

# Polynomial model to estimate global solar radiation based on extreme temperatures for the city of Puno

Ciro William Taipe Huaman<sup>1</sup>, Eva Genoveva Mendoza Mamani<sup>2</sup>, Julio Rumualdo Gallegos Ramos<sup>1</sup>, Hugo Hernan Flores Laime<sup>3</sup>, Vitaliano Enriquez Mamani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Juliaca, Perú, c.taipe@unaj.edu.pe, jgallegos@unaj.edu.pe, v.enriquezm@unaj.edu.pe

<sup>2</sup>Universidad Nacional del Altiplano, Perú, emendoza@unap.edu.pe

<sup>3</sup>Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba, Perú, hugo.flores@uniq.edu.pe

*Abstract– The research aimed to identify a polynomial model of a lower degree to estimate the global solar radiation for the city of Puno based on the difference in extreme temperatures, for which it is considered data measured by the DAVIS meteorology station of the National University of the Altiplano of the year 2018 and the Python PolynomialFeatures instance. The adjustment of polynomial from degree 1 to 16 is carried out by calculating their respective correlation coefficients and mean error between the data measured and estimated by the polynomials where it was obtained that the polynomials greater than degree 8 present a lower growth, in this way it is established that the lowest degree polynomial to estimate solar radiation is degree 8, whose correlation coefficient is 0.7326, which does not allow daily global solar radiation values with a reliability of 73%. Concluding that it was possible to identify the lowest degree polynomial to estimate the global solar radiation which is degree 8.*

*Keywords: Extreme temperatures, polynomial models, global solar radiation, Python*

**Digital Object Identifier (DOI):**

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.457>

**ISBN:** 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

# Modelo polinomial para estimar la radiación solar global basados en las temperaturas extremas para la ciudad de Puno

Ciro William Taipe Huaman<sup>1</sup>, Eva Genoveva Mendoza Mamani<sup>2</sup>, Julio Rumualdo Gallegos Ramos<sup>1</sup>, Hugo Hernan Flores Laime<sup>3</sup>, Vitaliano Enriquez Mamani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Juliaca, Perú, c.taipe@unaj.edu.pe, jgallegos@unaj.edu.pe, v.enriquezm@unaj.edu.pe

<sup>2</sup>Universidad Nacional del Altiplano, Perú, emendoza@unap.edu.pe

<sup>3</sup>Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba, Perú, hugo.flores@uniq.edu.pe

*Abstract– The research aimed to identify a polynomial model of a lower degree to estimate the global solar radiation for the city of Puno based on the difference in extreme temperatures, for which it is considered data measured by the DAVIS meteorology station of the National University of the Altiplano of the year 2018 and the Python PolynomialFeatures instance. The adjustment of polynomial from degree 1 to 16 is carried out by calculating their respective correlation coefficients and mean error between the data measured and estimated by the polynomials where it was obtained that the polynomials greater than degree 8 present a lower growth, in this way it is established that the lowest degree polynomial to estimate solar radiation is degree 8, whose correlation coefficient is 0.7326, which does not allow daily global solar radiation values with a reliability of 73%. Concluding that it was possible to identify the lowest degree polynomial to estimate the global solar radiation which is degree 8.*

**Keywords:** Extreme temperatures, polynomial models, global solar radiation, Python

**Resumen-La investigación tuvo objetivo de identificar un modelo polinomial de menor grado para estimar la radiación solar global para la ciudad de Puno en función a la diferencia de temperaturas extremas, para lo cual se ha considerado datos medidos por la estación meteorología DAVIS de la Universidad Nacional del Altiplano del año 2018 y la instancia PolynomialFeatures de Python. Sea realizado el ajuste de polinomio de grado 1 a 16 calculando su respectivos coeficientes de correlación y error media entre los datos medidos y estimados por los polinomios donde se obtuvo que los polinomios mayores de grado 8 presentan un menor crecimiento, de esta forma se establece que el polinomio de menor grado para estimar la radiación solar es de grado 8, cuyo coeficiente de correlación es de 0.7326 lo cual no permite valores de radiación solar global diarios con una confiabilidad del 73%. Concluyendo que fue posible identificar el polinomio de menor grado para estimar la radiación solar global el cual es de grado 8.**

**Palabras clave:** Temperatura extremas, modelos polinomial, radiación solar global, Python

## I. INTRODUCCIÓN

El consumo de energía está aumentando rápidamente debido al rápido desarrollo tecnológico. Para satisfacer la demanda de energía al ritmo actual, los combustibles fósiles por sí solos no pueden ser fiables debido a sus limitadas

reservas y al impacto perjudicial que tienen en el medio ambiente [1].

Los datos de las mediciones detalladas de la radiación solar son de importancia para muchas aplicaciones relacionados con hidrología, meteorología, agricultura y energías renovables [2], [3]. Se puede implementar instrumentos adecuada que pueda medir con precisión la radiación solar, ésta no está presente en muchos lugares del Perú y en especial en la ciudad de Puno.

La radiación solar es una densidad de potencia instantánea medida en unidades de kW/m<sup>2</sup>. Es el suministro de fuentes de energía alternativas y en la generación de electricidad, la predicción y el pronóstico de la radiación solar juegan un papel vital.

Existen numerosos modelos de estimación de radiación solar basados en humedad relativa [4]–[6], en la cobertura de nubes en el cielo considerando el tipo de cielo [4], [7], [8], basados en la posición del tierra-sol [4], [9], [10], de las temperaturas extremas que se presentan en el lugar de estudio [1], [4], [11], redes neuronales artificiales [12]–[14], dependientes de ajuste estadísticos los cuales se basan en mediciones previas realizadas [15]–[17] y procesamiento de imágenes satelitales [18], [19], en este trabajo analizamos modelos para estimar la radiación solar global en función a la diferencia de temperaturas extremas considerando funciones polinomios dependientes de la diferencia de temperatura extremas.

Pareek y Gidwani [20] logran estimar la radiación solar mediante la función polinomios de grado 1 al 8 obteniendo una coeficiente de correlación de 0.75 con un polinomio de grado 8, considerando como variable de ingreso de la función los días del mes, mostrando como resultado un análisis durante un mes. Asst y Selvakumar [21] logran estimar valores de radiación solar global con un coeficiente de correlación de 0.96 con un polinomio de grado 3 considerando como variable de entrada la relación de la máxima duración de la luz solar mensual medio con respecto a lo calcular. Jamil y otros [1] al calcular la radiación solar global logra un coeficiente de correlación de 0.99 con un polinomio de grado 4, considerando la diferencia de temperaturas extremas del lugar de estudio. Djaman y otros [22] utiliza un polinomio de grado 3 dependiente de diferencia de temperaturas extremas del medio para estimar la radiación solar. Muhammad y

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

Muhammad [23] realizan estimaciones modelos empíricos de polinomios de grado 1 a 3, para la fracción difusa en función al índice de claridad para Pakistan.

La incidencia de radiación solar varía con referencia a la ubicación geométrica por ello es necesario desarrollar los modelos para predecir la radiación solar global diaria, para los lugares donde hay un enorme potencial de radiación solar y para mejorar la utilización de la energía. Este trabajo tuvo como objetivo mostrar e identificar un modelo polinomial de menor grado para estimar la radiación solar global para la ciudad de Puno en función a la diferencia de temperaturas extremas registradas por las estaciones meteorológicas ubicadas en la ciudad de Puno.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Recopilación de datos

Se obtuvieron datos medidos por la estación meteorológica de DAVIS VANTAGE PRO 2 PLUS de la Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas (EPCFM) de la Universidad Nacional del Altiplano (UNAP), el cual está ubicado en latitud -15.489063 longitud -70.151594 y a una altitud de 3825msnm, el cual cuenta con la certificación de calibración. Los datos considerados para el análisis fueron del año 2018. La estación se muestra en la figura 1.



Fig. 1 Estación Meteorológica de EPCFM

### B. Cálculo de la radiación extraterrestre

La radiación extraterrestre ( $H_o$ ) se define como la cantidad de radiación solar que está presente en el espacio antes de alcanzar la atmósfera de la tierra; en otros términos, la cantidad de radiación solar recibida por la superficie de la tierra en ausencia de atmósfera. Mientras que la radiación solar global ( $H$ ) es la cantidad de radiación solar que llega a la superficie de la tierra después de la atenuación de la atmósfera [24]. El fenómeno de dispersión en la atmósfera se muestra en la figura 2.

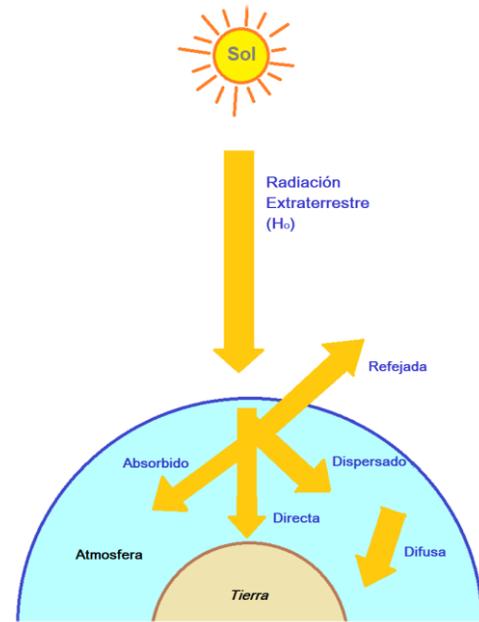


Fig. 2 Radiación solar sobre la superficie de la tierra

Por lo tanto, la cantidad media mensual de radiación extraterrestre se obtiene utilizando la siguiente ecuación [25]:

$$H_o = \frac{24 * H_{sc}}{\pi} \left( 1 + 0.033 * \cos \left( \frac{360}{365} n \right) \right) \left( \frac{\pi}{180} w_s \text{sen} \phi \text{sen} \delta + \cos \phi \cos \delta \text{sen} w_s \right) \quad (1)$$

Donde  $H_{sc}$  constante solar,  $\delta$  declinación solar y  $w_s$  el ángulo de puesta del sol, el cual se calcula de forma siguiente [26]:

$$\delta = 23.45 \text{sen} \left( \frac{360}{365} (284 - n) \right) \quad (2)$$

$$\cos w_s = -\tan \phi \tan \delta \quad (3)$$

### C. Modelos polinomio basado en diferencia de temperaturas extremas

Para estimar la radiación solar global incidente sobre la superficie terrestre luego de atravesar la atmósfera se considera la relación de radiación solar global con respecto a la radiación solar Extraterrestre  $H/H_o$ , puede que no exista una relación estadística tan buena [24], porque se consideran cielos despejados y cielos nublados. Por ello se realizan ajuste de la relación  $H/H_o$  en función a polinomios como los trabajos por [21], [22], [27], [28] con la forma siguiente

$$\frac{H}{H_o} = P(\Delta T) \quad (4)$$

Donde P, representa una función polinómica dependiente de la diferencia de temperatura extrema,  $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$ . las temperaturas consideradas son las medidas por la estación meteorológica.

### D. Temperatura extremas

Este fenómeno se refiere a los cambios de temperatura que se operan en el ambiente, que se manifiesta en el aire y en

los cuerpos en forma de calor, en una gradación que fluctúa entre dos extremos que convencionalmente se denomina: Caliente y frío. Las temperaturas que se considerado son los valores máximos y mínimos durante el periodo de un día.

### E. Función polinomial

Una función polinómica es una función cuya expresión algebraica es un polinomio, es decir, una función polinómica está definida por la suma o resta de un número finito de términos de diferente grado.

Por lo tanto, una función polinómica se describe matemáticamente con la siguiente expresión:

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n \quad (5)$$

Por otro lado, las funciones polinómicas también se pueden definir usando la siguiente fórmula:

$$f(x) = \sum_{k=0}^n a_k x^k \quad (6)$$

Donde los términos  $a_k$  y  $x^k$  son el coeficiente y la variable respectivamente de cada monomio que forma la función polinómica.

### F. Programación en Python

Se ha realizado la programación en Python utilizando las clases, pandas, matplotlib, sklearn, scipy, para nuestra programación se utiliza la instancia PolynomialFeatures para realizar los ajustes de los polinomios. El diagrama de flujo del programa se muestra en la figura 3.

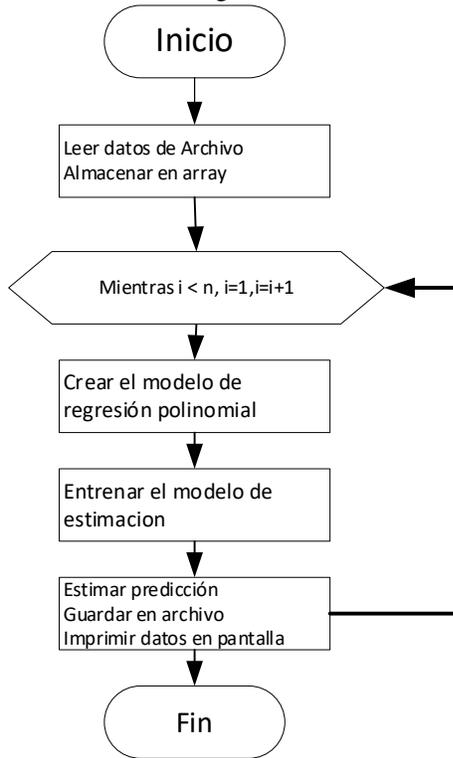


Fig. 3 Diagrama de flujo de la programación

El código de programación se ha realizado en Google Colab, el cual consistió en leer los datos de temperatura extremas y radiación solar de un archivo Excel, para luego almacenarlo en un array para poder utilizarlo en la regresión polinomial, se utilizó un bucle para evaluar los ajustes polinomiales para diferentes grados.

### G. Estadísticos de evaluación

Se utilizaron el error media (MBE), llamado también sesgo o desviación, coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el coeficiente de correlación (r) es para medir la relación lineal entre los valores medidos por la estación con respecto a los obtenidos por los modelos [29], [30]. Están dados por las siguientes ecuaciones:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (H_{mi} - H_{pi})}{n} \quad (7)$$

$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (H_{mi} - \bar{H}_{mi})(H_{pi} - \bar{H}_{pi}) \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^n (H_{mi} - \bar{H}_{mi})^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n (H_{pi} - \bar{H}_{pi})^2 \right]} \quad (8)$$

$$r = \sqrt{R^2} \quad (9)$$

Donde:  $H_{mi}$  es el dato medido por la estación meteorológica,  $H_{pi}$  es el dato obtenido por el modelo polinomial,  $\bar{H}_{mi}$  es el promedio de los datos medidos por la estación meteorológica,  $\bar{H}_{pi}$  es el promedio de los datos obtenidos por el modelo polinomial y n es el número total de observaciones [31].

## III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se realizó el cálculo de la radiación extraterrestre considerando la latitud de la ciudad de Puno, latitud -15.489063° mediante la ecuación (1) el cual se muestra en la figura 4, obteniéndose como valor máximo de 11.1034kwh/m<sup>2</sup> día y un valor mínimo de 7.4828kwh/m<sup>2</sup> día, el comportamiento es cíclico debido la posición de tierra sol [25], [26].

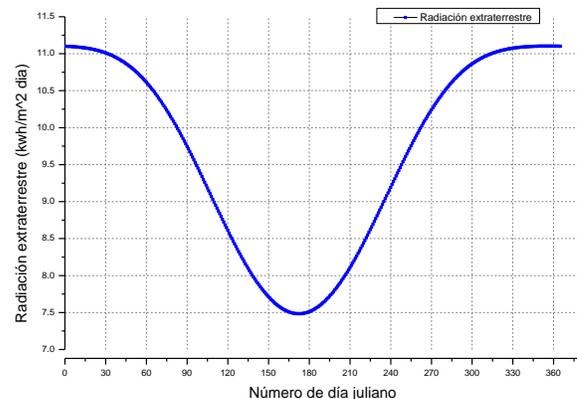


Fig. 4 Radiación extraterrestre para la latitud de la ciudad de Puno

Se ha realizado el análisis estadístico calculando el coeficiente de correlación entre los datos medidos por la estación meteorológica y estimados por los modelos polinomio de la relación de  $H/H_o$ . Para el análisis se ha considerado polinomios de hasta grado 16. Se muestran en la tabla I valores numéricos del coeficiente de correlación, donde se puede observar que el mejor valor es 0.8466 para el polinomio de grado 8, de acuerdo a la figura 5, en el cual se muestra el error estándar y el coeficiente de correlación para los 16 polinomios, donde se observa que a partir de grado 8 la gráfica del coeficiente de correlación tienden a tener un crecimiento menor, así considerando el polinomio de menor grado se considera el de grado 8.

TABLE I  
ESTADÍSTICO DE EVALUACIÓN

Polinomio de grado	MBE	$R^2$	r
1	0.0366	0.6731	0.8204
2	0.0341	0.7034	0.8387
3	0.0339	0.7056	0.8400
4	0.0338	0.7064	0.8405
5	0.0335	0.7110	0.8432
6	0.0334	0.7115	0.8435
7	0.0332	0.7145	0.8453
8	0.0330	0.7167	0.8466

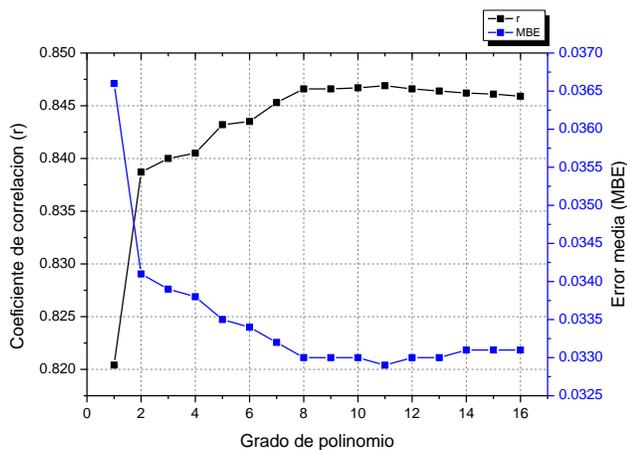


Fig. 5 Coeficiente de correlación y error estándar para los 16 polinomios.

Los resultados más adecuados para la estimación de la relación  $H/H_o$  en función a un polinomio de grado 8 que depende de la variación de temperaturas extremas, cuyo resultados se observan en la figura 6, donde se observa el solapamiento de datos estimados y medidos por la estación meteorológica para el año 2018.

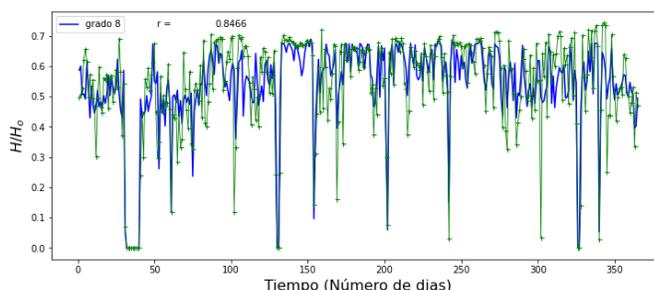


Fig. 6 Estimado por un polinomio de grado 8

En la figura 7 se observa los coeficientes de correlación de los valores medidos por la estación meteorológica y estimadas de H donde se resalta que los polinomios de grado mayor a 4 tienen una correlación de 0.7267 y un mayor máximo de 0.7337 para un polinomio de grado 12, se observa que la correlación de datos a medida que se incrementa el grado del polinomio la correlación aumenta, considerando a partir de grado 4 para adelante un  $r = 0.7267$ . Pareek y Gidwani [20] logran estimar un coeficiente de correlación de 0.75 con un polinomio de grado 8, en función considerando como variable de ingreso los días del mes. Asst y Selvakumar [21] logran estimar con un coeficiente de correlación de 0.96 con un polinomio de grado 3 considerando como variable de entrada la relación de la máxima duración de la luz solar mensual medio con respecto a lo calculado. Jamil y otros [1] logra un  $r = 0.99$  con un polinomio de grado 4, considerando la diferencia de temperaturas extremas. En este trabajo se considero 365 datos de diferencia de temperaturas extremas, considerando los días despejados y nublados para el año 2018, donde analizando con polinomio de grado 1 a 16 se logró obtener los r que se muestran en la figura 5, así como su respectivo error. En la figura 6 se muestra los resultados para un polinomio de grado 8 de valores estimados y medidos de H. De la figura 8 se observa que para polinomios de grado mayores de 8 se presenta un menor crecimiento del coeficiente de correlación, considerando el polinomio de menor grado el de 8, para estimar H para la ciudad de Puno.

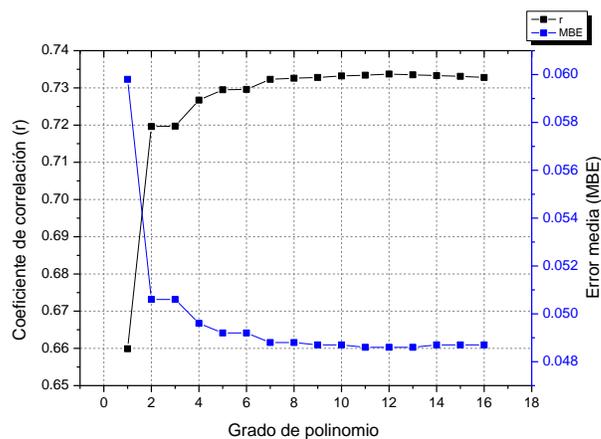


Fig. 7 Coeficiente de correlación y error media para

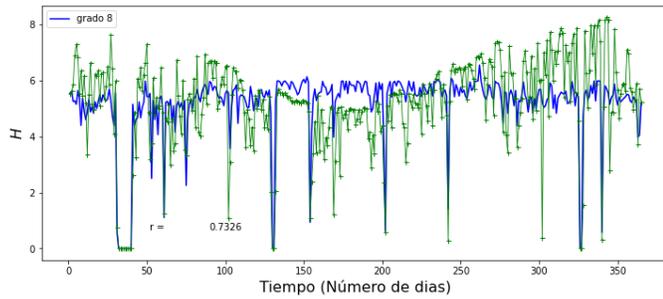


Fig. 8 Estimado por un polinomio de grado 8

Ahora se realiza el cálculo de radiación solar ( $H$ ) para el año 2020 en la ciudad de Puno, utilizando el polinomio de grado 8, con dato medidos por Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENHAMI), El cual se muestra en la figura 9, considerando la diferencia de temperaturas extremas diarios, considerando 366 datos de días nublados, parcialmente nublados y despejados, para la confiabilidad de los resultados se considera el coeficiente de correlación entre los datos, obteniendo un valor de 0.5269, ello se debe a que se consideró la totalidad de datos para el año 2020, observando que en los meses noviembre, diciembre y enero hay una mayor presencia de días nublados y parcialmente nublados, ello por las temporadas de lluvias en la región de Puno.

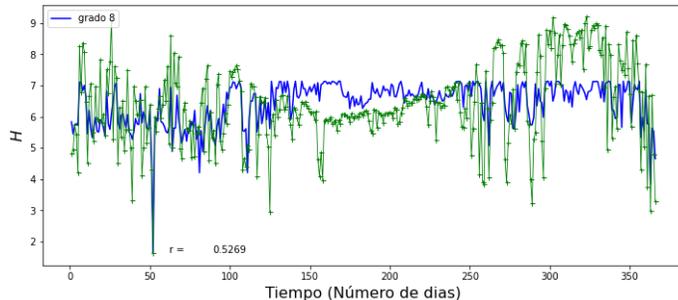


Fig. 9 Estimado de la radiación solar para el año 2020

Este polinomio para estimar la radiación solar, en casos que no se logra estimar medidas de la radiación por la estación meteorológica de la UNAP.

El polinomio de grado 8 que se obtuvo con los datos para el 2018, por análisis de regresión no lineal es el siguiente

$$\frac{H}{H_0} = P(\Delta T) = B_0 + B_1\Delta T + B_2\Delta T^2 + B_3\Delta T^3 + B_4\Delta T^4 + B_5\Delta T^5 + B_6\Delta T^6 + B_7\Delta T^7 + B_8\Delta T^8 \quad (10)$$

Los coeficientes de polinomio se muestran en la table II con sus respectivos errores estándar para cada coeficiente.

TABLE II  
COEFICIENTES DE POLINOMIO DE GRADO 8

Coefficiente	Valor	Error estandar
$B_0$	-5.5535E-5	0.02523
$B_1$	0.57583	0.30664
$B_2$	-0.559	0.28023
$B_3$	0.21314	0.102
$B_4$	-0.0403	0.01941
$B_5$	0.00423	0.00211
$B_6$	-2.50837E-4	1.31465E-4
$B_7$	7.89063E-6	4.3877E-6
$B_8$	-1.02364E-7	6.07101E-8

El polinomio para obtener la radiacion solar en funcion a diferencia de temperatura dependera de numero de días, pues la radiacion solar extraterrestre varia según la figura 4, es por ello realizar el análisis por día, de tal forma que se obtiene el polinomio.

$$H = H_0 P(\Delta T) \quad (10)$$

#### IV. CONCLUSIONES

Se logró identificar el modelo de polinomio de menor grado para estimar la radiación solar global en la ciudad de Puno, cuyo grado es de 8 con el cual se obtiene un coeficiente de correlación de 0.7326 utilizando datos medidos por estación meteorológica considerando cielos despejados nublados y estimados por el polinomio para lo cual se utiliza *PolynomialFeatures* de Python para la obtención de los polinomios.

#### AGRADECIMIENTO

La institución Universidad Nacional del Altiplano por facilitarme los datos de las estaciones meteorológicas DAVIS del año 2018 de la Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas, en especial al Lic. Matias Huilca Arbieta.

#### REFERENCIAS

- [1] B. Jamil, K. Irshad, A. Algahtani, S. Islam, M. A. Ali, and A. Shahab, "On the calibration and applicability of global solar radiation models based on temperature extremities in India," *Environ. Prog. Sustain. Energy*, vol. 39, no. 1, pp. 1–13, 2020.
- [2] M. M. Khan, M. J. Ahmad, and B. Jamil, "Development of models for the estimation of global solar radiation over selected stations in India," *Green Energy Technol.*, vol. PartF2, pp. 149–160, 2016.
- [3] S. Dhakal, Y. Gautam, and A. Bhattarai, "Evaluation of Temperature-Based Empirical Models and Machine Learning Techniques to Estimate Daily Global Solar Radiation at Biratnagar Airport, Nepal," *Adv. Meteorol.*, vol. 2020, 2020.
- [4] A. A. Adeala, Z. Huan, and C. C. Enweremadu, "Evaluation of global solar radiation using multiple weather parameters as predictors for South

- Africa provinces.” *Therm. Sci.*, vol. 19, pp. S495–S509, 2015.
- [5] O. T. Kolebaje, A. Ikusika, and P. Akinyemi, “Estimating solar radiation in ikeja and port harcourt via correlation with relative humidity and temperature,” *Int. J. Energy Prod. Manag.*, vol. 1, no. 3, pp. 253–262, 2016.
- [6] A. Muhammad and T. . . Darma, “Estimation of Global Solar Radiation for Kano State Nigeria Based on Meteorological Data,” *IOSR J. Appl. Phys.*, vol. 6, no. 6, pp. 19–23, 2014.
- [7] S. Olayinka, “Estimation of global and diffuse solar radiations for selected cities in Nigeria,” *Int. J. Energy Environ. Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 13–33, 2011.
- [8] M. S. Okundamiya, J. O. Emagbetere, and E. A. Ogujor, “Evaluation of various global solar radiation models for Nigeria,” *Int. J. Green Energy*, vol. 13, no. 5, pp. 505–512, 2016.
- [9] K. Gairaa and Y. Bakelli, “A Comparative Study of Some Regression Models to Estimate the Global Solar Radiation on a Horizontal Surface from Sunshine Duration and Meteorological Parameters for Ghardaia Site, Algeria,” *ISRN Renew. Energy*, vol. 2013, pp. 1–11, 2013.
- [10] Mulandzi ST, Sankarau V, and Lysko MD, “Solar radiation analysis and regression coefficients for the Vhembe Region, Limpopo Province, South Africa,” *J. Energy South. Africa*, vol. 24, no. 3, pp. 02–07, 2013.
- [11] J. Fan *et al.*, “Comparison of Support Vector Machine and Extreme Gradient Boosting for predicting daily global solar radiation using temperature and precipitation in humid subtropical climates: A case study in China,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 164, no. January, pp. 102–111, 2018.
- [12] J. L. Bosch, G. López-Rodríguez, F. J. Batlles, and J. Tovar-Pescador, “Modelado de la Radiación Solar Global Horaria Sobre Superficie Inclinada Mediante Redes Neuronales Artificiales,” *Asoc. Meteorológica Española*, no. 29, 2006.
- [13] F. Rodríguez, A. Fleetwood, A. Galarza, and L. Fontán, “Predicting solar energy generation through artificial neural networks using weather forecasts for microgrid control,” *Renew. Energy*, vol. 126, pp. 855–864, 2018.
- [14] A. H. Elsheikh, S. W. Sharshir, M. Abd Elaziz, A. E. Kabeel, W. Guilan, and Z. Haiou, “Modeling of solar energy systems using artificial neural network: A comprehensive review,” *Sol. Energy*, vol. 180, no. October 2018, pp. 622–639, 2019.
- [15] P. Paredes and L. S. Pereira, “Computing FAO56 reference grass evapotranspiration PM-ET o from temperature with focus on solar radiation,” *Agric. Water Manag.*, vol. 215, no. December 2018, pp. 86–102, 2019.
- [16] B. Jamil and N. Akhtar, “Comparative analysis of diffuse solar radiation models based on sky-clearness index and sunshine period for humid-subtropical climatic region of India: A case study,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 78, no. April, pp. 329–355, 2017.
- [17] V. A. Jimenez, A. Barrionuevo, A. Will, and S. Rodríguez, “Neural Network for Estimating Daily Global Solar Radiation Using Temperature, Humidity and Pressure as Unique Climatic Input Variables,” *Smart Grid Renew. Energy*, vol. 07, no. 03, pp. 94–103, 2016.
- [18] L. Mazorra Aguiar, J. Polo, J. M. Vindel, and A. Oliver, “Analysis of satellite derived solar irradiance in islands with site adaptation techniques for improving the uncertainty,” *Renew. Energy*, vol. 135, pp. 98–107, 2019.
- [19] L. Cornejo-Bueno, C. Casanova-Mateo, J. Sanz-Justo, and S. Salcedo-Sanz, “Machine learning regressors for solar radiation estimation from satellite data,” *Sol. Energy*, vol. 183, no. December 2018, pp. 768–775, 2019.
- [20] A. Pareek and L. Gidwani, “Measured data of daily global solar irradiation using curve-fitting methods,” *Int. Conf. Energy Syst. Appl. ICESA 2015*, no. Icesa, pp. 561–565, 2016.
- [21] M. Asst and I. Selvakumar, “Estimation of global solar radiation using sunshine duration and temperatura in Chennai,” *Int. Conf. Emerg. Trends Eng. Technol. Sci.*, 2016.
- [22] K. Djaman, L. Diop, K. Koudahe, A. Bodian, and P. M. Ndiaye, “Evaluation of temperature-based solar radiation models and their impact on Penman-Monteith reference evapotranspiration in a semiarid climate,” *Int. J. Hydrol.*, vol. 4, no. 2, pp. 84–95, 2020.
- [23] M. U. Yousuf and M. Umair, “Development of diffuse solar radiation models using measured data,” *Int. J. Green Energy*, vol. 15, no. 11, pp. 651–662, 2018.
- [24] J. A. Duffie, W. A. Beckman, and N. Blair, *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind*, Quinta. Canada, 2020.
- [25] M. Iqbal, *An introduction to solar radiation*. Academic Press, 1983.
- [26] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of thermal processes*, 4th ed., vol. 9, no. 2, 2013.
- [27] M. N. I. Sarkar and A. I. Sifat, “Global solar radiation estimation from commonly available meteorological data for Bangladesh,” *Renewables Wind. Water, Sol.*, vol. 3, no. 1, 2016.
- [28] B. Jahani, Y. Dinpashoh, and A. Raisi Nafchi, “Evaluation and development of empirical models for estimating daily solar radiation,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 73, no. January, pp. 878–891, 2017.
- [29] M. Blal *et al.*, “A prediction models for estimating global solar radiation and evaluation meteorological effect on solar radiation potential under several weather conditions at the surface of Adrar environment,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 152, p. 107348, 2020.
- [30] Ü. Ağbulut, A. E. Gürel, and Y. Biçen, “Prediction of daily global solar radiation using different machine learning algorithms: Evaluation and comparison,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 135, no. March 2020, 2021.
- [31] H. Tabari, “Evaluation of reference crop evapotranspiration equations in various climates,” *Water Resour. Manag.*, vol. 24, no. 10, pp. 2311–2337, 2010.