender o resolver problemas, etc [25].

Generalmente, la IA es considerada una disciplina de la informática cuyo objetivo es elaborar máquinas y sistemas que puedan desempeñar tareas que requieren de una inteligencia humana. La IA tiene dos esferas: el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo. En los últimos años, con el desarrollo de nuevas técnicas y equipos informáticos basados en redes neuronales, la Inteligencia Artificial se ha venido entendiendo como un sinónimo de aprendizaje automático profundo supervisado [26].

El pronóstico de energía eólica puede realizarse mediante métodos físicos y métodos estocásticos. Estos últimos, su predicción se basa en el análisis de series de datos y se realizan mediante series de tiempo, técnicas estadísticas, y técnicas de inteligencia artificial [27].

1.3.14. **Herramienta Modelo ARIMA**

El modelo ARIMA (*Auto Regressive Integrated Moving Average*) es un modelo estadístico utilizado para analizar y predecir series temporales. Combina tres componentes clave: autorregresión (AR), diferenciación para hacer estacionaria la serie (I), y media móvil (MA).

Es particularmente útil para predecir datos donde los patrones cambian con el tiempo, como fluctuaciones en mercados financieros, consumo de energía, y datos meteorológicos.

Se utiliza cuando una serie de tiempo presenta tendencias, estacionalidades o ciclos que no pueden ser modelados por otros métodos más simples[28].

1.3.15. Aplicaciones del modelo ARIMA

- *Pronóstico de demanda eléctrica:* Se utiliza para predecir la demanda futura de energía eléctrica, con base en datos históricos, ayudando en la planificación y operación de redes eléctricas[29], [30].
- *Análisis de datos económicos y financieros:* ARIMA es común en la predicción de precios de acciones, tasas de interés, o inflación, permitiendo a los economistas y financieros tomar decisiones basadas en tendencias proyectadas[29], [30].
- *Predicción de clima:* Se puede aplicar en la predicción de series temporales meteorológicas como la velocidad del viento o la precipitación, aportando a la evaluación del potencial eólico para la producción de energía [29], [30].

1.3.16. Energía Eléctrica

Se genera debido a la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos que se conectan mediante un conductor. Este contacto produce una corriente eléctrica mediante la transferencia de cargas negativas o protones hacia el destino de consumo [31].

1.3.17. Importancia de la energía

La energía es esencial para fomentar la producción de bienes y servicios en áreas como la agricultura, la industria y el transporte, y es crucial para garantizar servicios sociales básicos, incluyendo la salud, el acceso al agua potable y la educación. Su acceso mejora los ingresos y reduce la pobreza en comunidades y naciones. La falta de energía, por otro lado, agrava las desigualdades[32]. En el siglo XXI, garantizar energía asequible es esencial para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ofreciendo nuevas oportunidades para el desarrollo económico y social global.

1.4. Formulación del problema general

La formulación precisa del problema de investigación es el primer paso crucial que se ha planteado para el estudio científico, ya que define claramente la naturaleza y alcance del interrogante que se busca resolver. La ciudad de Ica

presenta indicios de velocidades del viento favorables que no han sido debidamente estudiadas para la generación de energía eólica. La falta de estudios detallados sobre el potencial eólico en esta región puede estar limitando la implementación de tecnologías limpias y sostenibles que podrían contribuir significativamente a la matriz energética y a la reducción de la dependencia de combustibles fósiles.

1.4.1. Problema general

¿En qué medida la estimación del potencial eólico obtenido a través de la aplicación de la inteligencia artificial contribuye significativamente en la producción de energía eléctrica en el distrito de Ocucaje, Ica?

1.4.2. Problema específico

PE1: ¿En qué medida la ley de potencia contribuye significativamente con la producción de energía eléctrica mediante los recursos eólicos en el distrito de Ocucaje, Ica?

PE2: ¿En qué medida la estimación del potencial eólico contribuye significativamente en la electricidad en el distrito de Ocucaje, Ica?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo principal

Predecir la estimación del potencial eólico obtenido mediante la aplicación de inteligencia artificial que contribuye significativamente en la producción de energía eléctrica en el distrito de Ocucaje, Ica.

1.5.2. Objetivos Específicos

OE1: Predecir la ley de potencia que contribuye significativamente con la producción de energía eléctrica mediante recursos eólicos en el distrito de Ocucaje, Ica.

OE2: Predecir la estimación del potencial eólico que contribuye significativamente en la electricidad en el distrito de Ocucaje, Ica.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis principal

La estimación del potencial eólico obtenida mediante la aplicación de inteligencia artificial contribuye significativamente en la producción de energía eléctrica en el distrito de Ocucaje, Ica.

1.6.2. Hipótesis Específica

HE1: La ley de potencia contribuye significativamente en la producción de energía eléctrica mediante recursos eólicos en el distrito de Ocucaje, Ica.

HE2: La estimación del potencial eólico contribuye significativamente en la electricidad en el distrito de Ocucaje, Ica.

1.7. Variables

1.7.1. Variable independiente

El **potencial eólico** se define como la capacidad de una región para generar energía eléctrica a partir del viento, considerando varios factores como la velocidad y dirección del viento, la frecuencia y distribución de los vientos, la densidad del aire, la topografía y rugosidad del terreno, y la altura de los aerogeneradores.

La cantidad de energía que se puede extraer está sujeta a la densidad del aire, que se ve afectada por factores como la altitud, la temperatura y la presión. Asimismo, la topografía y la rugosidad del terreno impactan el flujo y la velocidad del viento, mientras que la altura del aerogenerador juega un papel crucial en la eficiencia de la captación de energía. Evaluar el potencial eólico permite determinar la viabilidad de proyectos eólicos, optimizar su diseño y planificar la producción energética, facilitando la transición hacia fuentes de energía renovable y sostenible.

1.7.2. Variable dependiente

La **producción de energía eléctrica** se refiere al proceso mediante el cual se produce electricidad a partir de diversas fuentes de energía

primaria. Este proceso implica la conversión de energía en formas como la mecánica, química o solar en energía eléctrica, que es la forma de energía más utilizada en aplicaciones industriales, comerciales y domésticas. La producción de electricidad puede llevarse a cabo utilizando diversas tecnologías y fuentes energéticas, como centrales hidroeléctricas, termoeléctricas, nucleares, solares, eólicas y geotérmicas, entre otras. Este proceso es fundamental para garantizar el suministro constante y confiable de electricidad a las comunidades y satisfacer las necesidades de consumo en diversos sectores.

1.7.3. Operacionalización de Variables

Tabla 4. Operacionalización de variables

Variable Independiente	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Unidades	Instrumentos
VI: Potencial eólico	<i>Naranjo</i> , “el cual mide la cantidad de energía que puede ser generada por el viento y convertida en energía eléctrica a través de aerogeneradores. Su dimensión se relaciona con la potencia por unidad de área, que depende de la densidad del aire y la velocidad del viento” [33].	D_{I,1}: Ley de potencia	I_{I,1,1}: Densidad del aire I_{I,1,2}: Área I_{I,1,3}: Velocidad del viento	(kg/m ³) (m ²) (m)	Atlas Eólico Estación SENAMHI Modelo de ARIMA
Variable Dependiente	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Unidades	Instrumento
VD: Energía eléctrica	<i>Osinerghmin</i> , “se refiere al desplazamiento de electrones que ocurre en un conductor eléctrico a lo largo de un período específico”[34].	D_{D,1}: Potencia eléctrica, Intensidad corriente y Tensión (Principios eléctricos o electricidad)	I_{D,1,1}: Vatios (W) Amperios (A) y Voltios (V).	(W) (A) (V)	Vatímetro Amperímetro Voltímetro

1.8. Justificación e Importancia de Investigación

1.8.1. Justificación

La energía renovable se deriva de procesos naturales que son repuestos constantemente, pueden derivarse directamente del sol, el viento, la lluvia, las mareas del océano, la biomasa y los recursos geotérmicos del calor generado en las profundidades de la tierra [35].

“La energía eólica es un proceso sencillo en el que una turbina eólica transforma la energía cinética del viento en energía mecánica, la cual se emplea para producir electricidad” [36]. La energía eólica, al igual que otras fuentes renovables, ofrece numerosas ventajas. Contribuye a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero al utilizar turbinas que generan electricidad a partir del viento, lo que puede también reducir los costos energéticos. “Esta fuente de energía es gratuita, abundante y sostenible, y su aprovechamiento no conlleva depreciación” [37].

Ocucaje es un distrito de la región de Ica cuyo clima está caracterizado por ser cálido y desértico al encontrarse cerca del litoral costero. Una característica especial de esta región es el Jet Costero de Ica, el cual es una corriente de máxima velocidad del viento superficial que se desarrolla desde el océano hasta la costa dentro de los primeros 50 km [38]. Además, los vientos en Ocucaje presentan ciertas variaciones estacionales. La parte más ventosa dura 6.5 meses con vientos de una velocidad promedio de 15.6 km/h. Por otro lado, el tiempo más calmado dura 5.5 meses con vientos de una velocidad promedio de 13.8 km/h [39].

Mediante el potencial eólico se puede determinar la viabilidad de cierta región en servir como fuente de generación de energía, adecuada para aplicaciones mecánicas y eléctricas, ya sea conectada y no conectada a la red [40]. Se ha demostrado que el despliegue de la energía eólica brinda una serie de beneficios tales como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, ahorro de las reservas de combustibles fósiles y

desarrollo de la economía local al incrementar la empleabilidad de la zona [41].

El potencial eólico puede ser utilizado en diversas aplicaciones, que incluyen la creación de sistemas eólicos de baja potencia, la instalación de extensos parques eólicos, y la planificación de su mantenimiento y operación. Entonces, todas las aplicaciones de la energía eólica impulsan la transición energética que surge ante la necesidad de descarbonizar la matriz energética del Perú, perjudicial para el medio ambiente y de creciente preocupación mundial en los últimos años [42].

1.8.2. **Importancia**

La estimación del potencial eólico se basa en las condiciones favorables del viento en la región y teniendo en cuenta la curva de potencia de la turbina eólica, será posible calcular la producción de energía [43].

Posee una importancia trascendental en el contexto energético y ambiental. En primer lugar, su enfoque en la estimación del potencial eólico en una región específica como Ocucaje, Ica, resalta la necesidad de aprovechar los recursos naturales renovables disponibles para la generación de energía eléctrica. Este enfoque refleja un compromiso con la diversificación de la matriz energética y la reducción de la dependencia de fuentes no renovables, alineándose con objetivos de desarrollo sostenible y mitigación del cambio climático.

Además, la investigación promueve el desarrollo económico local al identificar oportunidades para la implementación de proyectos de energía eólica en la región. La creación de empleos en la instalación, operación y mantenimiento de parques eólicos, junto con el impulso a industrias relacionadas, puede dinamizar la economía de la zona, generando beneficios sociales y económicos para la comunidad. Este aspecto subraya la importancia de la investigación en la creación de oportunidades de desarrollo sostenible a nivel local.

Otro punto relevante es el potencial impacto ambiental positivo de la investigación. Al fomentar el uso de energía limpia y renovable, se

contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes asociados a la generación de energía a partir de combustibles fósiles. Esto tiene beneficios significativos para la calidad del aire, la salud pública y la mitigación del cambio climático, destacando el papel crucial de la investigación en la protección del medio ambiente y la promoción de prácticas energéticas sostenibles.

En última instancia, la investigación representa un avance en el campo de la energía renovable y la tecnología inteligente. La aplicación de herramientas computacionales inteligentes para la estimación del potencial eólico demuestra un enfoque innovador y prometedor para optimizar la producción de energía eléctrica a partir del viento. Esto resalta el papel esencial de la investigación en la búsqueda de soluciones tecnológicas eficientes y sostenibles para los desafíos energéticos del siglo XXI. Por lo tanto, la investigación sobre la estimación del potencial eólico en Ocucaje, Ica, no solo tiene implicaciones prácticas y económicas significativas, sino que también refleja un compromiso con la sostenibilidad, la innovación y el progreso hacia un futuro energético más limpio y resiliente[44].

1.9. Marco conceptual

1.9.1. Estimación

Es un conjunto de métodos y técnicas que nos van a permitir dar un valor aproximado de cierto parámetro a partir de la información de una población proporcionada por una muestra [45]. Es decir, a partir de lo observado en una muestra o resumen estadístico, se extrapolará o generalizará nuestro resultado muestral a toda la población, así nuestra estimación es un valor generalizado a toda la población [46].

1.9.2. Energía eólica

Es una fuente de energía renovable producto de la energía cinética del viento y un aerogenerador. El viento mueve las palas del aerogenerador que hace trabajar a turbina generando energía eléctrica que luego será transformada y transmitida a nuestros hogares [47].

1.9.3. **Energía eléctrica**

Es una forma de energía derivada de la presencia de cargas positivas y negativas en una materia. Esta energía puede transformarse en energía luminosa, mecánica o térmica. En el Perú, el 70% de la producción eléctrica proviene de centrales hidroeléctricas y térmicas [48].

1.9.4. **Inteligencia Artificial**

Se refiere a la habilidad de una máquina para aplicar algoritmos específicos, aprender de los datos disponibles y utilizar ese conocimiento para tomar decisiones, similar a un ser humano. “No obstante, a diferencia de las personas, estas máquinas pueden procesar grandes cantidades de información simultáneamente, no requieren descanso y presentan un menor margen de error” [49].

1.10. **Marco legal**

El marco legal peruano relacionado con la producción de energía eléctrica, específicamente en el contexto de la energía eólica. En Perú, la producción de energía eléctrica está regulada por diversas leyes y normativas que establecen los requisitos y procedimientos para el desarrollo y operación de proyectos energéticos. Aquí hay algunos aspectos importantes del marco legal peruano que pueden ser relevantes para tu investigación:

1.10.1. **Ley de concesiones eléctricas (Ley N°28832)**

Esta ley regula el otorgamiento de concesiones para la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica en el país. Establece los requisitos para obtener una concesión, así como los derechos y obligaciones de los concesionarios[50].

1.10.2. **Ley de promoción de la inversión en la generación eléctrica mediante recursos renovables (Ley N°27133)**

Esta ley tiene como objetivo fomentar la inversión en proyectos de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, incluida la energía eólica. Proporciona incentivos y beneficios tributarios para promover el desarrollo de este tipo de proyectos[51].

1.10.3. Reglamento de Generación Eléctrica (Decreto Supremo N°009-93-EM)

Este reglamento establece los procedimientos y requisitos para la autorización, construcción, operación y supervisión de centrales de generación eléctrica en el país. Define las responsabilidades de los actores involucrados en el proceso y los criterios técnicos que deben cumplir los proyectos[52].

1.10.4. Reglamento de seguridad y salud ocupacional en electricidad (Decreto Supremo N°009-2005-TR).

Este reglamento establece las medidas de seguridad y salud ocupacional que deben cumplir los trabajadores y empresas del sector eléctrico, incluidas aquellas involucradas en la generación de energía eólica[53].

II. ESTRATEGIA METODOLOGICA

2.1. Área de estudio

El área de estudio es el distrito de Ocucaje, provincia de Ica, Región Ica. Esta zona es conocida por sus aportes en la paleontología y arqueología, encontrándose gran cantidad de fósiles marinos de miles de años atrás [54]. Así mismo, se caracteriza por sus vientos cuya velocidad promedio por hora tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año, con velocidades de hasta 14.8 km/h en los meses más ventosos [55]. Esta zona cuenta con una estación meteorológica de coordenadas 14°22'42,2" S y 75° 40' 55,4" W, a una altura de 324 m.s.n.m. y de código 47255188 [20].

Además, el área de estudio se centra específicamente en el distrito de Ocucaje, ubicado en la provincia de Ica, Perú. Este distrito, situado en la región costera del país, se caracteriza por su topografía diversa y su exposición a los vientos provenientes del océano Pacífico. La investigación se concentra en esta área geográfica con el propósito de evaluar el potencial eólico disponible para la generación de energía eléctrica a partir del viento.

Ocucaje, al igual que muchas regiones costeras, posee condiciones climáticas favorables para el aprovechamiento de la energía eólica. La presencia constante de vientos provenientes del mar, combinada con la topografía local y otros factores meteorológicos, hacen de esta zona un lugar propicio para la instalación de parques eólicos y la producción de energía limpia y renovable.

La selección de Ocucaje como área de estudio para esta investigación no solo tiene en cuenta su potencial energético, sino también su importancia socioeconómica y ambiental. La implementación de proyectos de energía eólica en esta región podría generar beneficios significativos, tanto en términos de desarrollo económico local como en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la mitigación del cambio climático.

Por lo tanto, el área de estudio de esta investigación abarca el distrito de Ocucaje, Ica, como un microcosmos representativo de las oportunidades y desafíos

asociados con la estimación y aprovechamiento del potencial eólico para la producción de energía eléctrica en la región costera del Perú.

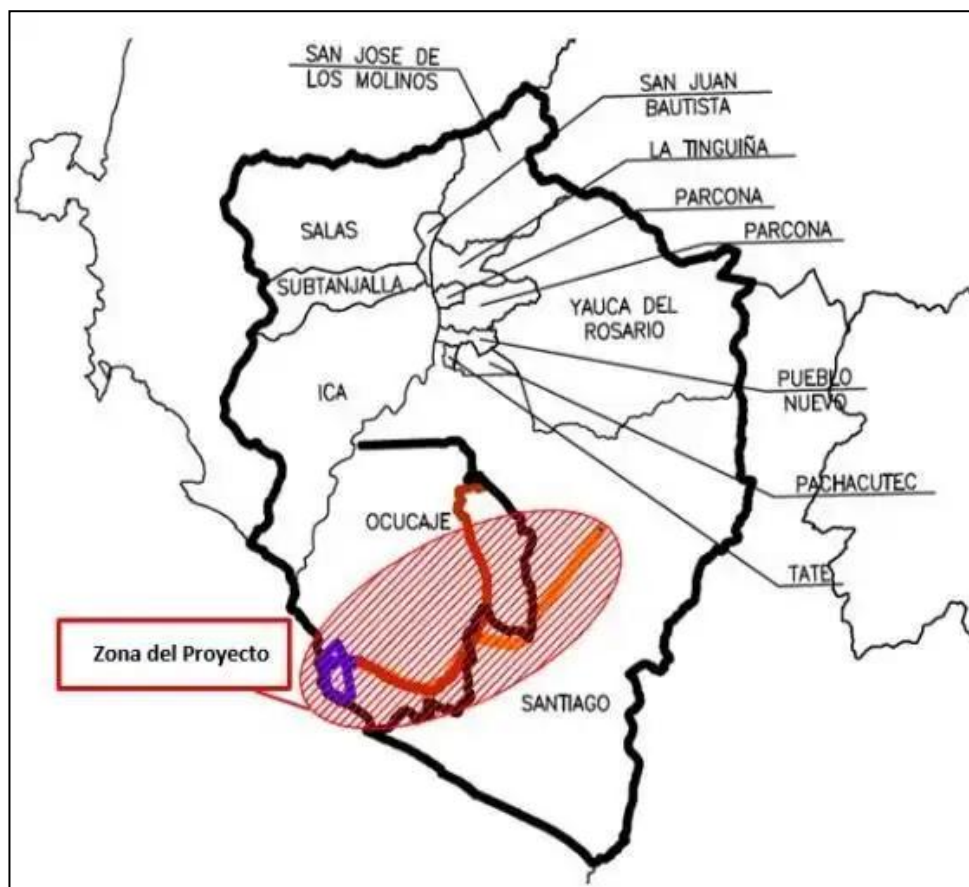


Figura 1. Ubicación de la estación meteorológica en el distrito de Ocuaje (zona del proyecto) [56]

2.2. Estrategia metodológica

2.2.1. Tipo, nivel y diseño de investigación

Tipo de investigación

La presente investigación se enmarca dentro de un enfoque cuantitativo de tipo observacional, retrospectivo y transversal. Este enfoque metodológico se seleccionó con el propósito de realizar una evaluación exhaustiva del potencial eólico en el distrito de Ocuaje, ubicado en la provincia de Ica, Perú. El carácter observacional de la investigación permite la recolección de datos empíricos y la observación directa de los fenómenos relacionados con la producción de energía eólica en la región [57].

Además, al ser retrospectiva, se emplea una revisión de datos históricos y registros previos para analizar tendencias y patrones en el comportamiento del viento en la zona. Por otro lado, la naturaleza transversal de la investigación implica la recopilación de datos en un solo punto en el tiempo, lo que facilita una evaluación instantánea del potencial eólico en el área de estudio. Esta metodología permite una aproximación rigurosa y sistemática al estudio del potencial eólico, brindando información valiosa para la planificación y desarrollo de proyectos de energía renovable en la región de Ocucaje, Ica.

Nivel de investigación

El nivel de investigación de la presente indagación se caracteriza por ser descriptivo. Este enfoque metodológico se seleccionó con el propósito de proporcionar una comprensión detallada y sistemática del potencial eólico en el distrito de Ocucaje, ubicado en la provincia de Ica, Perú. La naturaleza descriptiva de la investigación implica la recopilación, análisis y presentación de datos relacionados con el comportamiento del viento en la región, así como con los factores que influyen en la generación de energía eléctrica mediante recursos eólicos. Este enfoque permite una contextualización minuciosa de las condiciones ambientales y geográficas que impactan en la viabilidad y eficiencia de la producción de energía eólica en el área de estudio. Además, posibilita la identificación de patrones, tendencias y características específicas del potencial eólico en Ocucaje, lo que contribuye a la formulación de recomendaciones y estrategias pertinentes para la implementación de proyectos de energía renovable en la región.

Diseño de la investigación

El diseño de investigación se clasifica como no experimental. Este enfoque metodológico se seleccionó con la finalidad de predecir y comprender el potencial eólico en la región de estudio sin intervenir o manipular activamente las variables. En lugar de realizar experimentos controlados en un entorno de laboratorio, el diseño no experimental se centra en la observación, recopilación y análisis de datos provenientes de fuentes existentes, tales como registros meteorológicos, mediciones de velocidad del viento y características topográficas. Mediante este

enfoque, se busca explorar y describir detalladamente las condiciones y factores que influyen en la generación de energía eléctrica a partir de recursos eólicos en el distrito de Ocucaje.

2.2.2. Población y muestra

Población

Los datos obtenidos de la estación meteorológica durante el periodo de junio de 2019 a mayo de 2024 son esenciales para el desarrollo de la investigación. Estos datos representan una fuente primaria de información sobre las condiciones climáticas locales, incluyendo la velocidad y dirección del viento, la temperatura, la presión atmosférica y la humedad relativa. Dichos parámetros son críticos para evaluar el potencial eólico en la región de Ocucaje, lo que proporciona una base empírica para el desarrollo de modelos y análisis predictivos.

La población a la que se refieren estos datos incluye tanto la comunidad científica y académica interesada en la investigación y desarrollo de energías renovables, los participantes implicados en la planificación y realización de proyectos de infraestructura energética en el distrito de Ocucaje. Además, estos datos son de relevancia para entidades gubernamentales, empresas del sector energético y la sociedad en general, ya que ofrecen información crucial para la formulación de decisiones fundamentadas sobre la promoción y adopción de fuentes de energía limpias y sostenibles en la región.

La utilización de datos de una extensa duración, como los recopilados durante cinco años consecutivos, permite un análisis robusto y detallado del comportamiento del viento en la zona de estudio a lo largo del tiempo. Esto es esencial para comprender las variaciones estacionales y anuales en el potencial eólico, así como para identificar tendencias a largo plazo que pueden afectar la viabilidad y rentabilidad de los proyectos de energía eólica en el distrito de Ocucaje.

Muestra

La muestra de datos seleccionada para la investigación comprende las mediciones registradas cada hora durante un período de 5 años por la Estación Meteorológica "Ocucaje" del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Este enfoque garantiza la obtención de una muestra representativa y exhaustiva de las condiciones meteorológicas locales, incluida la velocidad y dirección del viento, la temperatura, la presión atmosférica y la humedad relativa.

La recopilación de datos de manera horaria ofrece una extensa cantidad de información detallada y precisa sobre el comportamiento del viento en el distrito de Ocucaje a lo largo del tiempo. Esta granularidad temporal es esencial para capturar las variaciones diurnas y estacionales en el potencial eólico, así como para evaluar la consistencia y fiabilidad de los patrones de viento en la región. Además, el período de 5 años de recopilación de datos garantiza una perspectiva a largo plazo, lo que permite la identificación de tendencias a lo largo de las estaciones y años, así como la evaluación de la variabilidad interanual en el potencial eólico.

La muestra de datos obtenida de la Estación Meteorológica "Ocucaje" del SENAMHI representa una valiosa fuente de información para la investigación, ya que proporciona una base empírica sólida y confiable para el análisis y la estimación del potencial eólico en el distrito de Ocucaje. Esta muestra es de interés para la comunidad científica, los planificadores de políticas energéticas, los desarrolladores de proyectos de energía renovable y otros actores interesados en la promoción y adopción de fuentes de energía limpia y sostenible en la región de Ica, Perú.

2.3. Procedimiento de la metodología general

2.3.1. Técnicas de recolección de datos

La presente investigación es de tipo aplicada, observacional-prospectivo, transversal [58].

Identificación del área de investigación

Se caracterizan por su rigurosidad y precisión, buscando asegurar la fiabilidad de la información recopilada. En este contexto, se emplean técnicas de recolección de datos tanto primarios como secundarios.

En primer lugar, se utiliza la recolección de datos primarios a través de una estación meteorológica, cuya operación en el área de estudio es fundamental para la recopilación de datos. Estas estaciones están equipadas con sensores de última generación que registran variables climáticas clave, como la velocidad y dirección del viento, la temperatura, la humedad relativa y la presión atmosférica, con una frecuencia temporal adecuada para capturar la variabilidad del viento en la región. Así es tal que, se considera la colaboración con entidades gubernamentales, como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), para acceder a datos meteorológicos de alta calidad y confiabilidad.

Por otro lado, se recopilan datos secundarios a partir de fuentes documentales y bases de datos especializadas, incluyendo informes técnicos, estudios de impacto ambiental, registros históricos de viento y datos proporcionados por empresas del sector energético, como ENGIE Energía Perú. Estos datos secundarios complementan y validan los datos primarios obtenidos, permitiendo una evaluación integral y precisa del potencial eólico en el distrito de Ocucaje.

2.3.2. Instrumentos de recolección de datos

Se utilizaron datos primarios y secundarios para realizar el presente estudio. Mediante una estación meteorológica se recogieron los datos de fecha, hora, temperatura, precipitación, humedad, velocidad del viento y dirección del viento.

Se recopiló información del expediente del Proyecto Eólico Punta Lomitas de ENGIE Energía Perú, que comenzó su construcción en septiembre de 2021 y se convertirá en el parque eólico más grande del Perú, con una capacidad instalada de 260 MW, 50 aerogeneradores y 60

km de líneas de transmisión para integrar su producción de energía renovable al sistema eléctrico nacional.

2.3.3. Técnicas de procesamiento de datos

La investigación será de tipo intencionado ya que se deberá considerar los sistemas eólicos y se estimarán los datos que será exportados a una herramienta computadora mediante la inteligencia artificial con la finalidad de elaborar las predicciones de la generación de energía eléctrica.

El cálculo del potencial eólico se realizará mediante la siguiente fórmula:

$$P=1/2 \rho A v^3$$

Donde:

P = Es la potencia del viento (en vatios, W).

ρ = Es la densidad del aire (en kilogramos por metro cúbico, kg/m³), que a nivel del mar y a una temperatura de 15°C es aproximadamente 1.225 kg/m³.

A = Es el área transversal (en metros cuadrados, m²) por la cual pasa el viento, generalmente el área barrida por las aspas del aerogenerador.

v = Es la velocidad del viento (en metros por segundo, m/s).

2.3.4. Análisis e interpretación de datos

El diseño estratégico de la investigación integra elementos clave como la investigación aplicada, la innovación tecnológica, el enfoque cuantitativo y el uso de la inteligencia artificial para abordar de manera integral el objetivo de estimar el potencial eólico en el distrito de Ocucaje, Ica. Esta combinación de enfoques y metodologías garantiza la generación de conocimientos relevantes y la aplicación efectiva de los resultados en el campo de la energía renovable[59].

III. RESULTADOS

3.1. Predecir la estimación del potencial eólico obtenida mediante la aplicación de una herramienta de inteligencia computacional y la producción de energía eléctrica en el distrito de Ocucaje, Ica.

El fundamento de este objetivo radica en la necesidad de optimizar la explotación de los recursos eólicos disponibles en el distrito de Ocucaje, Ica, para la generación de energía eléctrica sostenible. En un contexto global donde la transición hacia energías renovables es fundamental para disminuir la dependencia de combustibles fósiles y combatir el cambio climático, la correcta estimación del potencial eólico es fundamental para asegurar la viabilidad técnica y económica de proyectos eólicos. El uso de herramientas de inteligencia artificial permite procesar grandes cantidades de datos meteorológicos y modelar con mayor precisión las características del viento, como su velocidad, dirección y variabilidad. Esto, a su vez, facilita una mejor toma de decisiones respecto a la ubicación, diseño y operación de aerogeneradores en el distrito. La consecución de este objetivo no solo contribuiría a incrementar la producción de energía limpia en la región, sino también a promover el desarrollo tecnológico y económico sostenible, alineándose con las políticas energéticas nacionales y globales.

3.1.1. Estimación del Potencial Eólico

El primer paso es obtener los registros históricos de la velocidad del viento en la estación eólica de Ocucaje, a partir de las plataformas de acceso a datos meteorológicos o la propia estación local. Se recopiló información histórica proveniente de la estación meteorológica situada en dicho distrito, gestionada por el SENAMHI de Ica. En la región Ica, el SENAMHI administra varias estaciones meteorológicas, las cuales se pueden observar en el mapa de la Figura 1.

Con estos datos, se aplican técnicas de modelación mediante inteligencia computacional, como ARIMA, para anticipar el patrón del viento en el futuro. El modelo ARIMA se basa en el análisis de patrones históricos y la relación entre las observaciones pasadas para proyectar los valores futuros.

Esto es especialmente útil en el análisis del viento, ya que la velocidad y dirección del viento presentan comportamientos cíclicos y estacionales que pueden ser capturados por este tipo de modelos.



Figura 2. Ubicación de estaciones meteorológicas de Ica del SENAMHI

El procedimiento seguirá la metodología CRISP-DM (*Cross-Industry Process for Data Mining*), que se utiliza para el análisis, evaluación y pronóstico de datos mediante técnicas de minería de datos.

1. Obtención de los datos
2. Comprensión de los datos
3. Preparación de los datos
4. Modelo de predicción de los datos
5. Evaluación de los resultados.

1. Obtención de los datos

Los datos para la estimación para evaluar el potencial eólico en el distrito de Ocucaje, fueron obtenidos del SENAMHI, institución que tiene a cargo la administración de las estaciones meteorológicas en la región Ica, se solicitó al SENAMHI la información correspondiente al distrito materia de estudio. Los datos proporcionados por la institución fueron entregados en 60 archivos en formato Excel versión 97-2003, no compatible en la actualidad (ver Figura 3).

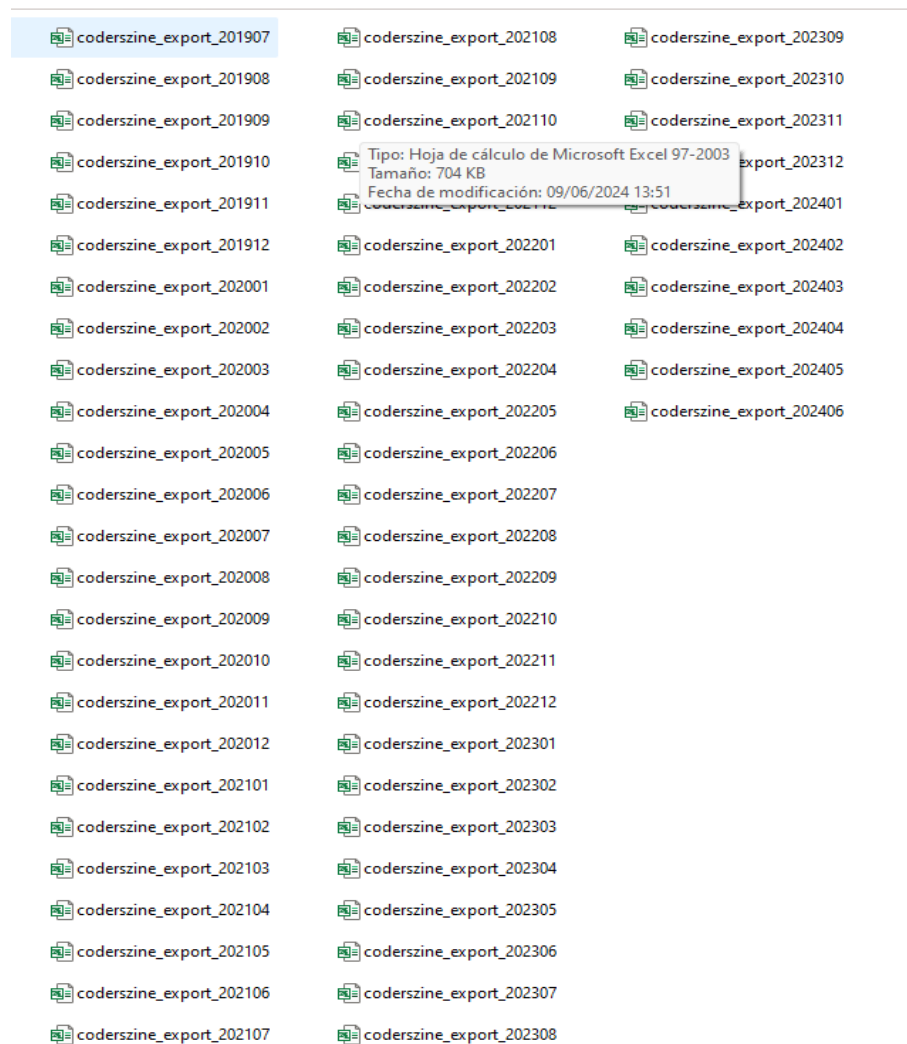


Figura 3. Archivos de datos de la estación Ocucaje

Los archivos de datos proporcionados por el SENAMHI tienen la siguiente estructura mostrada en la Figura 4. La estructura de los archivos que contienen los datos, en la parte superior se tiene los datos básicos sobre la localización de la estación meteorológica EAMA – Meteorológica, donde se detalla la Latitud y Longitud de la estación.

Dada la incompatibilidad de los datos, se tuvieron que actualizar a una versión actualizada, ya que no es posible su carga en el software de minería de datos Orange Data Mining. Los archivos uno a uno debió ser convertido a un formato de Excel actualizado para su tratamiento, estos archivos se muestran en la Figura 4.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Fuente: SENAMHI / DRD						
2	* Datos sin control de calidad.						
3	* El uso de estos datos será de entera responsabilidad del usuario.						
4	Leyenda:						
5	* S/D = Sin Datos.						
6							
7							
8	Estación : OCUCAJE						
9	Departamento : ICA		Provincia : ICA		Distrito : OCUCAJE		
10	Latitud : 14°22'42.2"		Longitud : 75°40'55.4"		Altitud : 324 msnm.		
11	Tipo : EAMA - Meteorológica		Código : 47256188				
12	AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
13	01/07/2019	00:00	14.6	0	93	179	1.5
14	01/07/2019	01:00	14.5	0	94	165	1.2
15	01/07/2019	02:00	14.5	0	95	167	1.1
16	01/07/2019	03:00	14.4	0	95	194	0
17	01/07/2019	04:00	14.6	0	93	147	1
18	01/07/2019	05:00	14.5	0	93	165	0.5
19	01/07/2019	06:00	14.1	0	95	194	1.2
20	01/07/2019	07:00	14.1	0	95	210	0

Figura 4. Estructura de los archivos de datos

Como se puede observar en la Figura 5, se cuenta con 60 archivos de datos comprendidos entre julio del 2019 hasta junio del 2024.

 coderszine_export_201907.xls	 coderszine_export_202108.xls	 coderszine_export_202309.xls
 coderszine_export_201908.xls	 coderszine_export_202109.xls	 coderszine_export_202310.xls
 coderszine_export_201909.xls	 coderszine_export_202110.xls	 coderszine_export_202311.xls
 coderszine_export_201910.xls	 coderszine_export_202111.xls	 coderszine_export_202312.xls
 coderszine_export_201911.xls	 coderszine_export_202112.xls	 coderszine_export_202401.xls
 coderszine_export_201912.xls	 coderszine_export_202201.xls	 coderszine_export_202402.xls
 coderszine_export_202001.xls	 coderszine_export_202202.xls	 coderszine_export_202403.xls
 coderszine_export_202002.xls	 coderszine_export_202203.xls	 coderszine_export_202404.xls
 coderszine_export_202003.xls	 coderszine_export_202204.xls	 coderszine_export_202405.xls
 coderszine_export_202004.xls	 coderszine_export_202205.xls	 coderszine_export_202406.xls
 coderszine_export_202005.xls	 coderszine_export_202206.xls	
 coderszine_export_202006.xls	 coderszine_export_202207.xls	
 coderszine_export_202007.xls	 coderszine_export_202208.xls	
 coderszine_export_202008.xls	 coderszine_export_202209.xls	
 coderszine_export_202009.xls	 coderszine_export_202210.xls	
 coderszine_export_202010.xls	 coderszine_export_202211.xls	
 coderszine_export_202011.xls	 coderszine_export_202212.xls	
 coderszine_export_202012.xls	 coderszine_export_202301.xls	
 coderszine_export_202101.xls	 coderszine_export_202302.xls	
 coderszine_export_202102.xls	 coderszine_export_202303.xls	
 coderszine_export_202103.xls	 coderszine_export_202304.xls	
 coderszine_export_202104.xls	 coderszine_export_202305.xls	
 coderszine_export_202105.xls	 coderszine_export_202306.xls	
 coderszine_export_202106.xls	 coderszine_export_202307.xls	
 coderszine_export_202107.xls	 coderszine_export_202308.xls	

Figura 5. Archivos convertidos al formato “.xlsx”

Estos archivos tuvieron que ser concatenados para tener una única base de datos, la cual se realizó en dos archivos en el software Orange Data Mining, como se presenta en las Figura 6 y Figura 7

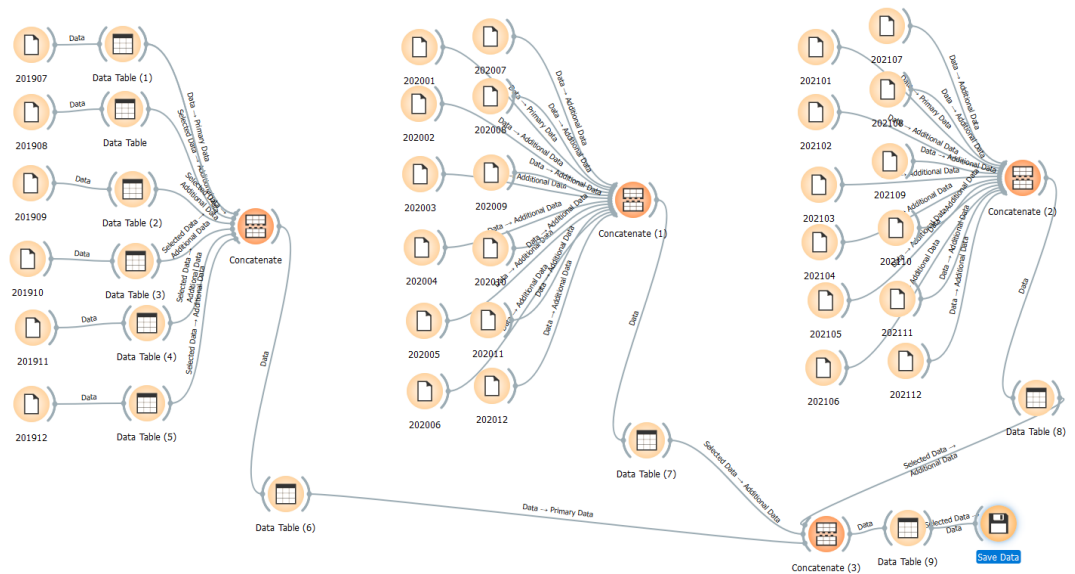


Figura 6. Archivos concatenados del 2019-2021

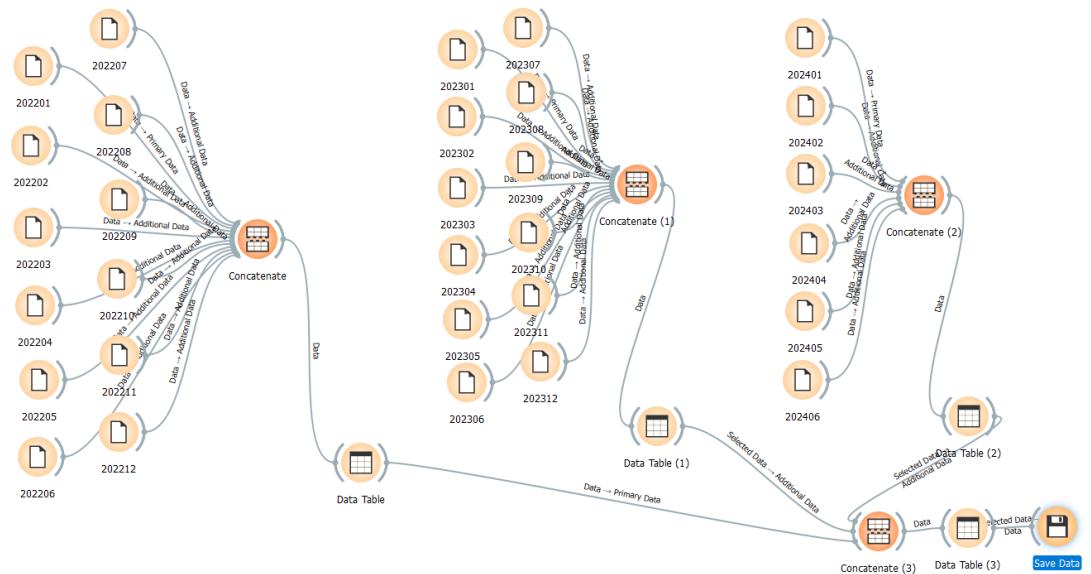


Figura 7. Archivos concatenados 2022-2024

En la Figura 6 y Figura 7 se obtuvo un archivo concatenado para cada periodo de tiempo, estos nuevos archivos generados de estos periodos se tuvieron que guardar en el formato de archivo de texto plano o archivos CSV.

Finalmente, estos dos archivos se concatenaron para generar la base de datos total en un archivo generado para ello que se presenta en la Figura 8.

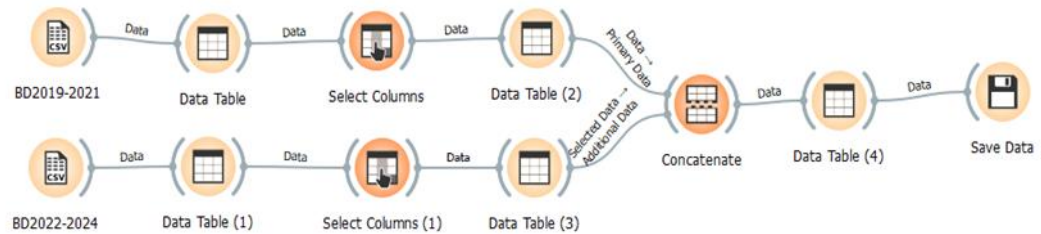


Figura 8. Concatenado de archivos CSV

Como se puede apreciar en el modelo de minería de datos, se concatenaron (unir) los datos de los archivos CSV y formar una única base de datos de la estación meteorológica.

2. Comprensión de los datos

En esta segunda fase de la metodología, se debía tener una comprensión real de los datos para evaluar las acciones que deben realizarse. Los datos tienen las siguientes características, que se muestran en la Figura 9.

Data Table (4) - Orange									
Info 43288 instances 7 features (18.1 % missing data) Target with 2 values (49.3 % missing data) No meta attributes. Variables ☒ Show variable labels (if present) ☐ Visualize numeric values ☒ Color by instance classes Selection ☒ Select full rows Restore Original Order ☒ Send Automatically									
	Selected	AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hr)	HUMEDAD (%)	VELOCIDAD DEL VIENTO	DIRECCIÓN DEL VIENTO	ÍNDICE DEL VIENTO
1	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 00:00...	14.6	0	93	179		1.5
2	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 01:00...	14.5	0	94	165		1.2
3	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 02:00...	14.5	0	95	167		1.1
4	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 03:00...	14.4	0	95	194		0
5	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 04:00...	14.6	0	93	147		1
6	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 05:00...	14.5	0	93	165		0.5
7	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 06:00...	14.1	0	95	194		1.2
8	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 07:00...	14.1	0	95	210		0
9	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 08:00...	14.8	0	92	106		0
10	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 09:00...	15	0	89	211		1.9
11	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 10:00...	15.7	0	83	238		0.5
12	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 11:00...	16.7	0	79	144		1.1
13	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 12:00...	17.7	0	76	175		2.1
14	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 13:00...	19.6	0	68	141		1.6
15	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 14:00...	20.6	0	63	215		1.1
16	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 15:00...	22.1	0	58	222		0.5
17	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 16:00...	20.7	0	63	179		4.4
18	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 17:00...	18.2	0	71	179		5.3
19	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 18:00...	15.8	0	82	165		3
20	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 19:00...	14.7	0	87	160		1.8
21	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 20:00...	12.9	0	92	14		0.1
22	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 21:00...	14.4	0	91	137		1.3
23	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 22:00...	14.3	0	93	152		1.1
24	No	2019-07-01 00:00...	2024-07-01 23:00...	13.9	0	95	179		1.5
25	No	2019-07-02 00:00...	2024-07-01 00:00...	13.7	0	96	200		2.1
26	No	2019-07-02 00:00...	2024-07-01 01:00...	13.8	0	95	159		0.8
27	No	2019-07-02 00:00...	2024-07-01 02:00...	13.7	0	93	163		1.1
28	No	2019-07-02 00:00...	2024-07-01 03:00...	13.5	0	93	125		0.9

Figura 9. Características de los datos

Los datos presentados en la Figura 9, nos muestra las características de esta base de datos. Se puede apreciar que se cuenta con 43288 registros o instancias de datos, 7 características:

- ✓ AÑO/MES/DIA
- ✓ HORA
- ✓ TEMPERATURA (°C)
- ✓ PRECIPITACION mm/hora
- ✓ HUMEDAD (%)
- ✓ DIRECCIÓN DEL VIENTO (no se especifica)
- ✓ VELOCIDAD DEL VIENTO m/s.

En las características se puede igualmente apreciar que existen 18.1% de datos perdidos o nulos (*missing data*).

Análisis exploratorio de los datos

Figura 10. Especificación de las características

En la Figura 10, de la carga de los datos, se especifica los tipos de datos que corresponden a estas características, como se muestra en la Figura 10, dos características del tipo fecha/hora y 5 características del tipo numérico para las variables meteorológicas.

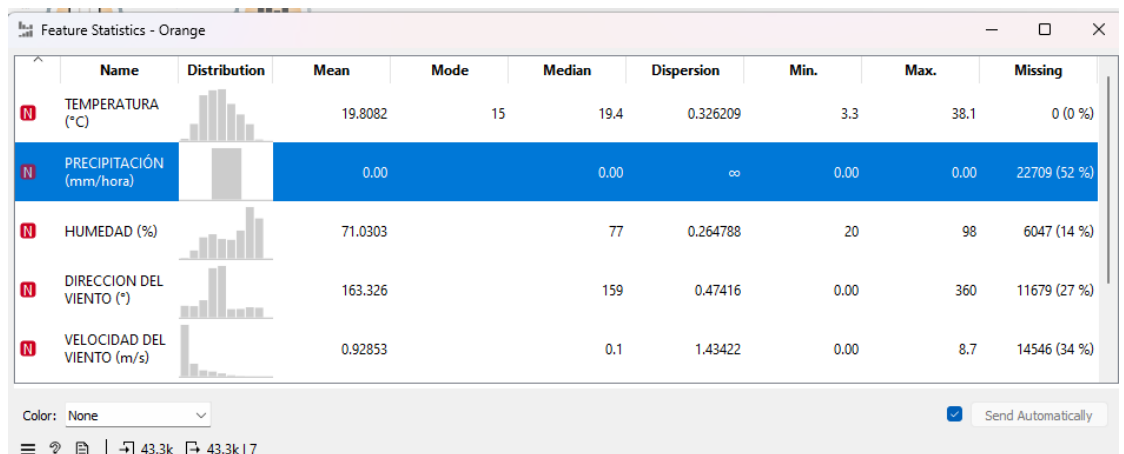


Figura 11. Análisis estadístico de los datos

En el análisis de la estadística descriptiva de estas características además de los valores descriptivos, se tienen una columna especial en donde se muestra la cantidad de datos perdidos de las variables que son interés, en cada una de ellas con excepción de los datos de temperatura todas las demás características presentan datos perdidos o nulos en diversos porcentajes.

En la Figura 11, también se puede visualizar como la característica de la precipitación, no presenta datos ya que su valor máximo es cero y su valor mínimo también cero. Esta característica será descartada del proyecto.

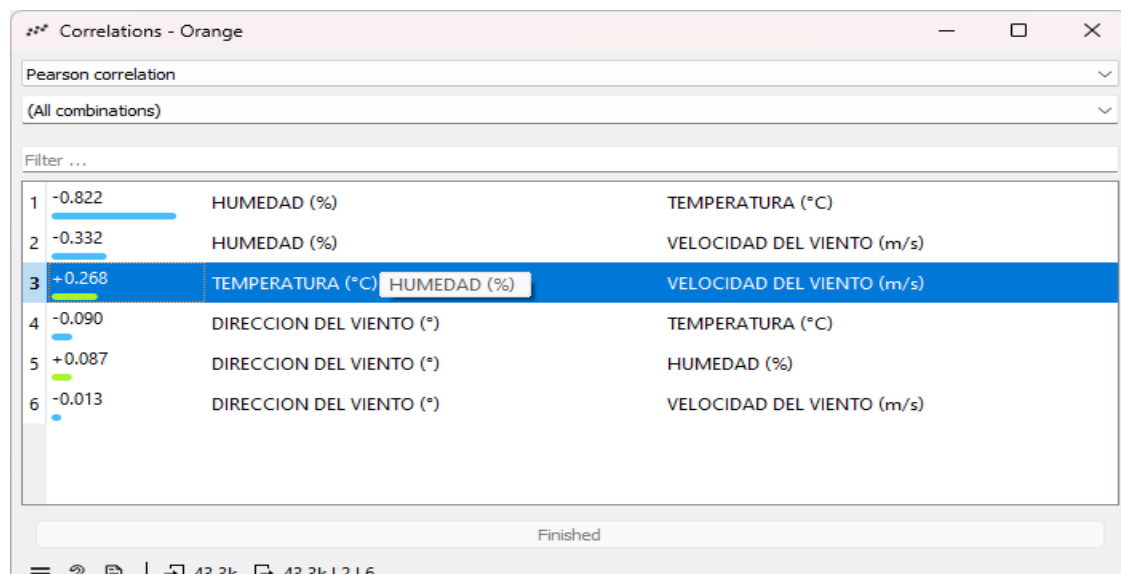


Figura 12. Correlación de las características o variables

En la Figura 12, como se puede apreciar del procesamiento según el análisis de correlación de Pearson, se observa una relación inversa entre la humedad y temperatura. También presentan una correlación inversa entre la humedad y la velocidad del viento. Al mismo tiempo se tiene una correlación directa entre la temperatura y la velocidad del viento.

Con esta información realizamos una gráfica de líneas para ver el comportamiento de estas variables a lo largo del tiempo.

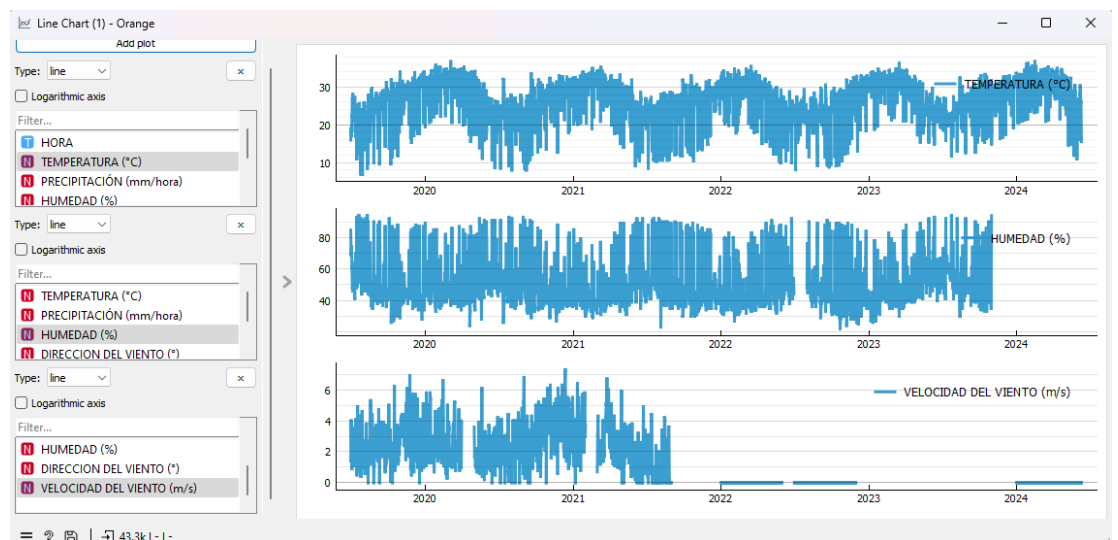


Figura 13. Comportamiento de las variables evaluadas

En la Figura 13. Aplicando el principio de series de tiempo se construyó la gráfica de líneas para estas tres variables que de una u otra forma tienen una correlación.

Tal como se arrojó los resultados de la estadística descriptiva, la temperatura no presenta valores perdidos o nulos. La gráfica confirma la validez de los datos. En cuanto a la humedad, muestra datos perdidos o nulos a mediados del 2022 y fines del 2023. En cuanto a los datos correspondientes a la velocidad del viento, se muestra información desde julio del 2019 hasta agosto del 2021 con importantes datos faltantes entre el 2020 y 2021 y al inicio del 2021.

Para efectos de la presente investigación nos interesa la velocidad del viento, que es la fuente principal para la generación de energía eólica,

pero además porque esta variable meteorológica no tiene una correlación importante con las demás variables según se presentó en la Figura 12.

La velocidad del viento según el análisis estadístico descriptivo presenta los siguientes resultados:

Mínimo : 0
 Máximo : 8.7 m/s
 Media : 0.93 m/s

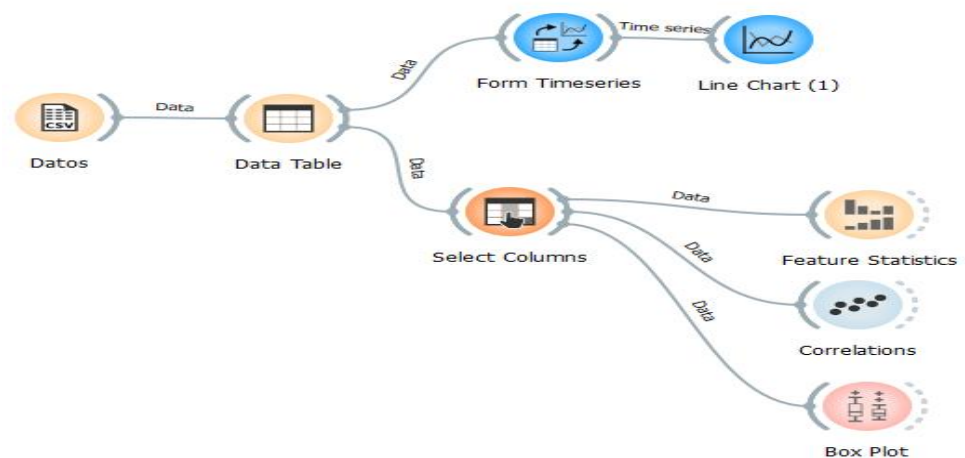


Figura 14. Modelo Orange para la comprensión de los datos

La Figura 14, muestra la representación del modelo gráfico de los widgets que representan el análisis exploratorio de los datos (*EDA-Exploratory Data Analys*). En la Fig. 14 se inicia con la carga de los datos y la visualización de los mismos con el widget *Data Table*, el EDA se realiza en el ramal inferior en donde se deben seleccionar solo las características que se van a explorar para ello se utilizan los widget *Feature statistics* para la estadística descriptiva de los datos, el widget *Correlations* para ver la relaciones entre las características mediante la correlación de Pearson, y en la parte inferior se muestra el widget *Box Plot* que realiza un ploteo para ver las estadísticas descriptivas principales.

En el ramal superior para generar la gráfica de línea, primero los datos deben pasar por el widget *From Timeseries*, para que se consideren

como series de tiempo para este caso y posterior generar el comportamiento de los datos en el gráfico de línea.

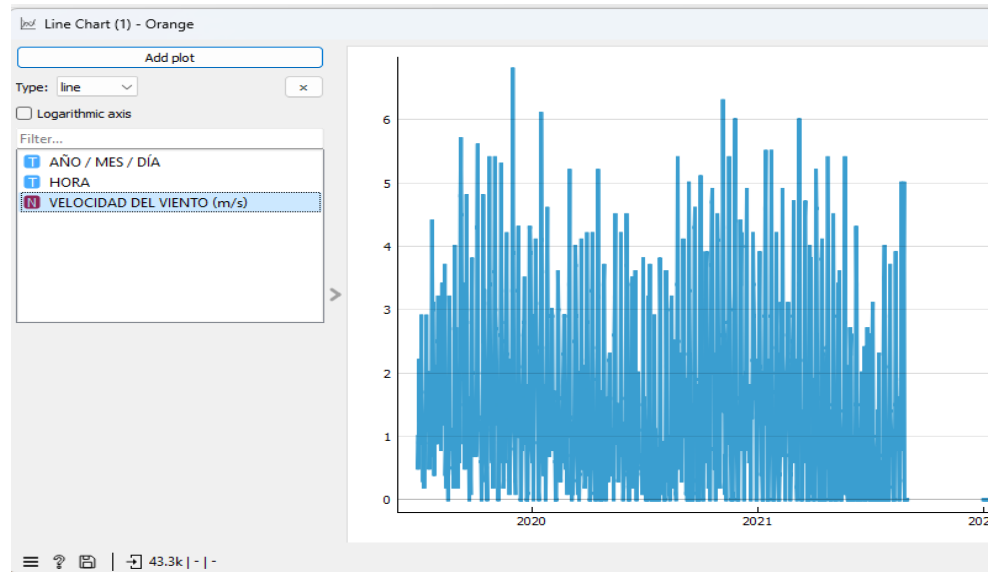


Figura 15. Comportamiento de la velocidad del viento de Julio 2019 a agosto del 2021

3. Preparación de los datos

La velocidad mínima requerida para que un aerogenerador inicie su operación se denomina velocidad de arranque. En este punto, las aspas de la turbina comienzan a rotar y a generar energía. “Generalmente, esta velocidad de arranque varía entre 3 y 4 metros por segundo (equivalente a 6.7 a 8.9 millas por hora). No obstante, este valor puede diferir dependiendo del diseño y las dimensiones de la turbina”[60].

En el modelo de la Fig. 15, vamos a tomar las velocidades que son necesarias para poder mover las turbinas según los valores referenciales.

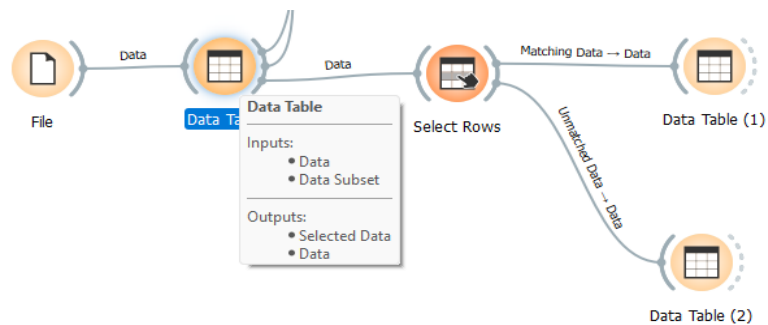


Figura 16. Modelo de selección de las velocidades de viento

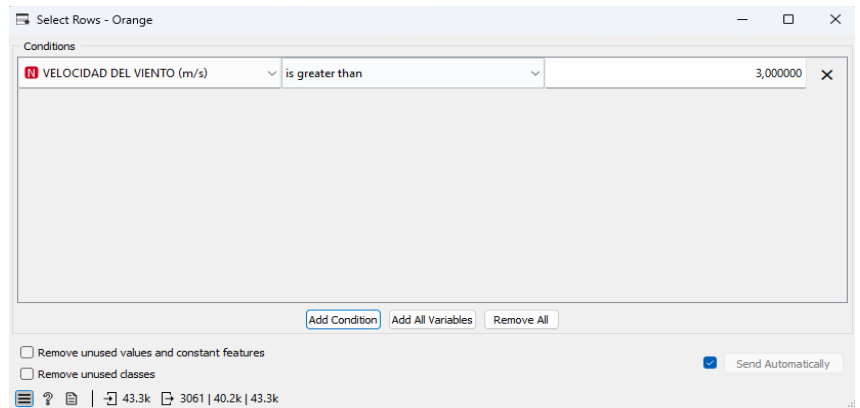


Figura 17. Selección de velocidades y Configuración de las velocidades mayores a 3 m/s

En la Figura 17, con el widget que permite seleccionar los registros que cumplan con el criterio de ser valores que apoyen a la generación de energía eólica, se selecciona estos valores que deben ser mayores a 3 m/s.

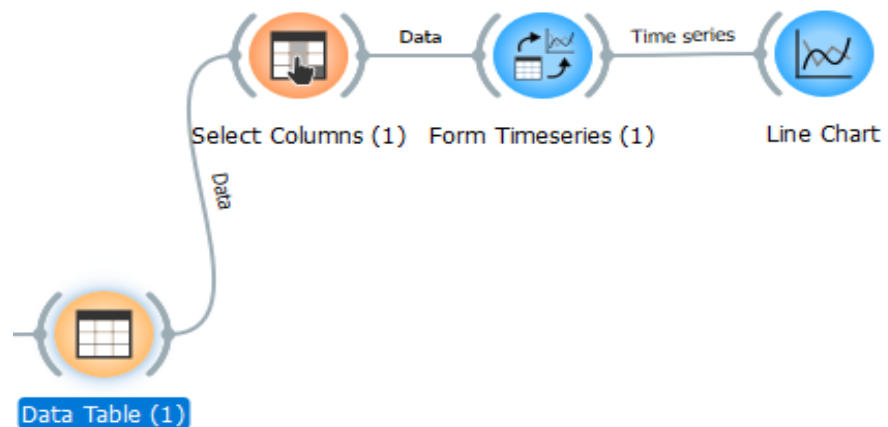


Figura 18. Modelo de comportamiento de los datos de la velocidad mayor a 3 m/s

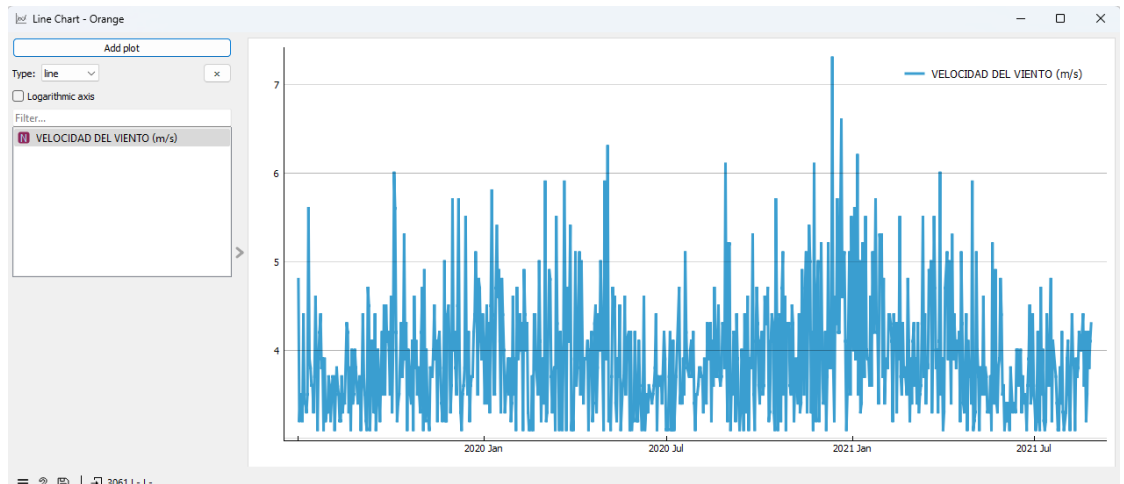


Figura 19. Comportamiento de los datos del viento con valores mayores a 3 m/s

En la Figura 19, se puede comprobar en el análisis gráfico como es que las velocidades del viento mayores a los 3 m/s cuyo equivalente en Km/h es de 10.799991 tienen un comportamiento a lo largo del periodo estudiado, en tal sentido siempre se tendrá velocidades para poder aprovechar la energía eólica generada por el viento en el distrito de Ocucaje.

4. Modelo de predicción de los datos

Para asegurar la sostenibilidad del estudio, se realiza un modelo de predicción de estos datos que se tienen hasta el agosto del 2021 y tener valores para los primeros días del mes de abril 2021.

En la Figura 19, como se ha podido comprobar en la preparación de los datos ahora se cuenta con una base de datos comprendido entre julio del 2019 hasta agosto del 2021, no teniendo mayor cantidad de datos, es posible realizar la predicción de los datos después de ese periodo de tiempo. Para realizar la predicción de la velocidad del viento se va a utilizar el modelo ARIMA para series de tiempo.

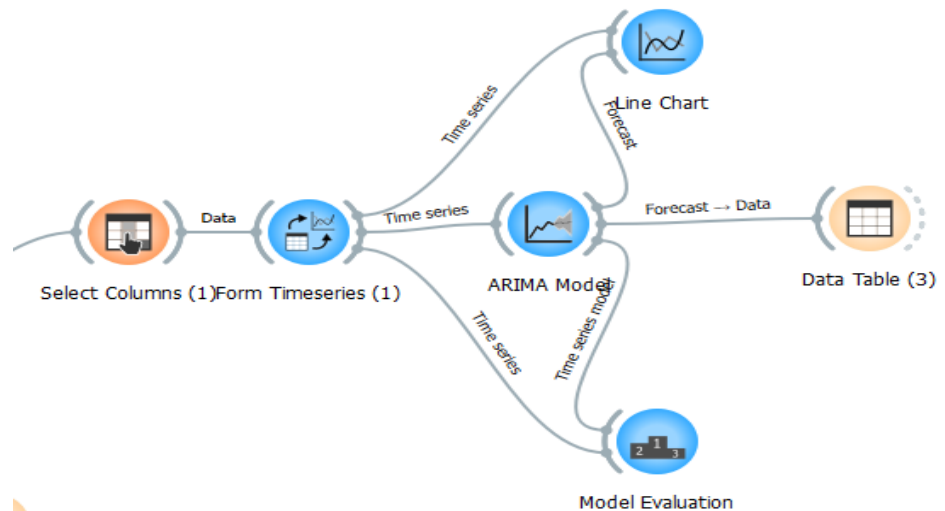


Figura 20. Modelo de predicción y evaluación del modelo

En la Figura 20, el modelo ARIMA (*AutoRegressive Integrated Moving Average*), es un modelo para series de tiempo de datos univariados como el caso (solo la variable velocidad del viento). Este tipo de modelos emplea Modelos unidireccionales donde la variable dependiente está influenciada por sus propios valores pasados o retardados [61]: .

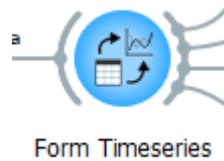


Figura 20. Widget Form Timeseries

Figura 21. Configuración del widget Form Timeseries

En las Figura 21 y Figura 22 se configura el widget *Form Timeseries*, con doble *click* se ingresa la configuración de los datos. para el caso en específico se debe seleccionar la variable de fecha que representa la variable de tiempo. En nuestro caso la variable Fecha.

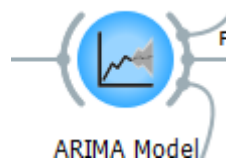


Figura 22. Widget ARIMA

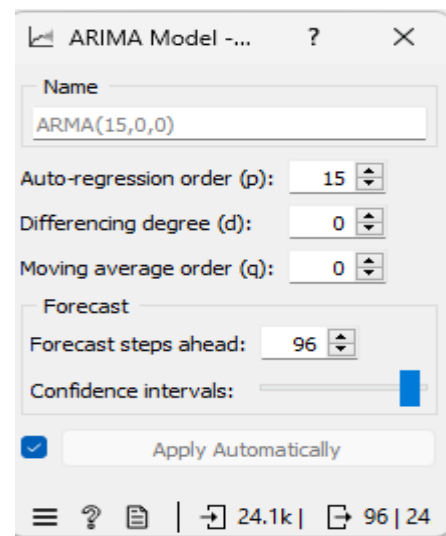


Figura 23. Configuración del widget ARIMA

En la Figura 24, el modelo ARIMA requiere de la configuración de sus parámetros, no existe una técnica específica de configuración por ello se debe realizar la técnica de la prueba y error y en base a los resultados poder considerar los mejores parámetros. Lo que sí es posible determinar es el valor de los datos que se van a predecir **Forecast steps ahead=96** para nuestro caso.

El valor 96 sale de considerar como están representado los datos. En este caso los datos están representados por espacios de tiempo en horas, lo que indica que, si se considera 24 pasos, es para hacer predicciones de 24 horas o un día. Debido a que el valor máximo del Forecast steps ahead es 100, se ha considerado realizar una predicción de los datos de 96 que corresponde a 4 días.

Se realizaron diversas configuraciones de widget con los siguientes resultados:

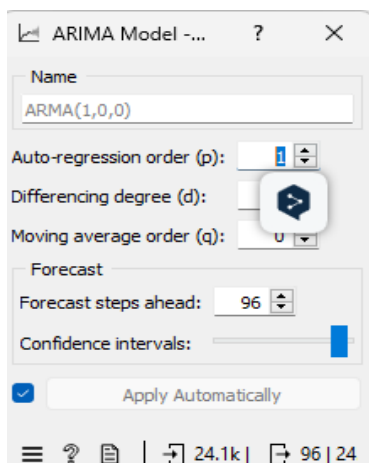


Figura 24. (p= 1)

Model	RMSE	MAE	MAPE	POCID	R ²	AIC	BIC
ARMA(1,0,0)	0.970	0.692	0.632	74.1	0.106	38388	38413
ARMA(1,0,0) (in-sample)	0.537	0.237	0.198	46.3	0.750	38438	38462

Figura 25. Evaluación para (p=1)

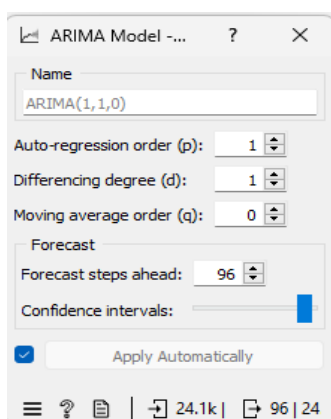


Figura 26. (p=1, d=1)

Model	RMSE	MAE	MAPE	POCID	R ²	AIC	BIC
ARIMA(1,1,0)	1.076	0.421	0.610	66.7	-0.100	38711	38727
ARIMA(1,1,0) (in-sample)	0.541	0.224	0.191	46.1	0.746	38758	38774

Figura 27. Evaluación para (p=1, d=1)

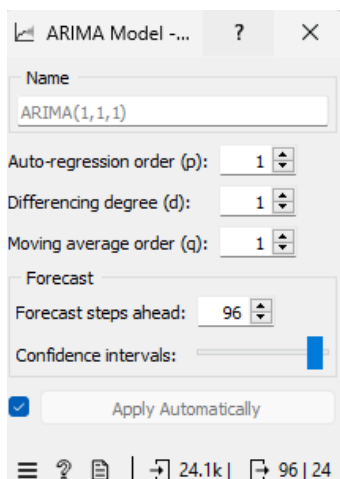


Figura 28. (p=1, d=1, q=1)

Model	RMSE	MAE	MAPE	POCID	R ²	AIC	BIC
ARIMA(1,1,1)	1.059	0.449	0.599	55.6	-0.066	38645	38669
ARIMA(1,1,1) (in-sample)	0.540	0.225	0.191	46.7	0.747	38691	38715

Figura 29. Evaluación para (p=1, d=1, q=1)

Las configuraciones mostradas desde la Figura 25 hasta la Figura 30, muestran los valores de la evaluación de diferentes modelos de series temporales. comparando los errores que cometen en términos de: error cuadrático medio (RMSE), error absoluto medio (MAE), error

porcentual absoluto medio (MAPE), predicción del cambio de dirección (POCID), coeficiente de determinación (R^2), criterio de información de Akaike (AIC) y criterio de información bayesiano (BIC).

Considerando el coeficiente de determinación R^2 , la configuración con ($p=1$), muestra la mejor predicción de 0.75 p 75%, y que disminuyen con las configuraciones de (d, q).

Con la mejor predicción obtenida los datos se graban en un archivo de Excel. En este archivo se guarda las predicciones de la velocidad del viento para los 4 días posteriores y se calcularon además de la velocidad, las velocidades mínimas y máximas para cada valor.

5. Evaluación del modelo

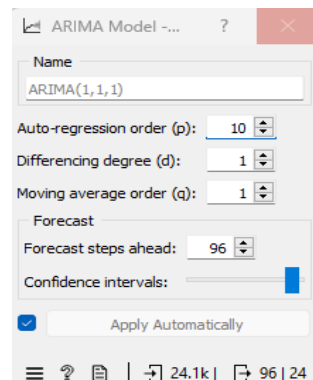


Figura 30. ($p=10, d=1, q=1$)

	RMSE	MAE	MAPE	POCID	R^2	AIC	BIC
ARMA(10,0,0)	0.740	0.535	0.484	74.1	0.479	35762	35859
ARMA(10,0,0) (in-sample)	0.508	0.272	0.199	53.6	0.795	35802	35899

Figura 31. Evaluación para ($p=10, d=1, q=1$)

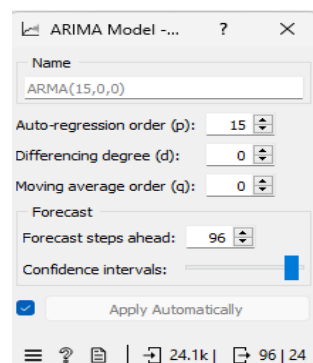


Figura 32. ($p=15, d=1, q=1$)

	RMSE	MAE	MAPE	POCID	R^2	AIC	BIC
ARMA(15,0,0)	0.713	0.501	0.468	74.1	0.516	35477	35615
ARMA(15,0,0) (in-sample)	0.505	0.270	0.198	54.0	0.797	35518	35655

Figura 33. Evaluación para ($p=15, d=1, q=1$)

La evaluación del modelo demuestra la mejor predicción para la configuración ($p=15$, $d=1$, $q=1$), en la que el Coeficiente de determinación R^2 ya no presenta un incremento importante. Pero que si representa un valor de predicción aceptable de casi el 80%.

The screenshot shows the 'Data Table (3) - Orange' window. On the left, there are settings for 'Info' (96 instances, 3 features), 'Variables' (Show variable labels, Color by instance classes), and 'Selection' (Select full rows). The main table displays 20 rows of data with three columns of predicted wind speed values in m/s.

	DEL VIENTO (m/s)	DEL VIENTO (m/s)	DEL VIENTO (m/s)
1	3.88908	2.54947	5.22869
2	4.00769	2.64137	5.374
3	4.10421	2.73391	5.47451
4	4.11411	2.7433	5.48492
5	3.99622	2.62348	5.36897
6	3.98111	2.60594	5.35628
7	4.02143	2.63998	5.40288
8	4.11662	2.73244	5.50081
9	4.06216	2.67339	5.45094
10	3.96002	2.56992	5.35013
11	3.99034	2.59807	5.3826
12	4.06608	2.6683	5.46387
13	4.10184	2.69979	5.50389
14	4.06781	2.66567	5.46995
15	4.01724	2.61489	5.41959
16	4.03821	2.63142	5.44501
17	4.04584	2.6372	5.45448
18	4.06297	2.65326	5.47267
19	4.07528	2.66493	5.48562
20	4.06802	2.65717	5.47888

Figura 34. Datos de predicciones para 4 días siguientes

La Figura 35, muestra la tabla de predicción de la velocidad del viento y de los valores mínimos y máximos predichos de la base de datos histórica y han sido predichos por medio del modelo ARIMA.

6. Resultados de la velocidad del viento

6.1. Datos predichos

Tabla 5. Predicción de la velocidad del viento

U. análisis	AÑO / MES / DÍA	HORA	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
1	2019-07-01 00:00:00	16:00:00	4,4
2	2019-07-01 00:00:00	17:00:00	5,3
3	2019-07-02 00:00:00	12:00:00	3,2
4	2019-07-02 00:00:00	13:00:00	4
5	2019-07-02 00:00:00	14:00:00	3,5
6	2019-07-02 00:00:00	15:00:00	3,1
7	2019-07-02 00:00:00	17:00:00	4,1
8	2019-07-03 00:00:00	11:00:00	3,2
9	2019-07-03 00:00:00	16:00:00	3,4
10	2019-07-03 00:00:00	17:00:00	4
11	2019-07-04 00:00:00	15:00:00	3,5
12	2019-07-05 00:00:00	16:00:00	3,2

13	2019-07-06 00:00:00	16:00:00	4,4
14	2019-07-07 00:00:00	16:00:00	3,4
15	2019-07-07 00:00:00	17:00:00	3,5
16	2019-07-08 00:00:00	14:00:00	3,4
17	2019-07-08 00:00:00	15:00:00	3,2
18	2019-07-08 00:00:00	17:00:00	3,5
19	2019-07-09 00:00:00	16:00:00	3,3
.....			
3042	2021-08-25 00:00:00	11:00:00	4,8
3043	2021-08-25 00:00:00	12:00:00	6,2
3044	2021-08-25 00:00:00	13:00:00	3,9
3045	2021-08-25 00:00:00	14:00:00	3,6
3046	2021-08-25 00:00:00	15:00:00	4,8
3047	2021-08-25 00:00:00	16:00:00	5,5
3048	2021-08-25 00:00:00	17:00:00	3,3
3049	2021-08-25 00:00:00	23:00:00	4,4
3050	2021-08-26 00:00:00	03:00:00	4,7
3051	2021-08-26 00:00:00	04:00:00	3,8
3052	2021-08-26 00:00:00	05:00:00	5
3053	2021-08-26 00:00:00	06:00:00	3,3
3054	2021-08-26 00:00:00	07:00:00	3,7
3055	2021-08-26 00:00:00	08:00:00	3,8
3056	2021-08-26 00:00:00	11:00:00	4,8
3057	2021-08-26 00:00:00	12:00:00	4,3
3058	2021-08-26 00:00:00	16:00:00	3,3
3059	2021-08-26 00:00:00	17:00:00	4,4
3060	2021-08-26 00:00:00	18:00:00	4,4
3061	2021-08-26 00:00:00	19:00:00	3,2

6.2. Análisis descriptivo

Tabla 6. Estadística descriptiva

Velocidad del viento	
Media	4,085756
Error típico	0,014281
Mediana	3,9
Moda	3,1
Desviación estándar	0,790123
Varianza de la muestra	0,624294
Curtosis	0,835071
Coefficiente de asimetría	0,968474
Rango	5,6
Mínimo	3,1

Máximo	8,7
Suma	12506,5
Cuenta	3061

En la Tabla 2, la estadística descriptiva arroja una media de la velocidad del viento de 4,0857, en un rango de 3,1 m/s mínimo y 8,7 m/s como máximo.

6.3. Estimación de la velocidad del viento

Tabla 7. Estimación de la velocidad de viento

Estadístico	Media	Error estándar	Intervalos de confianza 95%	
			Min	Max
	4,09	0,01	4,06	4,11

El uso del modelo ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) para la estimación de la velocidad del viento basado en los datos obtenidos de la estación meteorológica en Ocucaje demostró ser una herramienta eficaz para prever el comportamiento del recurso eólico con una $v(\text{min.})$ 4.06 m/s y una $v(\text{máx.})$ 4.11 m/s. Los resultados indican que el modelo permitió capturar las fluctuaciones diarias y estacionales del viento con un nivel de precisión adecuado para estimar el potencial eólico. Esto es crucial para regiones como Ocucaje, donde las características del viento pueden variar considerablemente, afectando la viabilidad de la generación de energía.

6.4. Estimación de la densidad

En el caso del distrito de Ocucaje, Ica, la densidad del aire es un factor importante para el cálculo del potencial eólico. La densidad del aire depende de la altitud, la temperatura, y la presión atmosférica. En términos generales, a nivel del mar y en condiciones estándar (20°C), la densidad del aire suele ser de alrededor de **1.225 kg/m³**.

Dado que el parque eólico Punta Lomitas se encuentra en una región costera con altitudes cercanas al nivel del mar, la densidad del aire en la zona es aproximadamente la misma que a nivel del mar, lo que favorece un buen rendimiento de los aerogeneradores, ya que la densidad del aire es crucial para determinar la cantidad de energía que puede ser capturada por las turbinas eólicas.

Sin embargo, esta densidad puede variar ligeramente debido a condiciones locales de temperatura y presión atmosférica propias de la región desértica de Ica. En términos de operación de aerogeneradores, valores más precisos de la densidad del aire serían obtenidos de mediciones locales exactas para un cálculo más riguroso del potencial eólico.

$$\rho = 1,225 e^{\left[\left(\frac{-Z}{8435}\right) - \left(\frac{T-15}{288}\right)\right]}$$

Donde

Z = Altitud en msnm

T = Temperatura promedio

Respecto a **la altitud (Z)**, se tomará de referencia la del parque eólico Punta Lomitas, ubicada en el distrito de Ocucaje, Ica, se encuentra aproximadamente a 65 metros sobre el nivel del mar (msnm). Esta altitud es favorable para la generación de energía eólica debido a las corrientes de viento que se presentan en la región.

La temperatura promedio en la zona de estudio en el distrito de Ocucaje varía entre 18 °C y 26 °C. Estas condiciones climáticas, junto con la altitud y la velocidad del viento, son fundamentales para optimizar el rendimiento de los aerogeneradores y maximizar el potencial eólico de la región.

Reemplazando los datos:

$$\rho = 1,225 e^{\left[\left(\frac{-90}{8435}\right) - \left(\frac{22-15}{288}\right)\right]}$$

$$\rho = 1.1829 \text{ Kg/m}^3$$

6.5. Estimación de la velocidad del viento

Para el proyecto Punta Lomitas, ubicado en Ocucaje, Ica, el potencial eólico se ha medido con datos recopilados de la velocidad promedio del viento, que es un factor clave en la generación de energía eólica. La **velocidad del viento** en esta área ha mostrado **valores superiores a los 8-9 m/s a una altura de 100 metros**, lo cual es considerado óptimo para la generación de energía eléctrica utilizando aerogeneradores de gran escala.

El análisis de la velocidad del viento, junto con la densidad del aire y el diámetro del rotor de los aerogeneradores, permite calcular la cantidad de energía eólica disponible.

6.6. Radio del rotor del aerogenerador

El radio del rotor de un aerogenerador es la distancia desde el centro del rotor (donde está conectado al eje) hasta el extremo de una de las aspas. Este radio es un factor fundamental para determinar el área barrida por las aspas, que es crucial en el cálculo del potencial eólico, ya que el área barrida afecta directamente la cantidad de viento que puede ser capturada para la producción de energía.

En aerogeneradores de gran escala, como los que se utilizan en proyectos como los del parque eólico Punta Lomitas, el radio del rotor puede variar dependiendo del modelo específico del aerogenerador:

- *Vestas V150-4.2 MW*, que es uno de los modelos más comunes en parques eólicos, tiene un rotor con un diámetro de 140 metros, lo que implica **un radio de 66 metros**.
- *Otro modelo, el Siemens Gamesa SG 5.0-145*, tiene un diámetro de 120 metros, lo que da un radio de 60 metros.

6.7. Potencia eólica

Es una magnitud derivada que describe la energía disponible en el viento. Se expresa en términos de potencia (energía por unidad de tiempo) y depende de la densidad del aire, la velocidad del viento, y el área barrida por el rotor del aerogenerador.

$$P_w = \frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \cdot r^2 \cdot \pi$$

Donde

ρ = Es la densidad del aire

$A = (r^2 \cdot \pi)$ = Es el área barrida por el rotor del aerogenerador

v = Es la velocidad del viento (*ley de potencia*)

Reemplazando los datos (Para un aerogenerador):

$$P_w = \frac{1}{2} \left(1.1823 \frac{Kg}{m^3} \right) \cdot (8.5m)^3 \cdot (66m)^2 \cdot \pi$$

$$P_w = 4\,970\,971 \text{ W}$$

$$P_w = 4.97 \text{ MW}$$

(Para 50 aerogeneradores)

$$P_w = 248.53 \text{ MW}$$

El potencial eólico calculado es aproximadamente 4,970,971 W (o 4.97 MW), utilizando los valores proporcionados de densidad, velocidad media del viento y radio del rotor.

6.8. Cálculo de la energía eléctrica

La energía eléctrica es una forma de energía resultante del movimiento o flujo de electrones a través de un conductor, lo que genera una corriente eléctrica. Es una de las formas más versátiles y utilizadas de energía en el mundo moderno, ya que puede ser transportada a largas distancias, convertida en otras formas de energía (como luz, calor, o movimiento mecánico) y utilizada para alimentar una amplia variedad de dispositivos y sistemas.

La generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables como la energía eólica tiene un impacto significativo en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la dependencia de los combustibles fósiles. En el caso específico de la energía eólica, se aprovecha el potencial eólico (energía cinética del viento) para mover las palas de un aerogenerador, que luego transforma esa energía mecánica en electricidad a través de un generador.

El uso de la energía eólica es considerado una opción sostenible y limpia, ya que no genera contaminación durante la operación, y utiliza una fuente de energía inagotable: el viento.

$$E_e = P_w \cdot \theta \cdot \eta$$

Donde

P_w = Es el potencial eólico (en W)

θ = Es el tiempo de operación del aerogenerador (en horas)

η = Es la eficiencia del sistema (un valor entre 0 y 1, típicamente entre 0.3 y 0.4)

Reemplazando los datos (Para un aerogenerador):

$$E_e = (4.97 \text{ MW}) \cdot (24 \text{ h}) \cdot (0.35)$$

$$E_e = 41.75 \text{ MWh}$$

(Para 50 aerogeneradores)

$$E_e = 2\,087.67 \text{ MWh}$$

3.1.2. Predecir la ley de potencia y la producción de energía eléctrica mediante recursos eólicos en el distrito de Ocucaje, Ica.

El objetivo secundario, requiere evaluar la relación entre la velocidad del viento y la generación de energía, siguiendo la ley de potencia. Esta ley establece que la potencia eólica disponible es proporcional al cubo de la velocidad del viento, lo que implica que pequeñas variaciones en la velocidad pueden generar aumentos significativos en la producción de energía eléctrica. Para calcular la producción energética, se utilizan herramientas computacionales avanzadas como modelos de

inteligencia artificial (ej. ARIMA), que permiten predecir con mayor precisión el comportamiento del viento y su influencia en la capacidad de generación.

El análisis de la ley de potencia en Ocucaje es clave debido a las características geográficas y meteorológicas de la zona, que presentan un recurso eólico potencialmente aprovechable. La evaluación precisa de las velocidades de viento, en combinación con factores como la altitud y la eficiencia de los aerogeneradores, es fundamental para estimar la viabilidad económica de la producción de energía eléctrica y su sostenibilidad en el tiempo, permitiendo optimizar el aprovechamiento de los recursos naturales para contribuir a la demanda energética del país.

3.1.3. Aerogeneradores

En el distrito de Ocucaje, Ica, se encuentra un proyecto eólico de gran escala conocido como Punta Lomitas, desarrollado por ENGIE Energía Perú, y se convertirá en el parque eólico más grande del Perú, con una capacidad de 260 MW. Las turbinas eólicas instaladas para este proyecto están montadas en torres de aproximadamente 100 metros de altura, y cada torre sostiene rotores con aspas de unos 66 metros de largo. Este proyecto comenzó a construirse en 2021, con planes de operación comercial a partir de 2023.

Punta Lomitas tiene como objetivo brindar energía limpia a varios sectores, incluida la industria minera, y es parte de los esfuerzos de Perú para la transición hacia las energías renovables. Este parque eólico está ubicado en Ocucaje, pero no se encontraron detalles específicos sobre el número de turbinas eólicas de menor escala fuera de este proyecto industrial. Las turbinas instaladas son de escala industrial, adecuadas para la producción de electricidad a gran escala, y las cuales se utilizarán de referencia en el presente estudio [62].

3.1.4. Modelo de aerogeneradores

A continuación, se presenta una Tabla 8 con especificaciones generales basadas en modelos típicos de turbinas eólicas utilizadas en parques eólicos de gran escala:

Tabla 8. Modelo de aerogeneradores

Característica	Especificaciones
Tipo de turbina	Variable, generalmente Siemens-Gamesa o Vestas (modelos comunes en el Perú)
Diámetro del rotor	145-150 metros
Altura de torre	120-140 metros
Material de las palas	Compuesto de resina epoxi reforzada con fibra de vidrio
Potencia nominal	3.6 - 4.2 MW
Tipo de generador	De accionamiento directo (o con sistema de engranajes, según el modelo)
Velocidad de arranque del viento	3 - 4 m/s
Velocidad máxima del viento	25 m/s
Producción anual de energía	Aproximadamente 15-20 GWh por turbina
Garantía	Estándar de 10-20 años, dependiendo del contrato

El modelo y las especificaciones de cada turbina pueden variar según los contratos con los proveedores, pero Siemens-Gamesa y Vestas son proveedores destacados de proyectos de energía eólica en Perú.

3.1.5. Velocidad del viento con la altura (*ley de potencia*)

La velocidad del viento varía con la altura, y su relación se describe mediante la **Ley de potencia del viento**. Esta ley permite estimar la velocidad del viento a diferentes alturas basándose en la velocidad del viento a una altura de referencia. La fórmula utilizada es:

$$v_z = v_{Ref} \cdot \left(\frac{z}{z_{Ref}} \right)^\alpha$$

Donde:

V_z = Es la velocidad del viento a la altura z (en metros).

V_{ref} = Es la velocidad del viento a una altura de referencia z_{ref}

Z = Es la altura a la que se desea calcular la velocidad del viento.

z_{ref} = Es la altura de referencia (por ejemplo, 1 metros).

α = Es el exponente de la ley de potencia, que depende de la rugosidad del terreno. Para terrenos planos o agua, suele ser $\alpha = 0.15$, mientras que para terrenos más rugosos puede ser $\alpha = 0.2$ o superior.

Tabla 9. Densidad del aire a distintas alturas: 80 m, 90 m y 100 m

$\rho_0 =$	1.225	1.225	1.225	Kg/m ³	$\rho_0 =$	1.225	1.225	1.225	Kg/m ³	$\rho_0 =$	1.225	1.225	1.225	Kg/m ³
$Z =$	80	80	80	m	$Z =$	90	90	90	m	$Z =$	100	100	100	m
VALOR A =	8435	8435	8435		VALOR A =	8435	8435	8435		VALOR A =	8435	8435	8435	
$T =$	18	22	26	°C	$T =$	18	22	26	°C	$T =$	18	22	26	°C
VALOR B =	288	288	288		VALOR B =	288	288	288		VALOR B =	288	288	288	
$\rho =$	1.2009	1.1843	1.1680	kg/m ³	$\rho =$	1.1994	1.1829	1.1666	kg/m ³	$\rho =$	1.1980	1.1815	1.1652	kg/m ³

Tabla 10. Velocidad del viento (ley de potencia) a distintas alturas: 80 m, 90 m y 100 m

$v_{Ref} =$	8	8	8	m/s	$v_{Ref} =$	8.5	8.5	8.5	m/s	$v_{Ref} =$	9	9	9	m/s
$Z_{Ref} =$	80	80	80	m	$Z_{Ref} =$	90	90	90	m	$Z_{Ref} =$	100	100	100	m
$Z =$	80	90	100	m	$Z =$	80	90	100	m	$Z =$	80	90	100	m
$\alpha =$	0.15	0.15	0.15		$\alpha =$	0.15	0.15	0.15		$\alpha =$	0.15	0.15	0.15	
$v_z =$	8.00	8.14	8.27	m/s	$v_z =$	8.35	8.50	8.64	m/s	$v_z =$	8.70	8.86	9.00	m/s

Tabla 11. Potencia eólica a distintas alturas: 80 m, 90 m y 100 m

$\rho =$	1.2009	1.1843	1.1680	kg/m ³	$\rho =$	1.1994	1.1829	1.1666	kg/m ³	$\rho =$	1.1980	1.1815	1.1652	kg/m ³
$v =$	8.00	8.14	8.27	m/s	$v =$	8.35	8.50	8.64	m/s	$v =$	8.70	8.86	9.00	m/s
$r =$	66	66	66	m	$r =$	66	66	66	m	$r =$	66	66	66	m
$\pi =$	3.1416	3.1416	3.1416		$\pi =$	3.1416	3.1416	3.1416		$\pi =$	3.1416	3.1416	3.1416	
$P_w =$ 4,206,994 4,374,805 4,523,949 W					$P_w =$ 4,779,971 4,970,637 5,140,093 W					$P_w =$ 5,404,932 5,620,527 5,812,139 W				
$P_w =$ 4.21 4.37 4.52 MW					$P_w =$ 4.78 4.97 5.14 MW					$P_w =$ 5.40 5.62 5.81 MW				
50 50 50					50 50 50					50 50 50				
$P_w =$ 210.35 218.74 226.20 MW					$P_w =$ 239.00 248.53 257.00 MW					$P_w =$ 270.25 281.03 290.61 MW				

Tabla 12. Energía eléctrica a distintas alturas: 80 m, 90 m y 100 m

$P_w =$	4.21	4.37	4.52	W	$P_w =$	4.78	4.97	5.14	W	$P_w =$	5.40	5.62	5.81	W
$\theta =$	24	24	24	h	$\theta =$	24	24	24	h	$\theta =$	24	24	24	h
$\eta =$	0.35	0.35	0.35		$\eta =$	0.35	0.35	0.35		$\eta =$	0.35	0.35	0.35	
$E_e =$ 35.34 36.75 38.00 MWH					$E_e =$ 40.15 41.75 43.18 MWH					$E_e =$ 45.40 47.21 48.82 MWH				
50 50 50					50 50 50					50 50 50				
$E_e =$ 1766.94 1837.42 1900.06 MWH					$E_e =$ 2007.59 2087.67 2158.84 MWH					$E_e =$ 2270.07 2360.62 2441.10 MWH				

Por lo tanto, se puede predecir que la aplicación de la ley de potencia del viento, que establece que la potencia eólica es proporcional a la densidad del aire, el área barrida por las aspas del aerogenerador y el cubo de la velocidad del viento. En las tablas presentadas, se utilizan diversas alturas (80 m, 90 m y 100 m) para calcular la densidad del aire y la velocidad del viento mediante la ley de potencia, considerando el exponente de la ley de potencia $\alpha = 0.15$, específico para el tipo de terreno y condiciones atmosféricas de Ocucaje. Estos cálculos son fundamentales para predecir el potencial de generación de energía eólica en diferentes alturas, lo que proporciona una base sólida para el dimensionamiento y la instalación de aerogeneradores óptimos.

Con base en los resultados obtenidos, se muestra que, a mayor altura, tanto la velocidad del viento como la densidad del aire disminuyen ligeramente, pero el incremento en la velocidad del viento a mayores alturas (de 80 m a 100 m) compensa esta disminución en la densidad. Esto lleva a un aumento sustancial en la potencia eólica (P_w) y, por ende, en la producción de energía eléctrica (E_e), lo cual se observa en los valores de megavatios-hora (MWh) obtenidos para diferentes alturas y condiciones de viento. Estos resultados son fundamentales para la toma de decisiones en el diseño de parques eólicos en el distrito de Ocucaje, ya que permiten optimizar la producción de energía eléctrica en función de las condiciones locales del viento.

Para fundamentar la elección de los 90 metros como la altura más adecuada del aerogenerador en el estudio, se deben considerar varios factores clave que afectan tanto el rendimiento energético como la viabilidad técnica y económica. A continuación, se fundamenta científicamente la altura del aerogenerador, la densidad del aire, el potencial eólico, y la producción de energía eléctrica con base en los resultados obtenidos a esta altura.

Altura del aerogenerador: equilibrio entre producción y costos: A una altura de 90 metros, los aerogeneradores pueden aprovechar mejor los vientos más estables y fuertes en comparación con alturas más bajas (como, 80 metros), sin incurrir en los costos adicionales y complejidades técnicas que conllevaría elevarlos a 100 metros. En particular, aumentar la altura incrementa la velocidad del viento, lo que tiene un efecto exponencial sobre la potencia generada debido a la relación

cúbica de la velocidad del viento en la ecuación de potencia. Sin embargo, esta relación no es lineal en términos de costo-beneficio: la ganancia marginal en velocidad del viento entre 90 y 100 metros (de 8.50 m/s a 9.00 m/s) no justifica los mayores costos estructurales y logísticos. A 90 metros, se logra un equilibrio óptimo, obteniendo una velocidad suficiente de 8.50 m/s que garantiza una producción eficiente de energía, sin los mayores costos que implicarían torres más altas.

Densidad del aire: impacto en la producción de energía: La densidad del aire juega un papel fundamental en la cantidad de energía que puede extraerse del viento, ya que la potencia eólica es directamente proporcional a esta variable. A 90 metros, la densidad del aire obtenida en el estudio fue de 1.1829 kg/m³, un valor razonable y típico para la región y las condiciones atmosféricas locales. Aunque la densidad del aire tiende a disminuir con la altura, la variación entre los 80 y 100 metros es mínima, lo que significa que no se sacrifica significativamente la eficiencia del aerogenerador a 90 metros. Esta densidad asegura que la turbina eólica pueda captar suficiente energía cinética del viento para generar electricidad de manera eficiente, sin grandes pérdidas en comparación con alturas más bajas o altas.

Potencial eólico: aprovechamiento de recursos locales: El potencial eólico a 90 metros en el distrito de Ocucaje ha demostrado ser adecuado para la producción sostenible de energía eléctrica. Con una velocidad del viento de 8.50 m/s, el aerogenerador ubicado a esta altura es capaz de aprovechar de manera eficiente los recursos eólicos disponibles. Aunque velocidades más altas a 100 metros pueden parecer más atractivas (9.00 m/s), las velocidades a 90 metros ya se encuentran dentro del rango óptimo para la generación de electricidad mediante aerogeneradores de gran escala. Además, el sitio de Ocucaje presenta condiciones estables a esta altura, lo que asegura que el aerogenerador pueda operar de manera constante y confiable a lo largo del tiempo.

Producción de energía eléctrica: balance óptimo: La producción de energía eléctrica a 90 metros es altamente eficiente, con un valor estimado de 41.75 MWh en un período de 24 horas, como se muestra en los datos del estudio. Esta producción es considerablemente alta y apenas se diferencia de los valores

obtenidos a 100 metros (43.18 MWh). Dado que la potencia generada es proporcional a la densidad del aire y al cubo de la velocidad del viento, la elección de 90 metros como altura del aerogenerador garantiza una producción energética significativa sin incurrir en los costos adicionales que implicarían los aerogeneradores más altos. Además, a esta altura se puede mantener una alta eficiencia en la conversión del viento en electricidad, lo que hace que la ubicación a 90 metros sea la más adecuada para optimizar la relación entre costos y beneficios en el proyecto de generación de energía eólica.

Por lo tanto, El análisis a 90 metros de altura en Ocucaje revela que esta es la opción más adecuada en términos de aprovechamiento del potencial eólico, considerando la densidad del aire local, la velocidad del viento, y la producción de energía eléctrica resultante. Los resultados muestran un equilibrio óptimo entre la cantidad de energía producida y los costos de infraestructura, lo que fundamenta científicamente la elección de esta altura como la más viable y eficiente para el proyecto eólico.

3.2. Predecir la estimación del potencial eólico y la electricidad o principios eléctricos en el distrito de Ocucaje, Ica.

Se fundamenta en la importancia de evaluar la capacidad de esta región para generar energía renovable de manera eficiente. El potencial eólico depende de factores como la velocidad y dirección del viento, la densidad del aire y la altura de los aerogeneradores. Mediante la aplicación de modelos predictivos, como la inteligencia artificial y la ley de potencia eólica, es posible estimar con mayor precisión la cantidad de energía que puede ser generada. Estas predicciones son esenciales para determinar la viabilidad técnica y económica de los proyectos eólicos en la región, maximizando el aprovechamiento de los recursos naturales disponibles.

Por otro lado, la estimación de principios eléctricos como la potencia eléctrica generada a partir del viento se basa en la relación entre la energía cinética del aire y su conversión en electricidad. Esto permite no solo dimensionar los aerogeneradores, sino también proyectar la cantidad de energía que puede ser entregada al sistema eléctrico local. En este sentido, prever el comportamiento del viento y su capacidad de generar electricidad asegura una planificación adecuada

para el suministro energético, contribuyendo al desarrollo de infraestructuras sostenibles en Ocucaje, una región con un potencial eólico significativo.

3.2.1. Potencia eléctrica

La potencia eléctrica generada a partir del aerogenerador es igual al potencial eólico que ya hemos calculado:

$$P = P_w = \text{Potencia eléctrica (vatios)}$$

Donde:

P = Es la potencia eléctrica.

P_w = Es el potencial eólico (MW).

Sea calculado el potencial eólico como $P_w = 4,970,637 \text{ W} = 4.97 \text{ MW} = P$, esta será la potencia eléctrica que genera el sistema eólico.

3.2.2. Tensión de corriente eléctrica

Sea utilizado una **tensión nominal de 690 V**, que es común en sistemas de aerogeneradores grandes.

3.2.3. Intensidad de corriente eléctrica

Para tal efecto sea generado usando la Ley de Ohm aplicada a potencias en corriente alterna. La **potencia eléctrica** (P) se relaciona con la **tensión** (V) y la **intensidad de corriente** (I) mediante la siguiente fórmula básica de la electricidad:

$$I = \frac{P}{V}$$

Donde:

P = Es la potencia eléctrica (vatios)

V = Es tensión (voltios).

I = Es la corriente (amperios).

$$I = \frac{4,970,637 \text{ W}}{690 \text{ V}}$$

$$I = 7\,203\,82 \text{ A}$$

Tabla 13. Potencia eólica a distintas alturas: 80 m, 90 m y 100 m

$\rho =$	1.2009	1.1843	1.1680	kg/m ³	$\rho =$	1.1994	1.1829	1.1666	kg/m ³	$\rho =$	1.1980	1.1815	1.1652	kg/m ³
$v =$	8.00	8.14	8.27	m/s	$v =$	8.35	8.50	8.64	m/s	$v =$	8.70	8.86	9.00	m/s
$r =$	66	66	66	m	$r =$	66	66	66	m	$r =$	66	66	66	m
$\pi =$	3.1416	3.1416	3.1416		$\pi =$	3.1416	3.1416	3.1416		$\pi =$	3.1416	3.1416	3.1416	
$P_w =$ 4,206,994 4,374,805 4,523,949 W					$P_w =$ 4,779,971 4,970,637 5,140,093 W					$P_w =$ 5,404,932 5,620,527 5,812,139 W				
$P_w =$	4.21	4.37	4.52	MW	$P_w =$	4.78	4.97	5.14	MW	$P_w =$	5.40	5.62	5.81	MW
	50	50	50			50	50	50			50	50	50	
$P_w =$	210.35	218.74	226.20	MW	$P_w =$	239.00	248.53	257.00	MW	$P_w =$	270.25	281.03	290.61	MW

Tabla 14. Potencia eléctrica a distintas alturas: 80 m, 90 m y 100 m

$P =$	4.21	4.37	4.52	MWh	$P =$	4.78	4.97	5.14	MWh	$P =$	5.40	5.62	5.81	MWh
	50	50	50			50	50	50			50	50	50	
$P_t =$	210.35	218.74	226.20	MWh	$p_t =$	239.00	248.53	257.00	MWh	$p_t =$	270.25	281.03	290.61	MWh

Tabla 15. Tensión de corriente eléctrica distintas alturas: 80 m, 90 m y 100 m

T =	690	690	690	V		T =	690	690	690	V		T =	690	690	690	V
-----	-----	-----	-----	---	--	-----	-----	-----	-----	---	--	-----	-----	-----	-----	---

Tabla 16. Intensidad de corriente eléctrica distintas alturas: 80 m, 90 m y 100 m

I =	6,097.09	6,340.30	6,556.45	A		I =	6,927.49	7,203.82	7,449.41	A		I =	7,833.24	8,145.69	8,423.39	A
I =	6.10	6.34	6.56	kA		I =	6.93	7.20	7.45	kA		I =	7.83	8.15	8.42	kA
	50	50	50				50	50	50				50	50	50	
I _t =	304.85	317.01	327.82	kA		I _t =	346.37	360.19	372.47	kA		I _t =	391.66	407.28	421.17	kA

Densidad del aire y su impacto en la potencia eólica

La densidad del aire, que varía ligeramente en función de la altura (1.2009 kg/m^3 a 1.1652 kg/m^3), es un factor clave en la fórmula de la potencia eólica. A mayor altura, la densidad del aire disminuye debido a la menor presión atmosférica. Esto influye en la cantidad de energía que puede capturar el aerogenerador. Sin embargo, la velocidad del viento aumenta con la altura, lo que compensa esta disminución de la densidad y resulta en una mayor **potencia eólica**. Los valores de la potencia eólica (P_w) en la Tabla 13 muestran que, a mayores alturas, la velocidad del viento también aumenta. Esto lleva a un incremento significativo en la potencia eólica, pasando de 210.35 MW a 270.25 MW para los 50 aerogeneradores en la altura de 80 m y 100 m.

Potencia eléctrica y su relación con la altura

La **potencia eléctrica (P)** generada sigue el mismo patrón de incremento con la altura, debido al aumento en la velocidad del viento. En la Tabla 14 se observa que la potencia eléctrica a 80 m es de **210.35 MWh** y a 100 m aumenta a **270.25 MWh**. La razón principal de este comportamiento es la mayor cantidad de energía cinética disponible en las corrientes de viento a mayor altura, lo que se refleja directamente en la producción eléctrica. De este modo, la altura de instalación de los aerogeneradores es un factor crítico para maximizar la producción de energía eléctrica en un parque eólico.

Tensión y corriente eléctrica

La tensión (T), que se mantiene constante en 690 V para las tres alturas, es la tensión nominal del aerogenerador. Sin embargo, la intensidad de corriente eléctrica (I) varía con la altura debido al aumento de la potencia generada. En la Tabla 16, la corriente eléctrica aumenta de **6,097.09 A** a **7,833.24 A** cuando la altura cambia de 80 m a 100 m. Este aumento en la corriente total, al considerar 50 aerogeneradores, pasa de **304.85 kA** a **391.66 kA**.

IV. DISCUSION DE RESULTADOS

4.1. Discusión de resultados de la estimación del potencial eólico obtenida mediante la aplicación de inteligencia artificial y la producción de energía eléctrica en el distrito de Ocucaje, Ica

Según el cálculo de la estimación de la velocidad del viento se tiene un intervalo entre 4,06 (14,62 km/hr) y 4,11 m/s (14,80 km/hr) para este estadístico con el modelo de inteligencia artificial ARIMA, con datos obtenidos de la estación meteorológica del Distrito de Ocucaje y los valores que apoyan un potencial energético para aprovechar la energía eólica tomando como fuente la velocidad del viento en el distrito de Ocucaje.

En el caso del distrito de Ocucaje, Ica, la densidad del aire es un factor importante para el cálculo del potencial eólico. La densidad del aire depende de la altitud, la temperatura, y la presión atmosférica. En términos generales, a nivel del mar y en condiciones estándar (20°C), la densidad del aire suele ser de alrededor de 1.225 kg/m³.

Dado que Ocucaje se encuentra en una región costera con altitudes cercanas al nivel del mar, la densidad del aire en la zona es aproximadamente la misma que a nivel del mar, lo que favorece un buen rendimiento de los aerogeneradores, ya que la densidad del aire es crucial para determinar la cantidad de energía que puede ser capturada por las turbinas eólicas.

Sin embargo, esta densidad puede variar ligeramente debido a condiciones locales de temperatura y presión atmosférica propias de la región desértica de Ica. En términos de operación de aerogeneradores, valores más precisos de la densidad del aire serían obtenidos de mediciones locales exactas para un cálculo más riguroso del potencial eólico.

El análisis mostró que, a una altura de 90 metros, las velocidades del viento se alinearon estrechamente con los datos reales (*ley de potencia*), alcanzando velocidades promedio entre 8.50 m/s y 8.86 m/s. Estas velocidades son óptimas para la operación de aerogeneradores, lo que, de acuerdo con los estudios de *Khchine Y Sriti*, es fundamental para maximizar la producción de energía en

áreas de vientos moderados. La potencia eólica calculada a esta altura alcanzó valores que varían entre 239.00 MW y 248.53 MW, lo que confirma que la instalación de aerogeneradores en Ocucaje es técnicamente viable y rentable.

La correlación positiva entre las alturas de los aerogeneradores y la producción de energía eléctrica respalda las decisiones de ingeniería orientadas a maximizar la eficiencia en parques eólicos. Además, estos resultados concuerdan con investigaciones previas, reafirmando la importancia de herramientas computacionales avanzadas en la evaluación de recursos energéticos renovables

4.2. Discusión de resultados sobre la ley de potencia y la producción de energía eléctrica mediante recursos eólicos en el distrito de Ocucaje, Ica

El análisis de la ley de potencia y la producción de energía eléctrica a partir de recursos eólicos en el distrito de Ocucaje ha mostrado resultados prometedores para la generación de energía renovable en esta región. En particular, la velocidad del viento a distintas alturas, junto con la densidad del aire, ha sido un factor clave en la determinación del potencial energético. A una altura de 90 metros, se observó una velocidad promedio del viento de 8.50 m/s y una densidad del aire de 1.1829 kg/m³, lo que permitió generar una potencia eólica de 4.97 MW y una producción diaria de 41.75 MWh. Estos resultados evidencian que la altura de 90 metros representa un punto óptimo en términos de balance entre producción de energía y costos de instalación.

La ley de potencia del viento se ha comportado conforme a lo esperado, donde la potencia generada es proporcional al cubo de la velocidad del viento. Este comportamiento se observa en estudios previos, como el realizado por *Quiñonez et al.*, donde se destaca que pequeños incrementos en la velocidad del viento producen grandes aumentos en la potencia generada debido a la relación cúbica de la ley de potencia[63]. La comparación con alturas de 80 metros (8.14 m/s) y 100 metros (8.86 m/s) confirma que, aunque mayores alturas proporcionan velocidades de viento ligeramente superiores, los incrementos no justifican completamente los mayores costos estructurales y logísticos. Estudios como el de *Burton et al.*, también concluyen que alturas intermedias, como los 90 metros analizados, suelen proporcionar un equilibrio óptimo entre la captación del recurso eólico y los costos asociados a la infraestructura[64].

En cuanto a la producción de energía eléctrica, la capacidad de generar 41.75 MWh diarios a una altura de 90 metros es altamente competitiva en comparación con valores reportados en otras investigaciones. [65] Un estudio realizado en la región de La Ventosa, México, con condiciones de viento similares, reportó una producción diaria promedio de entre 40 y 45 MWh para aerogeneradores instalados a alturas cercanas a los 100 metros *Zarate y Fraga*. Este hallazgo muestra que las condiciones eólicas en Ocucaje son comparables a otros sitios de alto potencial eólico a nivel internacional, confirmando la viabilidad de implementar proyectos a escala comercial en esta región.

Por otro lado, el potencial eólico en Ocucaje no solo es adecuado para cubrir las necesidades energéticas locales, sino que también podría ser una fuente importante de exportación de energía. La capacidad de generar energía de forma eficiente y sostenible a partir del viento coincide con el enfoque global de transición hacia energías limpias, como se menciona en trabajos de IRENA, donde se subraya la importancia del desarrollo de infraestructuras eólicas en regiones con alto potencial[66].

4.3. Discusión de resultados de la estimación del potencial eólico y la electricidad en el distrito de Ocucaje, Ica.

En la presente investigación, se ha realizado una estimación detallada del potencial eólico en el distrito de Ocucaje, Ica, utilizando herramientas de inteligencia artificial para optimizar la precisión en la predicción de la producción de energía eléctrica. Los resultados de la estimación de potencia eólica a distintas alturas (80 m, 90 m, y 100 m) muestran un incremento notable tanto en la potencia eólica como en la potencia eléctrica con el aumento de la altura.

A partir de los datos de densidad del aire y velocidad del viento a diferentes alturas, se observa que a 100 m de altura se obtiene la mayor producción de energía, con un valor promedio de 5.40 MW por aerogenerador. Este valor es significativamente superior a los 4.21 MW obtenidos a 80 m de altura, lo que refleja la importancia de la altura en la captación de energía eólica. La tendencia de mayor velocidad del viento a mayores altitudes es consistente con estudios previos, como el de *Khchine Y Sriti*, quienes encontraron que la eficiencia de los aerogeneradores aumenta significativamente con la altura debido a la reducción de

la rugosidad del terreno y las turbulencias que frenan el viento a niveles más bajos[67].

El análisis de los resultados en cuanto a la potencia eléctrica muestra que la producción total de un parque eólico con 50 aerogeneradores también incrementa de 210.35 MWh a 270.25 MWh cuando se pasa de una altura de 80 m a 100 m. Este hallazgo es consistente con investigaciones realizadas en otras regiones, como el estudio de *Schallenberg-Rodríguez y García*, que reportaron incrementos similares en la producción de energía al elevar las torres de aerogeneradores [68]. Además, los resultados indican que, a pesar de la disminución de la densidad del aire a mayores alturas, la ganancia en la velocidad del viento compensa esta reducción, lo que resulta en un aumento neto en la potencia eólica disponible.

Por otro lado, la intensidad de corriente eléctrica también muestra una tendencia creciente a medida que se incrementa la altura, debido a la mayor producción de potencia. A 100 m de altura, la intensidad de corriente para un conjunto de 50 aerogeneradores alcanza un valor de 391.66 kA, en comparación con los 304.85 kA a 80 m de altura. Esta diferencia de aproximadamente 28 % es significativa, ya que sugiere un mayor aprovechamiento de la capacidad de generación eléctrica si se opta por aerogeneradores más altos.

Al comparar estos resultados con los obtenidos por otros investigadores, como el estudio de *Simankov et al.*, sobre parques eólicos en áreas costeras, se constata que las condiciones de viento más favorables a mayores alturas son un factor crítico para la optimización de la producción de energía.[69] En regiones como Ocucaje, con un régimen eólico moderado, las alturas entre 90 m y 100 m representan un equilibrio óptimo entre costos de infraestructura y maximización de la producción de energía eléctrica.

Por otro lado, la intensidad de corriente eléctrica también muestra una tendencia creciente a medida que se incrementa la altura, debido a la mayor producción de potencia. A 100 m de altura, la intensidad de corriente para un conjunto de 50 aerogeneradores alcanza un valor de 391.66 kA, en comparación con los 304.85 kA a 80 m de altura. Esta diferencia de aproximadamente 28 % es significativa, ya que sugiere un mayor aprovechamiento de la capacidad de generación eléctrica si se opta por aerogeneradores más altos.

V. CONCLUSIONES

1. La aplicación del modelo ARIMA para la estimación del potencial eólico en el distrito de Ocucaje ha demostrado ser una herramienta eficaz para predecir la velocidad del viento para la estación meteorológica en el Distrito de Ocucaje y su variabilidad, también con datos reales como es la velocidad del viento (ley de potencia) que están por encima de los 80 m ha permitido optimizar la altura de los aerogeneradores para maximizar la producción de energía eléctrica. A 90 metros de altura, los aerogeneradores muestran una capacidad de generación de entre 239 MW y 248 MW, lo que confirma la viabilidad técnica y económica del uso de energía eólica en la región. Estos resultados están en línea con estudios previos que destacan la influencia de la altura y las condiciones locales del viento en la eficiencia de los parques eólicos.
2. Se concluye que los resultados obtenidos al analizar la ley de potencia y la producción de energía eléctrica mediante recursos eólicos en el distrito de Ocucaje, Ica, confirman el potencial de la región para generar energía renovable de manera eficiente. A una altura de 90 metros, la velocidad del viento promedio de 8.50 m/s y una densidad del aire de 1.1829 kg/m³ permitieron alcanzar una producción de 41.75 MWh diarios, lo que representa un equilibrio óptimo entre la altura del aerogenerador, la captación de energía eólica y los costos de infraestructura. Esta altura intermedia demuestra ser adecuada para aprovechar los vientos locales sin incurrir en costos excesivos de instalación, lo que refuerza la viabilidad de proyectos eólicos en la región. Comparado con estudios internacionales, los resultados son competitivos, lo que posiciona a Ocucaje como una zona estratégica para el desarrollo de energía eólica en el Perú.
3. Se concluye que, el aumento de la altura de los aerogeneradores en el distrito de Ocucaje, Ica, conlleva un incremento tanto en la potencia eólica como en la potencia eléctrica generada, debido principalmente a la mayor velocidad del viento a mayores alturas. Esto resulta en una mayor intensidad de corriente para la misma tensión nominal. Por tanto, los resultados sugieren que, para maximizar la producción de energía eléctrica, sería óptimo que los aerogeneradores trabajen a la mayor altura posible, dentro de los límites técnicos y económicos viables para el proyecto.

VI RECOMENDACIONES

1. Se recomienda, seguir estudiando las bondades de la energía eólica en Ocucaje y en toda la zona costera del Perú, considerando la altura de 100 y 110 metros para los aerogeneradores, lo que nos permitirá ver la producción de energía eléctrica. Además, es crucial continuar utilizando modelos predictivos avanzados como el ARIMA para datos de velocidades que están por encima de 80 m/s, para ajustar las operaciones en función de las condiciones meteorológicas locales y mejorar la precisión en la planificación y el monitoreo del recurso eólico. Finalmente, se sugiere realizar estudios complementarios sobre el impacto ambiental y el costo-beneficio de esta tecnología en la región.
2. Se recomienda, realizar estudios continuos sobre las variaciones estacionales del viento y su impacto en la producción energética, con el objetivo de optimizar la operación de los aerogeneradores y asegurar una mayor estabilidad en el suministro eléctrico. También es importante incentivar políticas locales que fomenten la inversión en energías renovables, aprovechando el gran potencial eólico de la región como parte de la transición hacia fuentes de energía limpia y sostenible en el Perú.
3. Se recomienda, que los aerogeneradores a una altura de 90 m o más en el distrito de Ocucaje, Ica, se aprovecharía al máximo el potencial eólico disponible. Además, se sugiere llevar a cabo estudios adicionales para optimizar la configuración de los parques eólicos en Ocucaje, evaluando tanto los costos como los beneficios de aumentar la altura de las torres eólicas.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Administrativa, D. E. L. Agua, and C. Chinchá, “JULIO 2015 Aí ' A FOUO N° ft :''' f *’,” 2015.
- [2] Naciones Unidas, “¿Qué son las energías renovables? | Naciones Unidas,” Naciones Unidas - Acciones por el Clima.
- [3] R. E. Mitma Ramírez, “Análisis de la regulación de energías renovables en el Perú,” *Derecho Soc.*, no. 45, pp. 167–176, 2015.
- [4] MINEM, “Atlas eólico del Perú [Wind Atlas of Peru],” p. 104, 2016.
- [5] Z. Ding, W. Chen, T. Hu, and X. Xu, “Evolutionary double attention-based long short-term memory model for building energy prediction: Case study of a green building,” *Appl. Energy*, vol. 288, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.APENERGY.2021.116660.
- [6] E. R. L. Maldonado, “Evaluación del Potencial Eólico y Propuesta Preliminar para la Instalación de un Parque Aerogenerador en el Área de la Chocolatera – Puntilla de Santa Elena,” ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, 2008.
- [7] M. Artillo, G. Tutor, L. Balam, and M. López, “Estudio del Potencial Eólico y Viabilidad de Parque Eólico en Andalucía,” *Esc. Técnica Super. Ing. SEVILLA*, vol. 1, 2017.
- [8] A. R. R. Pérez, “Evaluación del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en la finca Santa Victoria Lamas 2018,” UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO, 2018.
- [9] N. Moreto, “Estimación del potencial eólico para la producción de energía eléctrica en la Meseta Andina distrito de Frías - Ayabaca,” p. 84, 2020.
- [10] Q. V. J. JESUS, “SIMULACIÓN DE LA DINAMICA DEL VIENTO SUPERFICIAL SOBRE LA COSTA DE ICA UTILIZANDO EL MODELO NUMÉRICO DE LA ATMÓSFERA DE MESOESCALA MM5,” UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, 2011.
- [11] J. F. Manwell, J. G. McGowan, and A. L. Rogers, *Wind Energy Explained*.

- Theory, Design and Application*, Second Edi. Noida, India: Wiley & Sons LTD., 2010. [Online]. Disponible en:
https://ee.tlu.edu.vn/Portals/0/2018/NLG/Sach_Tieng_Anh.pdf.
- [12] IRENA, *World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway*. Masdar, Abu Dabi: International Renewable Energy Agency, 2023. [Online]. Disponible en:
<https://www.irena.org/Publications/2023/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook-2023>.
- [13] R. Tamayo Pereyra, *Potencial de las Energías Renovables en el Perú*. Lima - Perú: Ministerio de Energía y Minas, 2011. [Online]. Disponible en:
http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Publico/SeminarioIntEFERP/Miercoles_5.10.2011/3_Potencial_de_Energias_Renovables_DGE-Roberto_Tamayo.pdf.
- [14] United Nations Industrial Development Organization, *Informe sobre el Desarrollo Industrial 2022- El Futuro de la Industrialización en un Mundo Post-Pandémico*. Viena: ONUDI, 2022. [Online]. Disponible en:
<https://www.unido.org/sites/default/files/unido-publications/2023-03/IDR-2022-OVERVIEW-es.pdf>.
- [15] Real Academia Española, “potencial | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE.”
- [16] Eadic, “El Potencial Eólico.”
- [17] P. H. Rudnick, V. De Wyngard, F. Gentileza, and I. G. Lagos, “Capítulo 4 ENERGÍA EÓLICA”.
- [18] Osinergmin, *Energías Renovables: Experiencia y Perspectivas en la Ruta del Perú Hacia la Transición Energética*. 2019.
- [19] M. y E. A. Instituto de Hidrología, “Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales Promedio de velocidad del viento.”
- [20] SENAMHI, “Estaciones Meteorológicas.”
- [21] NASA Technical Reports Server, “U.S. Standard Atmosphere, 1976.” 1976. doi: 19770009539.
- [22] E. Martines, “DEFINICIONES DE HUMEDAD Y SU EQUIVALENCIA”.
- [23] Gobierno de Navarra, “Meteorología y climatología de Navarra.”

- [24] Beaufort, *National Meteorological Library and Archive Fact sheet 6 — The Beauford Scale*. Londres: National Meteorological Library and Archive, 2010. [Online]. Disponible en: <https://www.metoffice.gov.uk/research/library-and-archive/publications/factsheets>.
- [25] C. Eugenia and T. Torres, “Inteligencia colectiva: enfoque para el análisis de redes,” *Estud. Gerenciales*, vol. 30, no. 132, pp. 259–2666, 2014, doi: 10.1016/j.estger.2014.01.014.
- [26] J. Estupiñán Ricardo, M. Y. Leyva Vázquez, A. J. Peñafiel Palacios, and El Assafiri Ojeda, “Vista de Inteligencia artificial y propiedad intelectual,” *ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND INTELLECTUAL PROPERTY*.
- [27] Ibargüengoytia-González Pablo Héctor, Reyes-Ballesteros Alberto, Borunda-Pacheco Mónica, and García-López Uriel Alejandro, “Predicción de Potencia eólica utilizando técnicas modernas de inteligencia artificial,” *Ing. Investig. y Tecnol.*, vol. XIX, no. 4, pp. 1–11, Oct. 2018, doi: 10.22201/fi.25940732e.2018.19n4.033.
- [28] G. Box, G. Jenkins, G. Reinsel, and G. Ljung, *Time Series Analysis. Forecasting and Control*, Fifth Edit. EEUU: Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. Published, 2016. [Online]. Disponible en: http://repo.darmajaya.ac.id/4781/1/Time%20Series%20Analysis_%20Forecasting%20and%20Control%20%28%20PDFDrive%20%29.pdf.
- [29] R. J. Hyndman and G. Athanasopoulos, *Forecasting : Principles and Practice*, Second edi. Australia: Bachelor of Business degree at Monash University, Australia, 2018. [Online]. Disponible en: <https://robjhyndman.com/uwafiles/fpp-notes.pdf>.
- [30] W. Wei, *Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods.*, Second Edi. EEUU: Universidad de California, 2009. doi: 10.2307/2289741.
- [31] T. Manzano, “¿Qué es la energía eléctrica? Formas y usos de la electricidad.”.
- [32] N. Moreto, “Estimación del Potencial Eólico Para la Producción de Energía Eléctrica en la Meseta Andina distrito de Frías - Ayabaca,” Universidad Católica Sedes Sapientiae, 2020. [Online]. Disponible en: <http://repositorio.ucss.edu.pe/handle/UCSS/799>.

- [33] J. Naranjo, “Determinación del Potencial Eólico Disponible en el Sector de Río Blanco Perteneciente al Cantón Ambato Provincia de Tungurahua,” *Univ. Técnica Ambato Fac. Ing. Civ. Y Mecánica Carrera Ing. Mecánica*, p. 189, 2017.
- [34] Osinergmin, *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. Osinergmin. 2016.
- [35] E. E. Khalil, “The role of solar and other renewable energy sources on the strategic energy planning: Africa’s status & views,” *ASHRAE Trans.*, vol. 118, no. 1, pp. 64–73, Jan. 2012.
- [36] J. Mohtasham, “Review Article-Renewable Energies,” *Energy Procedia*, vol. 74, pp. 1289–1297, Aug. 2015, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2015.07.774.
- [37] S. R. Bull, “Renewable energy today and tomorrow,” *Proc. IEEE*, vol. 89, no. 8, pp. 1216–1226, 2001, doi: 10.1109/5.940290.
- [38] F. J. E. Sierra, “Modelación del Fenómeno Viento Paracas utilizando el Modelo Weather Research and Forecasting (WRF),” *Univ. Nac. Agrar. La Molina*, p. 128, 2015.
- [39] Weather Spark, “El clima en vergel, el tiempo por mes, temperatura promedio - Weather Spark,” Weather Spark.
- [40] A. K. M. G.-V. M. R. A. Khanali, “An assessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran, Tehran,” *Energy*, vol. 35, no. 1, pp. 188–201, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.09.009>.
- [41] M. Ortega-Izquierdo and P. del Río, “An analysis of the socioeconomic and environmental benefits of wind energy deployment in Europe,” *Renew. Energy*, vol. 160, pp. 1067–1080, Nov. 2020, doi: 10.1016/J.RENENE.2020.06.133.
- [42] A. Gordillo Valdez, M. Montoya Granda, and P. A. Salinas Pedemonte, “Análisis del desarrollo y potencial de la energía eólica en el Perú,” *Ing. Ind.*, no. 43, pp. 177–198, 2022, doi: 10.26439/ing.ind2022.n43.6114.
- [43] A. D. Á. S., D. Pérez, and J. J. Cardozo, “Análisis del potencial eólico a través de la función de distribución de Weibull y Rosa de los vientos,” *Lat. Am. Dev. Energy Eng.*, 2022.
- [44] P. Wais, “A review of Weibull functions in wind sector,” *Renewable and*

- Sustainable Energy Reviews*, vol. 70. Elsevier Ltd, pp. 1099–1107, 2017. doi: 10.1016/j.rser.2016.12.014.
- [45] “ESTADÍSTICA INFERENCIAL E INVESTIGACIÓN Nociones básicas ANEXO I ESTIMACIÓN ESTADÍSTICA Editado a los fines de la enseñanza”.
 - [46] M. A. M. Alonso, “INFERENCIA, ESTIMACIÓN Y CONTRASTE DE HIPÓTESIS,” in *ESTADISTICA II*.
 - [47] N. Chavéz, “¿Qué es la energía eólica y cómo funciona? - enel.pe,” *enel*, 2018.
 - [48] ESSA, “¿Qué es la energía eléctrica?,” *Energía*.
 - [49] L. R.-M. Alienta, *INTELIGENCIA ARTIFICIAL 101 COSAS QUE DEBES SABER HOY SOBRE NUESTRO FUTURO INTELIGENCIA ARTIFICIAL*. 2018.
 - [50] Ley N°28832, “Ley N° 28832: Ley Para Asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica,” *Diario Oficial El Peruano*. Congreso de la Republica, Lima - Perú, p. 32, 2006. [Online]. Disponible en: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/PlantillaMarcoLegalBusqueda/Ley N° 28832 - LASE.pdf
 - [51] Ley N°27133, “Ley N°27133 Ley de Promoción del Desarrollo de la Industria del Gas Natural,” *Diario “El Peruano.”* Congreso de la República, Lima - Perú, p. 7, 1999. [Online]. Disponible en: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/PlantillaMarcoLegalBusqueda/Ley-27133.pdf.
 - [52] D. S. N°009-93-EM, “Aprueban el Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas,” *Norma Legal*. Presidente de la Republica, Lima - Perú, p. 161, 1993. [Online]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/normas-legales/727782-009-93-em>.
 - [53] D. S. N°009-2005-TR, “Aprueban Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo,” *Diario Oficial El Peruano*. Diario Oficial El Peruano, Lima - Perú, p. 27, 2005. [Online]. Disponible en: https://oiss.org/wp-content/uploads/2018/11/12-03_Reglamento_de_Seguridad_y_salud_en_el_trabajo_2005-09-29_009-2005-TR_487.pdf.
 - [54] Villaseca Andrea, Champi Nelly, and Pickling Jose, “REGISTRO DE FÓSILES

DEL MUSEO DIDÁCTICO PALEONTOLÓGICO DE OCUCAJE, ICA, PERÚ,” *Biotempo*, pp. 237–243, 2020.

- [55] Weather Spark, “El clima en Ocucaje, el tiempo por mes, temperatura promedio (Perú).”
- [56] ENGIE ENERGÍA PERÚ S.A, “Central Eólica Punta Lomitas (260 MW),” Osinergmin. [Online]. Disponible en: <https://issuu.com/osinergmin/docs/compendio-proyectos-cgenc-epo-aprobados-coes/s/14726358>.
- [57] E. Lara Muñoz, *Fundamentos de Investigación*, 1a Edición. Mexico: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V, 2011.
- [58] J. Supo, *Cómo escribir una tesis: Redacción del informe final de tesis*, Primera Ed. Lima - Perú: BIOESTADISTICO EIRL, 2015.
- [59] S. Fernández Bao, *Diseño de Experimentos: Diseño Factorial. Memorias y Anexos*. España: Universitat Politècnica de Catalunya, 2020.
- [60] REVE, “¿Cuál es la velocidad mínima para una turbina eólica?,” Noticias sobre E. Eólica. [Online]. Disponible en: <https://www.evwind.com/2023/11/02/cual-es-la-velocidad-minima-para-una-turbina-eolica/>.
- [61] H. Hourani, “Time Series : Using ARIMA.” [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=bG9fWvdmt0k&t=34s>.
- [62] ENGIE, “Generación Eléctrica,” Prensa ENGIE. [En línea]. Disponible en: <https://engie-energia.pe/perfil>.
- [63] J. Quiñonez Choquecota, E. Huanca Callata, and A. Holguino Huarza, “Caracterización del Recurso Eólico en la Ciudad de Juliaca,” *Rev. Investig. Altoandinas - J. High Andean Res.*, vol. 21, no. 1, pp. 57–68, 2019, doi: 10.18271/ria.2019.445.
- [64] T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins, and B. Ervin, *Wind Energy HANDBOOK*. England National: JOHN WILEY & SONS, LTD, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781119992714>.
- [65] E. Zárate Toledo and J. Fraga, “La política eólica mexicana: Controversias sociales y ambientales debido a su implantación territorial. Estudios de caso en

Oaxaca y Yucatán.” *Rev. Trace*, no. 69, p. 65, 2016, doi: 10.22134/trace.v0i69.10.

- [66] IRENA, *Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>.
- [67] Y. El khchine and M. Sriti, “Performance evaluation of wind turbines for energy production in Morocco’s coastal regions,” *Results Eng.*, vol. 10, no. August 2020, p. 100215, 2021, doi: 10.1016/j.rineng.2021.100215.
- [68] J. Schallenberg-Rodríguez and N. García Montesdeoca, “Spatial planning to estimate the offshore wind energy potential in coastal regions and islands. Practical case: The Canary Islands,” *Energy*, vol. 143, no. 2018, pp. 91–103, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2017.10.084.
- [69] V. Simankov, P. Buchatskiy, S. Teploukhov, S. Onishchenko, A. Kazak, and P. Chetyrbok, “Review of Estimating and Predicting Models of the Wind Energy Amount Vladimir,” *Energies*, p. 24, 2023, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/en16165926>.