

ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA Y DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO

DESCRIPTIVE STATISTICAL ANALYSIS AND FREQUENCY DISTRIBUTION OF WIND SPEED

Armando Jose De La Hoz Moreno¹

Gonzalo Romero Garcia²

Dora Clemencia Villada Castillo³

Universidad del Atlántico- UFPS

5 1 4

RESUMEN

En el presente estudio, se presenta la implementación de una red neuronal artificial (RNA) para la predicción de irradiación solar en barranquilla. Para lograr esta implementación, se utilizaron datos para entrenamiento de una estación meteorológica ubicada en el centro de la ciudad de Barranquilla. De esta estación se tomaron datos de temperatura, velocidad del tiempo, humedad e irradiación solar. Los datos

fueron tomados del primero de enero al 31 de diciembre del año 2019. Estos datos fueron sometidos a un análisis estadístico descriptivo e inferencial, en el cual se revisaron las medidas son las de tendencia central, las de variabilidad y las distribuciones que se le aplican a los datos obtenidos.

PALABRAS CLAVE

Red Neuronal Artificial, Entrenamiento, Predicción, Irradiación, Análisis de varianza, Análisis estadístico.

ABSTRACT

This study presents the implementation of an artificial neural network (ANN) for the prediction of solar irradiation in Barranquilla. To achieve this implementation, training data from a weather station located in the center of the city

¹ GONZALO ROMERO GARCIA, ing.gonzaloromero@ufps.edu.co, Facultad de Ingeniería, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia <https://orcid.org/0000-0003-0138-4344>

² DORA CLEMENCIA VILLADA CASTILLO, dora.clemenciavc@ufps.edu.co, Facultad de Ingeniería, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia <https://orcid.org/0000-0003-3794-928X>

³ ARMANDO JOSE DE LA HOZ MORENO, ajdelahoz@hotmail.com, Facultad de Ingeniería, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia <https://orcid.org/0000-0002-6564-3344>

of Barranquilla were used. Data on temperature, weather speed, humidity and solar irradiation were taken from this station. The data were taken from January 1 to December 31, 2019. These data were subjected to a descriptive and inferential statistical analysis, in which the measures of central tendency, variability and distributions applied to the data obtained were reviewed.

KEYWORDS:

Artificial Neural Network, Training, Prediction, Irradiance, Analysis of Variance, Statistical Analysis..

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de nuevas alternativas de suministro energético ha aumentado en los últimos años [1], esto debido a diferentes factores como el incremento poblacional [2] y los altos costos de los combustibles fósiles [3]. Una de las alternativas más utilizada como fuente de suministro es la energía solar [4], que de manera general puede ser aprovechada de dos maneras formas después de un proceso de conversión, la primera como energía térmica y la segunda como energía fotovoltaica [5].

Investigaciones han demostrado que la utilización de sistemas híbridos solares con ciclos Rankine Orgánicos (ORC) y turbinas de tronillo de Arquímedes (AST) es una buena alternativa para la aumentar y optimizar la generación de energía mediante el ORC [6]. Del mismo modo, para una planta de energía solar térmica acoplada a un sistema ORC y a un almacenamiento térmico, en la cual se desarrolló un modelo de orden reducido adicionado a la técnica de entalpía utilizado para analizar la transferencia de calor en carga y descarga del sistema. Los resultados de este modelo demostraron generar 200kW después de la puesta de sol [7].

De igual forma, la energía solar se ha utilizado en combinación a otros tipos de energía alternativa como la energía geotérmica, logrando acoplar estas dos fuentes a ciclos Rankine orgánicos consiguiendo incrementos en la eficiencia exergética del sistema de un 29,9% y un ahorro en el costo unitario de la generación de aproximadamente 129 dólares [8]. Estas mejoras en la eficiencia del sistema no solo significan ahorros económicos en el proceso de generación energética, sino que, además, impactan de manera positiva el medio ambiente. Esto se logra observar en un análisis termo-económico y ambiental de un sistema de trigeneración. En el cual, con un campo solar de 83,6 hectáreas y una planta de tres generaciones de 130 MW, al cual se le integro un reflector Frensel lineal (LFR), se logró una reducción de 96,6 kTon de CO₂ de emisiones [9].

La principal contribución de este artículo es presentar los resultados de análisis estadístico descriptivo y distribución de frecuencia de velocidad del viento en un punto geográfico de gran interés en la costa caribe colombiana para efectos de evaluación y aprovechamiento del potencial eólico.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En la presente sección se describen los pasos metodológicos usados para lograr el presente estudio.

2.1 HERRAMIENTAS DE ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Estas herramientas son fundamentales debido a que permiten adquirir información de gran relevancia al analizar y describir la información referente a las variables meteorológicas utilizadas en este trabajo. De igual forma, ayuda en la agrupación de los datos en clase, las cuales, permiten realizar histogramas de frecuencia de frecuencia en los cuales se pueden observar

patrones presentes en los datos analizados. Para obtener información de un grupo de datos es posible utilizar dos métodos de medidas numéricas, mediante los cuales se pueden mostrar algunas propiedades importantes, estas medidas son las de tendencia central y las de variabilidad.

Para realizar un buen análisis estadístico, es fundamenta reconocer el tipo de variables que se está por analizar. Existen dos tipos principales de variables, las variables cuantitativas y las variables cualitativas [10]. Las variables cuantitativas se caracterizan por representar distintas modalidades denominadas atributos o categorías como lo son el “sí” y el “no”, o pueden ser politómicas y adquirir 3 o más valores, como por ejemplo los colores. Por otro lado, las variables cuantitativas toman como argumento valores numéricos y se dividen en variables discretas y continuas [11]. Las variables discretas no cuentan con valores intermedios, un ejemplo de esta es la cantidad de hijos de una familia. En el caso de las variables discretas, pueden adquirir n valores dentro de un intervalo especificado. Un ejemplo de variables discretas puede ser la masa de un cuerpo o la altura de un objeto [12].

2.2 . MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

Mediante este método estadístico se obtiene una medida cuantitativa sobre la ubicación del centro del conjunto de datos [13]. La obtención se puede realizar mediante tres medidas, la media, la moda y la mediana. La media es el promedio aritmético y se calcula mediante la ecuación 1.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

Una propiedad de la media que identifica a la media es que la sumatoria de las desviaciones de los datos con respecto a la media es cero [14]. Esta propiedad es descrita por la ecuación 2.

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = 0 \quad (2)$$

La media, como medida de tendencia central, puede ser afectada por la existencia de valores extremos, lo cual es una desventaja [15] simply, unimodality. An analysis is made in this paper of three of the most frequently used methods in the estimation of the five parameters of the WW-pdf and the numerical methods employed are described. Hourly mean wind speed data recorded at four weather stations located in the island of Gran Canaria (Spain. Por otro lado, la moda es el dato más repetido. En ocasiones esta medida puede que sea única o que no exista, por lo cual, su utilidad es limitada [16]. Finalmente, la mediana se define como el valor medio de los datos ordenados de manera ascendente, incluyendo los valores repetidos. Una ventaja de esta medida frente a la media es que su resultado no se afecta por valores extremos, además de hacer énfasis en el centro real del conjunto de datos [17]. Para un conjunto de datos impar, esta medida de tendencia central es calculada mediante la ecuación 3.

$$\text{Mediana} = x_{\frac{n+1}{2}} \quad (3)$$

Para los casos en que el número de datos sometidos al análisis es impar, la mediana será el valor central del conjunto de datos ordenados. En caso contrario, si la cantidad de datos analizados es par, la mediana es calculada mediante la ecuación 4.

$$\text{Mediana} = x_{n/2} + x_{(\frac{n}{2})+1} \quad (4)$$

En este caso, la mediana será el valor promedio de los dos datos centrales del conjunto de datos analizados, organizados de menor a mayor. Este cálculo de la mediana para datos agrupados se realiza mediante la ecuación 5.

$$\text{Mediana} = L + c \left(\frac{j}{f_m} \right) \quad (5)$$

Donde f_m es la frecuencia de la clase, j es el número de observaciones de la clase para alcanzar $n/2$, L es el límite inferior de la clase y c es la longitud de la clase.

2.3 .MEDIDAS DE VARIABILIDAD

Para lograr analizar estadísticamente de manera efectiva un conjunto de datos, se debe tener en cuenta la variabilidad, la cual es un fenómeno natural en todo proceso. Las medidas de variabilidad se dividen en cuatro. Una es el rango o recorrido, que se mide como la diferencia entre los dos valores extremos del conjunto de datos [14]. La segunda es la desviación estándar, la cual se entiende como una medida de la desviación de cada uno de los valores de la muestra con respecto a la media. Esta es de valor positivo cuando su valor es mayor que la media y negativo cuando es menor [18]. Para los casos de magnitudes pequeñas para la variación, se puede precisar que hay poca variación, porque los datos están muy cerca a la media [17]. El cálculo de la variación estándar se puede realizar mediante la ecuación 6.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (6)$$

Si tomamos la variación estándar y la elevamos al cuadrado obtendremos la varianza de la muestra analizada, la cual es descrita en la ecuación 7.

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1) \quad (7)$$

Otra forma de obtener la variabilidad de un conjunto de datos es la desviación media, esta es más compleja de conseguir de forma teórica, pero es más real que la desviación estándar. En la ecuación 8 se presenta la forma de calcularla para datos no agrupados [19].

$$D.M. = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (8)$$

Esta medida de variabilidad es menos sensible a los datos extremos, lo que se convierte en una ventaja frente las otras medidas de variabilidad.

2.4 . HERRAMIENTAS DE ESTADISTICA INFERENCIAL

La estadística inferencial es una herramienta utilizada para analizar las variables caracterizadas como aleatorias continuas y con una distribución de probabilidad asociada. Las distribuciones de probabilidad es una función que se encarga de asignar sobre un grupo de variables la probabilidad de que un evento suceda en un futuro, lo que la convierte en una herramienta de gran valor, debido a que permite predecir de acontecimientos futuros, con base a las tendencias actuales [20]. Los datos meteorológicos como lo son la velocidad del viento, la temperatura y la humedad relativa son variables que encajan en esta descripción. Lo cual, permite aplicar sobre estas variables modelos para lograr predecir el comportamiento durante un periodo de tiempo específico. Las distribuciones de probabilidad comúnmente usadas para este tipo de variables aleatorias continuas son la Normal o Gaussiana, Rayleigh, Gamma y Weibull [21].

2.5 DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD GAMMA

Este modelo estadístico es utilizado para realizar ajustes a la distribución de variables aleatorias continuas como la velocidad del viento. Una de sus características es la asimetría en su representación gráfica, la cual se muestra como un sesgo hacia la derecha [22]. Este modelo estadístico está dado por la ecuación 9.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad \text{para } \alpha > 0 \quad (9)$$

La función de densidad de probabilidad aplicada a la distribución Gamma está dada por la ecuación 10.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, & x > 0 \\ 0 & \end{cases} \quad (10)$$

En donde α es un parámetro de forma y β un parámetro de escala. Para los casos en que $\alpha, \beta > 0$, se tiene que $E(X)=\alpha\theta$ y $Var(X)=\alpha\theta^2$. Esta distribución de probabilidad es presentada gráficamente en la Figura 1. En ella se puede

observar el efecto de los parámetros de escala y de forma sobre la configuración de la distribución. Es de destacar, que el aumento en el valor de parámetro β genera un aplastamiento de la distribución de probabilidad.

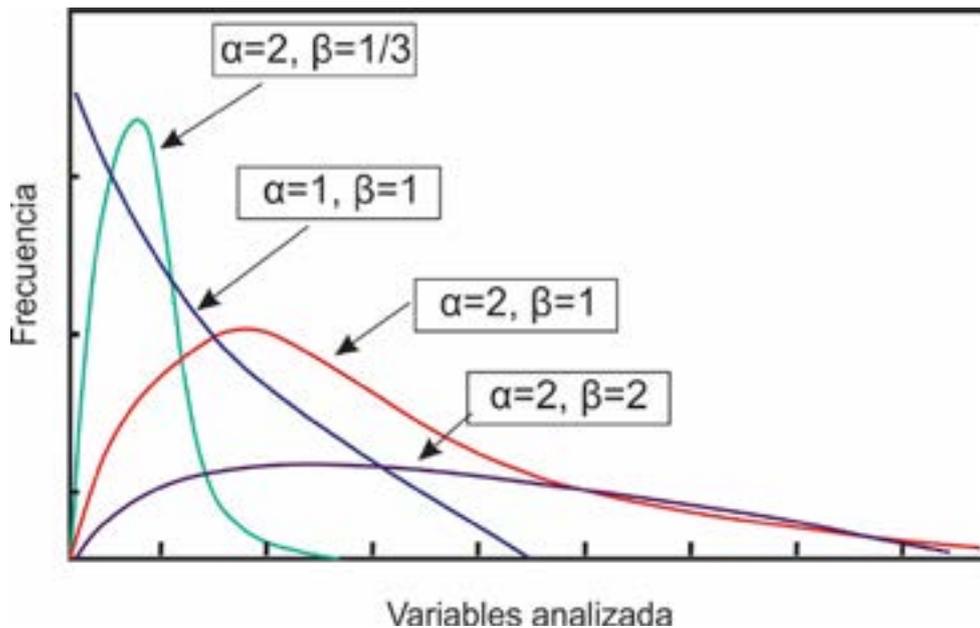


Figura 1. Distribución de probabilidad Gamma

2.6 . DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD WEIBULL

Esta distribución de probabilidad es ampliamente aplicada a fenómenos meteorológicos y es influenciada por los parámetros de forma y

escalas, cuales son representados por (k o α) y (c, θ o β) respectivamente. El parámetro de forma puede variar entre 1 y 3.6. Esta distribución de probabilidad es calculada mediante la ecuación 11 [23].

$$f(x; \alpha, \theta) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\theta^\alpha} x^{\alpha-1} \exp[-(x/\theta)^\alpha] & x, \alpha, \theta > 0 \\ 0 & \end{cases} \quad (11)$$

Esta distribución de probabilidad se puede observar en la Figura 2. En ella se puede observar el efecto de los parámetros de forma y escala sobre la configuración de la distribución. Es de destacar, que el aumento en el valor de parámetro α genera un aplastamiento de la distribución de probabilidad.

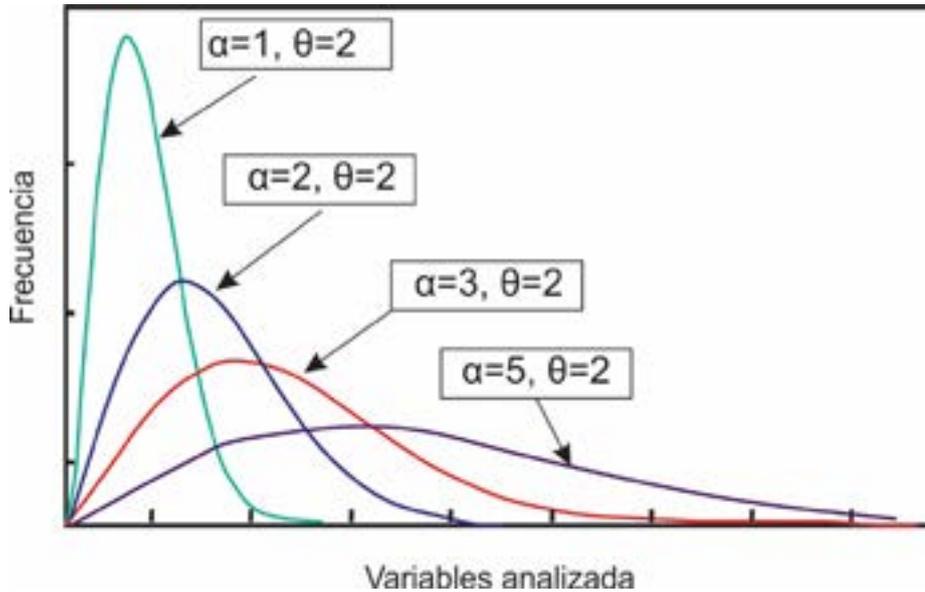


Figura 2. Distribución de probabilidad Weibull

2.7 . DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD RAYLEIGH

Al igual que la distribución de probabilidad Weibull, la distribución Rayleigh cuenta con un parámetro de forma α y un parámetro de escala θ , en el caso que el parámetro de forma tome un valor de 2 y el parámetro de escala alcance

un valor de $\sqrt{2}$, se utiliza la ecuación 12 para calcular la densidad de probabilidad [24].

$$f(x; \sigma^2) = \frac{x}{\sigma^2} \exp(-x^2/2 \sigma^2) \quad (12)$$

En la figura 3 se presenta una ilustración del comportamiento de la distribución al variar el valor de σ . En la figura se observa cómo, al aumentar el valor de esta variable, se aplanan las curvas de la distribución de probabilidad [25].

5 1 9

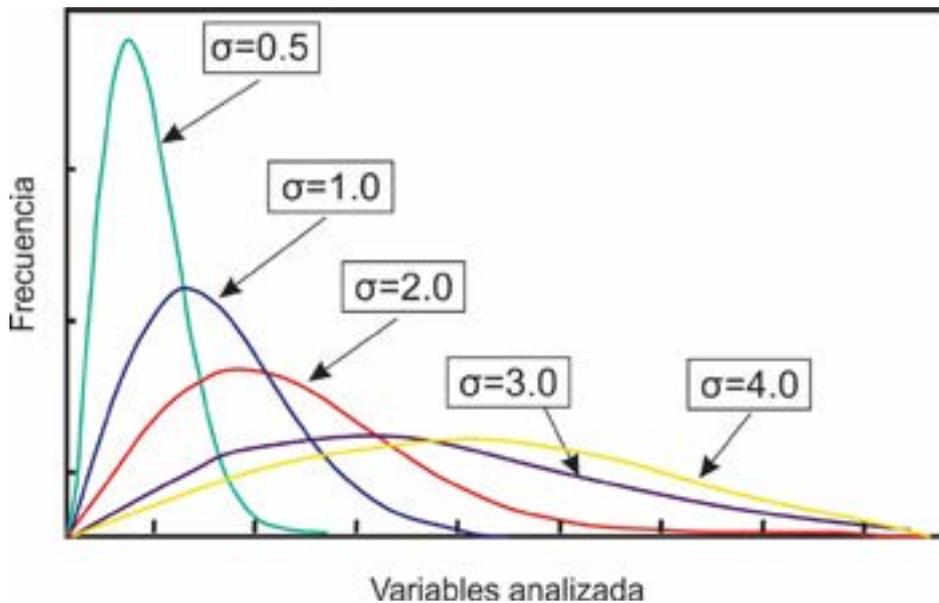


Figura 3. Distribución de probabilidad Rayleigh

2.8 .DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD GAUSSIANA

La distribución Gaussiana o normal, es la distribución de probabilidad más común en la naturaleza. Esto se debe a que innumerables conjuntos de datos buscan esta forma conforme aumenta el tamaño de la muestra, lo cual implica ser de la más aplicada y por consiguiente es una distribución de gran relevancia [26] which absolute errors are small; however their large relative errors make them unsuitable to compute structural failure probabilities or to compute the menace curves of natural hazards. In this work new mathematical functions are proposed to compute Normal probabilities and their

inverses in an easy and accurate way. These functions are valid over a wide range of random variable and are useful in applications where computational speed and efficiency are required. In addition, these functions have the advantage that the numerical correspondence between the random value $X = x$ and its Normal probability $\Phi (-x$. Esto conlleva a que gran cantidad de fenómenos físicos se ajusten de gran manera a esta distribución, que es descrita mediante la ecuación 13.

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (14)$$

Teniendo en cuenta que:

$$-\infty < x < \infty; \quad -\infty < \mu < \infty; \quad \sigma > 0$$

Esta distribución es presentada en la Figura 4, en donde se resalta el valor promedio y la varianza, lo que permite tener una mejor comprensión de esta distribución [27].

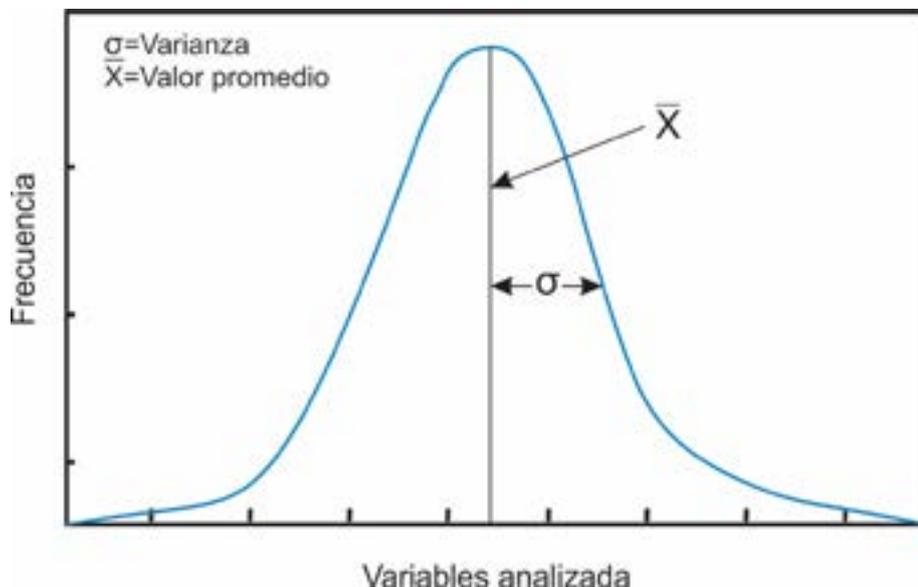


Figura 4. Distribución de probabilidad Gaussiana o normal

3. RESULTADOS

3.1 . ANALISIS ESTADISTICO

La metodología de predicción de irradiación solar mediante RNA fue aplicado en la ciudad de Barranquilla, capital del departamento del Atlántico, ubicado en la región caribe

colombiana. En la Figura 5 se ilustra de manera gráfica la ubicación de la ciudad foco del estudio. Los datos meteorológicos utilizados fueron adquiridos en una estación ubicada en el centro de la ciudad (11.01 °N, 74.80 °W), y a una altura de 24 metros.

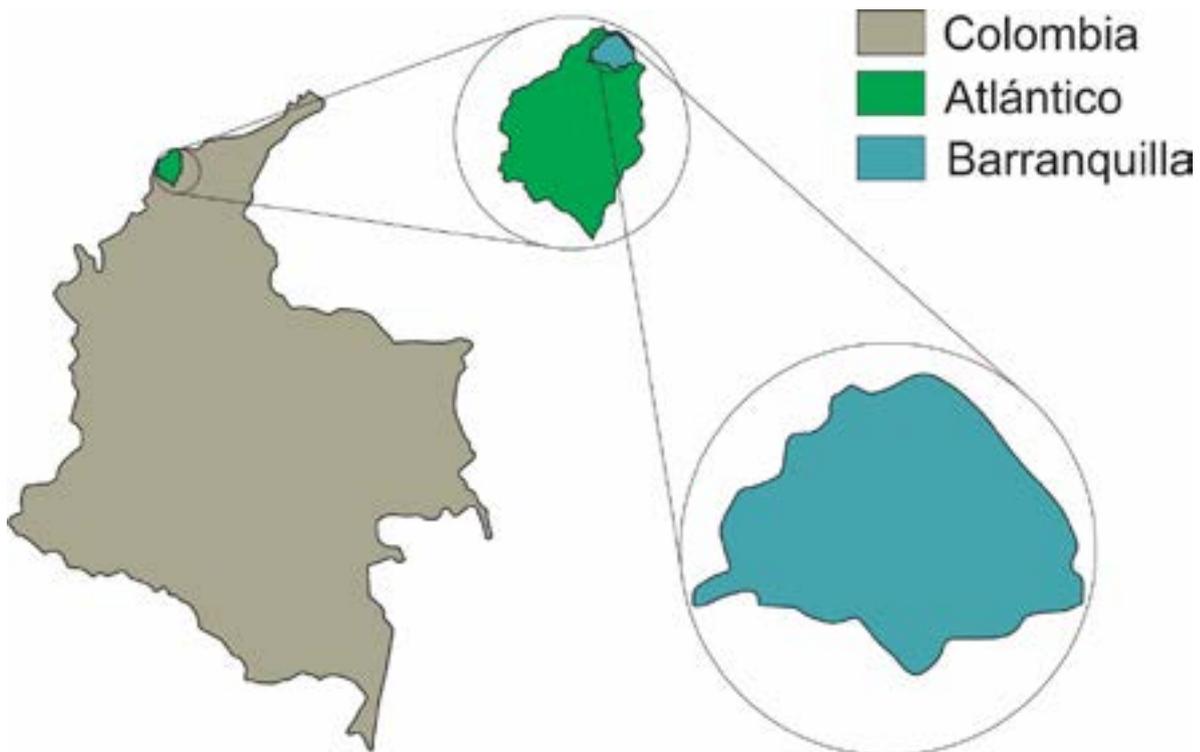


Figura 5. Ubicación geográfica de la estación meteorológica

La estación meteorológica cuenta con barómetro para la medición de presión, cálculo del punto de rocío, medición de humedad, humedad del suelo, tasa de lluvia, precipitación, irradiación solar, temperatura, velocidad del viento, entre

otras variables. En la Tabla 1 se presenta la información técnica de los sensores utilizados para la obtención de los datos utilizados en este trabajo.

Tabla 1. Información técnica de los sensores utilizados

Sensor	Rango	Precisión	Intervalo de medición
Temperatura	+0°C a +60°C	0.3 °C	1 minuto
Humedad	1% a 100%	2%	1 minuto
Velocidad del viento	0 m/s a 89m/s	0.9 m/s	1 minuto
Irradiación solar	0 W/m ² a 1800 W/m ²	5%	1 minuto

Los datos fueron tomados del primero de enero de 2019 hasta diciembre de este mismo año, con una frecuencia horaria. A partir de estos datos, se realizaron graficas de tendencia mensual para los datos de temperatura, velocidad de viento, humedad e irradiación solar, las cuales son presentadas en la Figura 6.

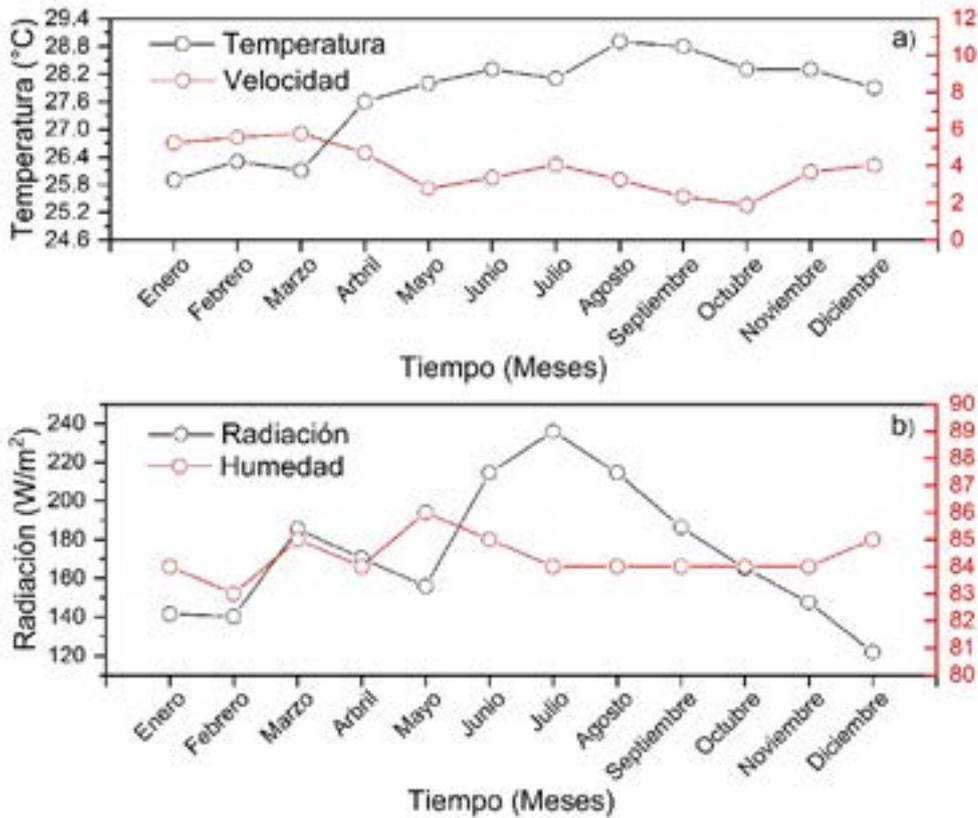


Figura 6. Tendencia mensual de las variables meteorológicas

En esta figura se observa que el valor promedio más alto de temperatura se presentó en el mes de agosto. En este mismo mes, se presenta el segundo valor más alto de irradiación solar. En cuanto a la velocidad del viento, el valor más alto se presentó en el mes de marzo, junto al segundo valor más alto de humedad. Teniendo en cuenta estos picos, se presentará el análisis estadístico descriptivo e inferencial de los datos horarios para esto dos meses.

3.2 . ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO Y DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA

Se tomaron los meses de febrero y agosto para el análisis estadístico de los datos de temperatura (variable 1), velocidad de viento (variables 2), irradiación solar (variable 3) y humedad (variable 4). Para los cuales se presenta un resumen estadístico para los datos mencionados, en los cuales se incluye medidas de tendencia central, así como medidas de variabilidad y de forma. Toda esta información del análisis realizado es presentada en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis estadístico de las variables estudiadas para el mes de agosto

Medida	Variable 1	Variable 2	Variable 3	Variable 4
Recuento	2860	2663	1474	2860
Promedio	28.86 °C	3.49 m/s	416.04 W/m ²	84.18 %
Desviación Estándar	1.63 °C	1.91 m/s	309.49 W/m ²	5.72 %
Coefficiente de Variación	5.67%	54.89%	74.39%	6.80%
Mínimo	24.38 °C	0.44 m/s	5 W/m ²	64 %
Máximo	33.55 °C	12.01 m/s	1241 W/m ²	93 %
Rango	9.16 °C	11.57 m/s	1236 W/m ²	29 %
Sesgo Estandarizado	7.59	12.23	5.03	-14.50
Curtosis estandarizada	-0.75	1.79	-10.19	-5.16

Para la irradiación solar se presenta solo 1474 datos analizados, frente a los 2860 datos presentados para la temperatura y humedad, y los 2663 datos para la velocidad del viento. Esto se debe a que los

datos de irradiación cero obtenidos durante la noche no fueron tenidos en cuenta en el análisis estadístico. Por otro lado, se observa que la temperatura en este mes se movió entre un valor mínimo de 24.38°C y un máximo de 33.55°C, con una desviación estándar de 1.63. Del mismo modo, se observa que, para la irradiación solar, el valor se movió entre 5 W/m² y 1241 W/m², con una desviación estándar de 309.49 W/m². Este amplio rango de valores se debe a los momentos de nubosidad presentados durante el día, causando una baja recepción de irradiación por los sensores.

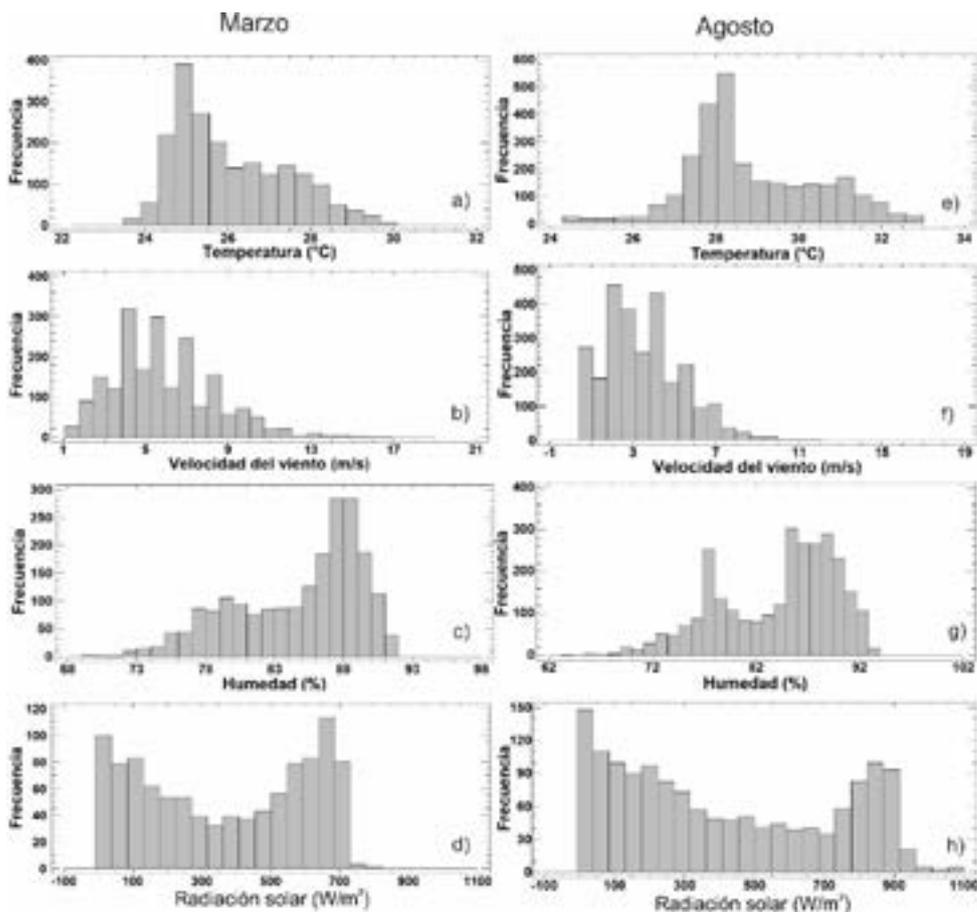
En cuanto al mes de marzo, el comportamiento estadístico de los datos presentado en la Tabla 3. Esta tabla muestra que el rango en el cual se osciló la velocidad del viento en este mes fue entre 0.44 m/s como valor mínimo, y 16.46 m/s como valor máximo. Para esta variable, se obtuvo una desviación estándar de 2.46 m/s, y un coeficiente de varianza de 42.68%. Para esta variable, el valor del sesgo estandarizado no está ubicado dentro del rango habitual para datos de una distribución normal. Así mismo, el valor de la curtosis estandarizada tampoco se ubica dentro del rango habitual para una distribución normal.

5 2 3

Tabla 3. Análisis estadístico de las variables estudiadas para el mes de marzo

Medida	Variable 1	Variable 2	Variable 3	Variable 4
Recuento	2059	2056	1035	2059
Promedio	26.07 °C	5.77 m/s	368.92 W/m ²	85.29 %
Desviación Estándar	1.35 °C	2.46 m/s	241.81 W/m ²	4.57 %
Coefficiente de Variación	5.21%	42.68%	65.54%	5.36%
Mínimo	23.66 °C	0.44 m/s	5 W/m ²	70 %
Máximo	30.00 °C	16.46 m/s	793 W/m ²	92 %
Rango	6.33 °C	16.23 m/s	788 W/m ²	22 %
Sesgo Estandarizado	11.76	11.89	-0.82	-13.22
Curtosis estandarizada	-5.28	6.40	-9.97	-4.65

Además del análisis de tendencia central y de varianza, es importante destacar la frecuencia de los datos analizados. Para esto se utilizaron los histogramas de frecuencia los cuales se presentan en la Figura 7, y se aplicaron a los valores obtenidos en el mes de marzo y agosto para la temperatura, velocidad del viento y humedad.



5 2 4

Figura 7. Histograma de frecuencia a-e) Temperatura, b-f) Velocidad del viento, c-g) Humedad, d-h) Irradiación solar

3.3 . DISTRIBUCIÓN AJUSTADA

Un factor importante para determinar el potencial de generación de una ubicación geográfica es su distribución de probabilidad. Esto toma mayor importancia en los que casos que, a pesar de que dos lugares geográficos diferentes cuenten con promedios de velocidad del viento, irradiación solar y temperatura iguales, diferencias en las distribuciones de frecuencia desencadena en un

recurso energético sustancialmente diferente. Estas diferencias hacen que, el conocer la distribución de frecuencia que más se ajuste a los datos analizados permita predecir de manera más precisa el comportamiento futuro de estos. Por esta razón, se presentan cuatro distribuciones de frecuencia sobre los histogramas de temperatura, velocidad de viento y humedad. Las cuatro distribuciones utilizadas fueron la Gamma, Normal, Rayleigh y Weibull,

y fueron aplicadas en los meses de marzo y de agosto. Los parámetros estimados de las distribuciones ajustadas son presentados en la Tabla 6, en ella se observa los valores tanto para marzo como para agosto.

Periodo	Variable	Gamma		Normal		Rayleigh		Weibull	
Marzo	Temperatura	Forma	375.34	Media	26,07	Escala	2.81	Forma	18.60
		Escala	14.39	Desv. Estándar	1.35	Umbral inferior	23.61	Escala	26.74
	Velocidad del viento	Forma	4.96	Media	5.77	Escala	5.90	Forma	2.48
		Escala	0.85	Desv. Estándar	2.46	Umbral inferior	0.41	Escala	6.51
	Humedad	Forma	337.94	Media	85.29	Escala	15.98	Forma	24.58
		Escala	3.96	Desv. Estándar	4.57	Umbral inferior	69.97	Escala	87.32
Agosto	Temperatura	Forma	313.51	Media	28.86	Escala	4.77	Forma	17.57
		Escala	10.86	Desv. Estándar	1.63	Umbral inferior	24.38	Escala	29.65
	Velocidad del viento	Forma	2.80	Media	3.49	Escala	4.02	Forma	1.89
		Escala	0.80	Desv. Estándar	1.91	Umbral inferior	-0.04	Escala	3.93
	Humedad	Forma	208.64	Media	84.18	Escala	21.00	Forma	19.04
		Escala	2.47	Desv. Estándar	5.72	Umbral inferior	63.98	Escala	86.71

El ajuste de estas distribuciones puede ser evaluado de visualmente, observando que tan bien se adapta las distribuciones a los histogramas de frecuencia de las variables analizadas. En la Figura 8 se observan los histogramas de frecuencia, junto a las 4 distribuciones propuestas, para los meses de marzo y agosto.

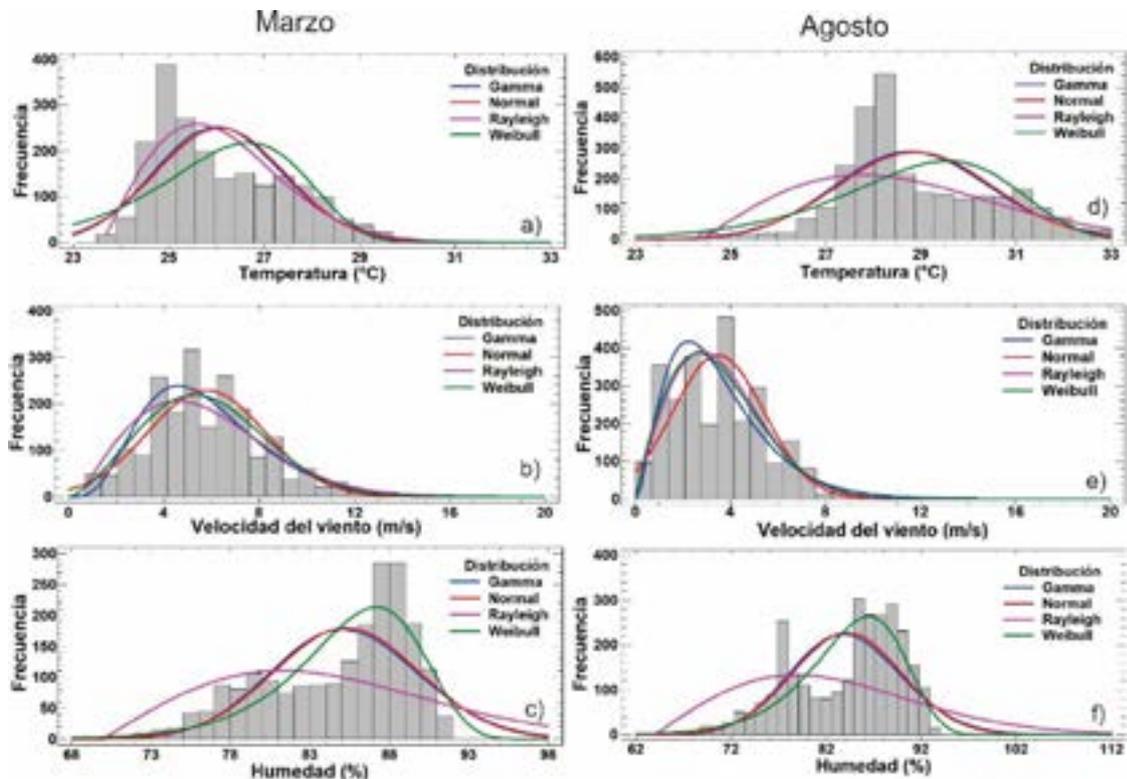


Figura 8. Distribuciones ajustadas para a-d) Temperatura, b-e) Velocidad del viento, c-f) Humedad

4. CONCLUSIONES

Para lograr obtener unos resultados tendenciales de la velocidad del viento y disponibilidad de energía eólica disponible en la ciudad de barranquilla, Colombia, en este trabajo se ha realizado un análisis descriptivo de la velocidad del viento y el cálculo de unas distribuciones de frecuencia con sus parámetros, que en conjunto permiten modelar el comportamiento del viento en cuanto a su velocidad en esta zona de alto potencial en el país.

El uso de las distribuciones de frecuencia en este documento permiten realizar buenas estimaciones de la densidad de potencia de energía eólica en esta zona del país, lo cual posibilita el cálculo de parques eólicos y dimensionamiento de sistemas de generación de energía eólica mediante las distintas tecnologías de turbinas eólicas.

En esta zona del país y considerando el comportamiento del viento en la costa atlántica, la distribución de probabilidad de Weibull presenta muy buen ajuste, seguido de la distribución normal y Gamma. Estas son las tres distribuciones de frecuencia que mejor replican los histogramas de velocidad de viento medidos, y son las que presentan un menor error comparado con los respectivos datos experimentales.

Debido a la gran variabilidad mensual de la velocidad del viento, los resultados muestran que una sola distribución no es la que mejor se ajusta para todos los meses del año. Así, se hace necesario determinar la dirección del viento predominante mensual, y desarrollar los estudios para dicha orientación. Por lo tanto, se sugiere que para los próximos estudios se realice un análisis de estadística descriptiva de la velocidad del viento, además se incorpore a estos estudios un análisis de rosas de viento que

permitan determinar la dirección predominante y así estudiar las diferentes funciones de probabilidad.

5. REFERENCIAS

- [1] P. Poltronieri, "Alternative Energies and Fossil Fuels in the Bioeconomy Era: What is Needed in the Next Five Years for Real Change," *Challenges*, vol. 7, no. 1, p. 11, 2016.
- [2] J. P. Holdren, "Population and the energy problem," *Popul. Environ.*, vol. 12, no. 3, pp. 231–255, 1991.
- [3] S. ". Chatrchyan and V. ". Khachatryan, "Renaissance of gasification based on cutting edge technologies. The ideal economical solution for refinery upgrades and a unique alternative for power utilities to avoid the high costs of fossil fuels and decrease emissions," *Sirunyan Yerevan*.
- [4] F. Dinçer, "The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 1, pp. 713–720, 2011.
- [5] E. Solar, "Energía solar fotovoltaica." 2019.
- [6] K. Shahverdi *et al.*, "Energy harvesting using solar ORC system and Archimedes Screw Turbine (AST) combination with different refrigerant working fluids," *Energy Convers. Manag.*, vol. 187, pp. 205–220, 2019.
- [7] S. Lakhani, A. Raul, and S. K. Saha, "Dynamic modelling of ORC-based solar thermal power plant integrated with multitube shell and tube latent heat thermal storage system," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 123, pp. 458–470, 2017.
- [8] S. M. Alirahmi, S. Rahmani Dabbagh, P. Ahmadi, and S. Wongwises, "Multi-objective design optimization of a multi-generation energy system based on geothermal and solar energy," *Energy Convers. Manag.*, vol. 205, p. 112426, 2020.
- [9] Y. N. Dabwan, G. Pei, G. Gao, J. Feng, and J. Li, "A novel integrated solar tri-generation system for cooling, freshwater and electricity production purpose: Energy, economic and environmental performance analysis," *Sol. Energy*, vol. 198, pp. 139–150, 2020.
- [10] T. W. Anderson, "An introduction to multivariate statistical analysis," Wiley New York, 1962.
- [11] C. E. Heckler, "Applied multivariate statistical analysis." Taylor & Francis, 2005.
- [12] J. M. Parra, "Estadística descriptiva e inferencial I," *Recuper. http://www.Acad. edu/download/35987432/ESTADISTICA_DESCRPTIVA_E_INFERENCIAL. pdf*, 1995.
- [13] R. C. Sprinthall and S. T. Fisk, *Basic statistical analysis*. Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ, 1990.
- [14] W. J. Dixon and F. J. Massey Jr, "Introduction to statistical analysis.," 1951.
- [15] J. A. Carta and P. Ramírez, "Analysis of two-component mixture Weibull statistics for estimation of wind speed distributions," *Renew. Energy*, vol. 32, no. 3, pp. 518–531, Mar. 2007.
- [16] J. Aitchison, "The statistical analysis of compositional data," *J. R. Stat. Soc. Ser. B*, vol. 44, no. 2, pp. 139–160, 1982.

- [17] J. A. Rice, *Mathematical statistics and data analysis*. Cengage Learning, 2006.
- [18] M. Parimal, *Multivariate statistical analysis*. World Scientific Publishing Company, 2008.
- [19] J. L. Myers, A. Well, and R. F. Lorch, *Research design and statistical analysis*. Routledge, 2010.
- [20] H. L. Solano and C. R. Álvarez, *Estadística descriptiva y distribuciones de probabilidad*. Universidad del Norte, 2005.
- [21] H. Von Storch and F. W. Zwiers, *Statistical analysis in climate research*. Cambridge university press, 2001.
- [22] F. J. Kelly, K. McNeil, and I. Newman, "Suggested inferential statistical models for research in behavior modification," *J. Exp. Educ.*, vol. 41, no. 4, pp. 54–63, 1973.
- [23] G. Calot and F. J. C. Sevilla, *Curso de estadística descriptiva*, no. 310/C16cE. Paraninfo, 1982.
- [24] H. Bidaoui, I. El Abbassi, A. El Bouardi, and A. Darcherif, "Wind Speed Data Analysis Using Weibull and Rayleigh Distribution Functions, Case Study: Five Cities Northern Morocco," *Procedia Manuf.*, vol. 32, pp. 786–793, Jan. 2019.
- [25] M. R. Spiegel, J. J. Schieller, and R. A. Srinivasan, *Probabilidad y estadística*. MacGraw-Hill, 1992.
- [26] A.-L. J. Luis, "An Approximation to the Probability Normal Distribution and its Inverse," *Ing. Investig. y Tecnol.*, vol. 16, no. 4, pp. 605–611, Oct. 2015.
- [27] Á. A. Juan, M. Sedano, and A. Vila, "La distribución normal," *Univ. abierta Cataluña*, 2006.