

# Empirical model to estimate ultraviolet index values in the Puno región

Ciro William Taipe Huaman<sup>1</sup>, Eva Genoveva Mendoza Mamani<sup>2</sup>, Julio Rumualdo Gallegos Ramos<sup>1</sup>, Marisol Rojas Barreto<sup>2</sup>, Faviola Ccoa Huanca<sup>2</sup>, Jhon Richard Huanca Suaquita<sup>1</sup>, Matias Huillca Arbieto<sup>2</sup>

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

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

*Abstract*—The objective of the research is to implement a graphical interface using an empirical model to estimate the values of the ultraviolet index. This tool is intended to inform the population about elevated UV index levels, allowing them to take appropriate preventive measures. The model depends on the cosine variable of the zenith angle and the ozone layer in UD units for the place and date. For which the MATLAB GUI was used for the implementation using the editable text and button options to carry out calculation processes and graphics. It was possible to implement the graphical interface based on the empirical model which allows graphical analysis to be carried out and the behavior of the ultraviolet index values to be observed. Obtaining maximum daily values and for one-hour intervals.

*Keywords*-- UV index, graphical interface, solar radiation.

# Modelo empírico para estimar valores de índice ultravioleta en la región de Puno

Ciro William Taipe Huaman<sup>1</sup>, Eva Genoveva Mendoza Mamani<sup>2</sup>, Julio Rumualdo Gallegos Ramos<sup>1</sup>, Marisol Rojas Barreto<sup>2</sup>, Faviola Ccoa Huanca<sup>2</sup>, Jhon Richard Huanca Suaquita<sup>1</sup>, Matias Huillca Arbieta<sup>2</sup>

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

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

*Abstract—The objective of the research is to implement a graphical interface using an empirical model to estimate the values of the ultraviolet index. This tool is intended to inform the population about elevated UV index levels, allowing them to take appropriate preventive measures. The model depends on the cosine variable of the zenith angle and the ozone layer in UD units for the place and date. For which the MATLAB GUI was used for the implementation using the editable text and button options to carry out calculation processes and graphics. It was possible to implement the graphical interface based on the empirical model which allows graphical analysis to be carried out and the behavior of the ultraviolet index values to be observed. Obtaining maximum daily values and for one-hour intervals.*

**Keywords--** UV index, graphical interface, solar radiation.

## I. INTRODUCCIÓN

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) adoptó en 1987 una curva estándar del eritema [1] que es utilizada habitualmente para determinar la radiación solar ultravioleta eritemática (UVER). Para la información de manera sencilla a la opinión pública sobre los niveles de radiación UV [2], se adopta el índice UV (UVI) propuesto por [3], el cual es recomendado por la Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) en colaboración con la Organización Mundial de la Salud (OMS), por la Organización Meteorológica Mundial (WMO) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP).

La radiación solar ultravioleta tiene efectos nocivos sobre la salud del ser humano. Causando envejecimiento prematuro en la piel [4], cáncer en la piel [5], [6], en los ojos causa cataratas [7] y afecta al sistema inmunológico [8]. La exposición no es en toda su magnitud perjudicial, esta relacionado con la vitamina D [9]. Los efectos en la naturaleza como en la agricultura y la vida acuática se presenta en las plantas y peces [10]. A la vegetación afecta en su crecimiento [11], en los animales producen quemaduras en su piel [12] en la conservación y durabilidad de materiales como el plástico y la pintura [13].

En el Perú la Dirección Nacional de Epidemiología reporto en un informe para el periodo 2006 al 2010, que el

cáncer de piel ocupa el cuarto lugar de frecuencia de enfermedades de cáncer a nivel nacional [4].

Según los datos proporcionados por la Dirección Regional de Salud Puno, se observa un aumento en los casos clínicos de cáncer de piel y casos oculares, como cataratas, en los años 2020, 2021, 2022 y 2023. En cuanto al cáncer de piel, se registraron 7, 21, 39 y 60 casos respectivamente para cada año, lo que indica un incremento anual de 18 casos. Por otro lado, en el caso de las cataratas, se reportaron 825, 1194 y 1915 casos durante los años 2020, 2021 y 2022 respectivamente, lo que muestra un aumento anual de 545 pacientes. Este aumento se atribuye principalmente a la exposición a la radiación ultravioleta, si bien otros factores como la demografía, la dieta y los factores hereditarios también podrían estar influyendo.

Bilbao y de Migué (2020) analizó un conjunto de datos de 7 años (2013-2019) sobre niveles de radiación UVB e índice ultravioleta en Valladolid, España. Estos datos revelaron que en ciertos días de verano, los valores de UVI y la dosis diaria acumulada de radiación pueden ser altos. Más del 45% de la dosis anual de radiación se recibe en verano. Además, se investigó la relación entre la máxima UVI diaria y la dosis anual acumulada para informar sobre la protección solar en condiciones de baja intensidad de radiación UVB [14].

Mohanad y otros (2023) Evidencia la imperativa necesidad de mitigar la exposición a la radiación ultravioleta con el propósito de prevenir patologías como eritemas solares, senescencia cutánea y neoplasias malignas. Se ha concebido un paradigma de aprendizaje profundo fundamentado en inteligencia artificial, dirigido a anticipar el índice de radiación ultravioleta. La amalgama disruptiva de una arquitectura de red neuronal convolucional en conjunción con una red de memoria de largo plazo (CLSTM) prevaleció sobre alternativas preexistentes, evidenciando capacidad para producir proyecciones perfeccionadas tanto para el público en general como para entidades gubernamentales [15].

Adnin (2022) desarrolló un monitor de índice ultravioleta para medir la exposición diaria de una persona a la luz solar. El dispositivo utiliza un nano sensor de ZnO y se conecta a una aplicación móvil que muestra alertas de exposición a los rayos UV. El dispositivo es portátil y funciona con una batería recargable de 3,7 V, y los datos se pueden compartir para su almacenamiento y uso en registros médicos [16].

Mimbela en el año 2016 desarrolla un análisis sobre el comportamiento estacional de la irradiación solar ultravioleta

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

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

**DO NOT REMOVE**

en diferentes ciudades de la región Piura. Costa Norte del Perú. Desde un aspecto cualitativo, emplea la escala de valores del Índice UV, definida de 1 a 14 [17]. Los resultados, demuestran la variabilidad del índice de radiación ultravioleta en función de la estacionalidad, concluyendo que la región de Piura presenta niveles de irradiación ultravioleta entre altos a extremos durante todo el año [18].

Los datos de radiación UV derivados del instrumento OMI han sido ampliamente validados a través de comparaciones con mediciones en tierra. Por ejemplo, Tanskanen y otros [19] llevaron a cabo una validación de las estimaciones diarias de la OMI en 17 estaciones y 18 instrumentos distribuidos principalmente en Europa septentrional, Grecia, América del Norte, Nueva Zelandia y el sur de la Argentina. Buchard y otros [20] validaron los valores de la columna de ozono total y de la radiación UV en estaciones de Francia e Italia, respectivamente. Antón y otros [21] llevaron a cabo un amplio estudio de validación de las mediciones de la radiación UV en la estación de Arenosillo en Huelva, en el sur de España.

El objetivo del trabajo es crear una interfaz gráfica utilizando un modelo empírico para calcular los niveles de índice UV. Esta herramienta está destinada a informar a la población sobre los niveles elevados de índice UV, permitiéndoles tomar medidas preventivas apropiadas.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Lugar de estudio

Ubicada en el sur de Perú, Puno se destaca por su proximidad al lago Titicaca, uno de los cuerpos de agua más grandes de Sudamérica y el lago navegable más alto del mundo. No solo es un importante centro comercial regional, sino que también se le conoce como la "capital folclórica" de Perú debido a sus vibrantes festivales tradicionales que ofrecen espectáculos animados de música y danza ejecutadas en su mayor parte al aire libre.

### B. Región de Puno

El departamento de Puno está ubicado al extremo sur este del Perú, entre los 13°00'00" y 17°17'30" de latitud sur y los 71°06'57" y 68°48'46" de longitud oeste del meridiano de Greenwich; cuenta con una extensión territorial de 71 999,0 km<sup>2</sup> (6,0 por ciento del territorio nacional) siendo el quinto departamento más grande en el ámbito nacional. Limita por el norte con la región Madre de Dios, por el este con el país de Bolivia, por el sur con la región Tacna y el país de Bolivia y por el oeste con las regiones de Moquegua, Arequipa y Cusco [22].



Fig. 1 Mapa de la región de Puno

### C. Índice Ultravioleta

El índice de radiación ultravioleta (UV) se constituye como un indicador de la intensidad de la radiación UV proveniente del sol en la superficie terrestre, caracterizado por una escala que se inicia en 0 y carece de límite superior. Asimismo, el índice UV ofrece información sobre la capacidad de la radiación UV solar para inducir daños en la piel. Es esencial tener en cuenta que la magnitud de la luminosidad ambiental no siempre guarda correspondencia directa con el índice UV, lo que puede resultar engañoso. Dado que la representación del índice y su nivel variaban con la localización geográfica, la Organización Mundial de la Salud, conjuntamente con la Organización Meteorológica Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante, han establecido un sistema uniforme para la medición del índice UV y su presentación al público. Este sistema incorpora un código cromático asociado, cuya representación gráfica se muestra en la figura 2 según lo establecido por la Organización Mundial de la Salud [2].



Fig. 2 Niveles de índice UV

#### D. Modelo teóricos

El espectro de acción de esta respuesta biológica, fue definido por McKinley y Diffey [3] basado en el daño que provoca la radiación solar sobre la piel de los seres humanos. Si la radiación UV espectral recibida en superficie se multiplica con el espectro de acción y se integra desde 0.280 a 400 nm, se obtiene la radiación solar UV eritemática (UVER; 0.280–0.400  $\mu\text{m}$ ) según la siguiente ecuación:

$$UVI = k_{er} \int_{0.280}^{0.400} I(\lambda) \varepsilon(\lambda) d\lambda$$

El índice UV se calcula como la irradiancia UVER multiplicada por una constante de proporcionalidad de  $k_{er} = 40 \text{ m}^2 \text{ w}^{-1}$ , y se muestra como un número entero [2].

$$IUV = \text{entero} (40 \text{ UVER}) = \text{entero} \left[ 40 \int_{0.280}^{0.400} I_{G\lambda} \cdot \varepsilon(\lambda) d\lambda \right]$$

#### E. Ecuaciones consideradas en el análisis

Allaart et al., (2004) considera un modelo considerando una atmosfera sin ozono, la cual se muestra en la ecuación (1)

$$UVA = \left( \frac{D_o}{D} \right)^2 * S_o * \mu_o * \exp\left( -\frac{\tau_a}{\mu_o} \right) \quad (1)$$

Donde

$D$  : Distancia entre el Sol y la Tierra.

$D_o$  : Distancia promedio entre el Sol y la Tierra.

$\mu_o$  : Coseno de ángulo cenital del lugar,  $\mu_o = \cos \theta_z$ .

$S_o$  : Valor del UVA extraterrestre.

$\tau_a$  : Es la dispersión molecular atmosférica.

Se va considerar un factor de ajuste mediante la ecuación (2)

$$\mu_x = \mu_o (1 - \varepsilon) + \varepsilon \quad (2)$$

donde

$\varepsilon$  : factor de corrección

La nueva ecuación considerando la ecuación (2) es la siguiente expresión

$$UVA = \left( \frac{D_o}{D} \right)^2 * S * \mu_x * \exp\left( -\frac{\tau}{\mu_x} \right) \quad (3)$$

El coseno del ángulo cenital se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\mu_o = \cos \theta_z = \text{sen} \delta \text{sen} \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \varpi \quad (4)$$

donde

$\theta_z$  : ángulo cenital del lugar.

$\phi$  : es la latitud geográfica en grados.

$\varpi$  : es el ángulo horario solar, cero al mediodía. este ángulo se calculó en grados por medio de la siguiente ecuación:

$$\varpi = 15(H - 12) \quad (5)$$

H, es la hora estándar de 0-24h para un día completo

$\delta$  : es la declinación, que es la posición angular del Sol al mediodía solar con respecto al plano del ecuador, sur negativo en grados. El cual se obtiene de la siguiente relación [24]:

$$\delta = (0.006918 - 0.399912 \cos \Gamma + 0.070257 \text{sen} \Gamma - 0.006758 \cos 2\Gamma + 0.000907 \text{sen} 2\Gamma - 0.002697 \cos 3\Gamma + 0.00148 \text{sen} 3\Gamma) \left( \frac{180}{\pi} \right) \quad (6)$$

$\Gamma$ , se conoce como el ángulo del día (en grados), y está dado por

$$\Gamma = 360 \left( \frac{d_n - 1}{365} \right) \quad (7)$$

$d_n$ , es el número del día, variando 1 para el 1 de enero a 365 para el 31 de diciembre;

Utilizando la técnica de ajuste no lineal por el M. Allaart et al. [23] en el cual se obtienen los valores para la ecuación (3)

$$S = 1.24 \text{ W m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$$

$$\varepsilon = 0.17$$

$$\tau = 0.58$$

Ahora consideremos la relación de UVI y UVA dependiente de capa de ozono y el coseno del ángulo cenital, el cual se muestra a continuación.

$$\frac{UVI}{UVA} = F * X^G + \frac{H}{TO} + J \quad (8)$$

Donde

$TO$  : Espesor de la capa de Ozono UD

$X$  : relación de coseno cenital y capa de ozono según Allaart et al., (2004)

$$X = 1000 * \frac{\mu_o}{TO} \quad (9)$$

Ahora realizando un ajuste no lineal de la ecuación (8) de datos de la relación UVI/UVA con respecto a  $\frac{H}{TO}$  y  $\mu_o$ , se

obtienen los siguientes valores.

$$F = 2$$

$$G = 1.62$$

$$H = 280$$

$$J = 1.4$$

Luego considerando la ecuación (3) y (8) es posible despejar una expresión para estimar UVI el cual es la siguiente expresión

$$UVI = \left( F * X^G + \frac{H}{TO} + J \right) UVA$$

$$UVI = \left( F * \left( 1000 * \frac{\mu_o}{TO} \right)^G + \frac{H}{TO} + J \right) \left( \left( \frac{D_o}{D} \right)^2 * S * \mu_x * \exp \left( -\frac{\tau}{\mu_x} \right) \right) \quad (10)$$

Reemplazando valores obtenidos y considerando  $D_o = D$ , la expresión (10) se reduce a la ecuación

$$UVI = \left( 2 * \left( 1000 * \frac{\cos \theta_z}{TO} \right)^{1.62} + \frac{280}{TO} + 1.4 \right) * \left( 1.24 * (\cos \theta_z (1 - 0.17) + 0.17) * \exp \left( -\frac{0.58}{\cos \theta_z (1 - 0.17) + 0.17} \right) \right) \quad (11)$$

### F. Desarrollo de la interfaz gráfica.

La interfaz gráfica de usuario fue desarrollada en el entorno de programación MatLab2020b, mediante un algoritmo basado en las expresiones (1)-(11) para calcular el índice ultravioleta. El algoritmo también permite ingresar datos de ozono, latitud y número de día.

## III. RESULTADOS

### A. Diseño de la interfaz gráfica.

El diseño de la interfaz gráfica se realiza en MATLAB utilizando un axes, tres Static Text, tres Edit Text, Push botón y un panela para agrupar las variables de entrada para realizar el proceso de cálculo, el cual se muestra en la figura 3.

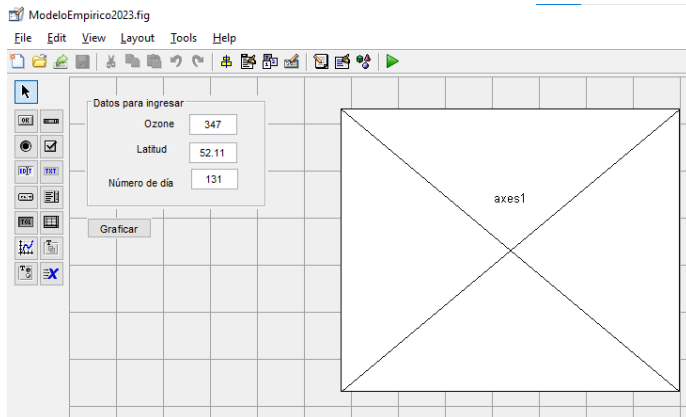


Fig. 3 Diseño de interfaz grafica

Para la programación del Push boton para que pueda realizar el cálculo valores de índice ultravioleta en el intervalo de 5:00am hasta las 19:00pm en lapso de una hora cada estimación, se ha considere el código programa en el archivo ModeloEmpirico2023.m el cual se muestra a continuación.

### Código de programación del Push boton

```
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
clc;
ozone = str2double(get(handles.Ozono1,'String'))
Lat = str2double(get(handles.latitud1,'String'))
Ndia = str2double(get(handles.dia1,'String'));
j=1;
for H=5:1:19
w=15*(H-12); % angulo horario en grados
T=360*(Ndia-1)/365; %
% declinacion
dc=(0.006918-0.399912*cosd(T)+0.070257*sind(T)-
0.006758*cosd(2*T)+0.000907*sind(2*T)-
0.002697*cosd(3*T)+0.00148*sind(3*T))*(180/pi);
cosz=sind(dc)*sind(Lat)+cosd(dc)*cosd(Lat)*cosd(w);
z(:,j)=acosd(cosz);
ang(:,j)=H;

indice(:,j)=(0.5*(1000*(cosz/ozone))^(1.62)+(280)/(ozone)+1.4)*(1.24
*(cosz*(1-0.17)+1.17)*exp(-(0.58)/(cosz*(1-0.17)+0.17)));
disp(H); disp(indice(:,j))
j=j+1;
end
yyaxis left
plot(ang,indice,'-r*');
title('Indice UV');
xlabel('Tiempo (UT)');
ylabel('Indice UV');
grid on
grid minor
yyaxis right
plot(ang,z,'-b*');
ylabel('Angulo cenital');
```

El código requiere del ingreso de la variable latitud del lugar en grados, el ingreso de del espesor de la capa de ozono del lugar para el día en el cual se va estimar el cual varía según el día en unidades UD [25], luego ingresamos del valor del número de día juliano el cual permite variar las fechas durante el año. La programación del algoritmo es en función a la ecuación (11) el cual es dependiente del coseno cenital y de la capa de ozono.

Ahora se muestra los resultados de cálculo de los valores de índice ultravioleta en la figura 4. En el cual se consideró la capa de ozono promedio para el primero de enero de 245UD y la latitud de la ciudad de Puno, Perú se ha considerado -15.8422° [26], la gráfica que se muestra es índice UV en función a las hora en el intervalo de 5:00am a 19:00pm.

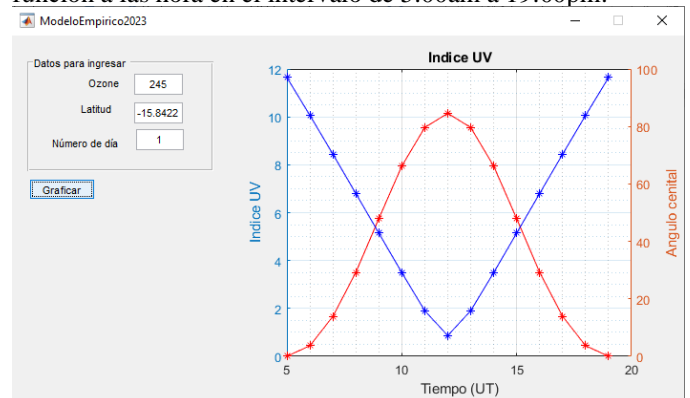


Fig. 4 Interfaz gráfica ejecutada con resultados

Los resultados de los valores de índice UV mostrados en la figura 4, son similares obtenidos por [27] valores a índice ultravioleta medidos por una estación meteorológica duran un día. Los valores máximo obtenido es al medio día solar [28].

En la figura 5 se muestra la comparación de resultados de medida de índice UV, con lo obtenidos por el modelo empírico, en el cual se observa un buen solapamiento de datos, para la fecha 21 de octubre del 2023, considerando intervalos de una hora.

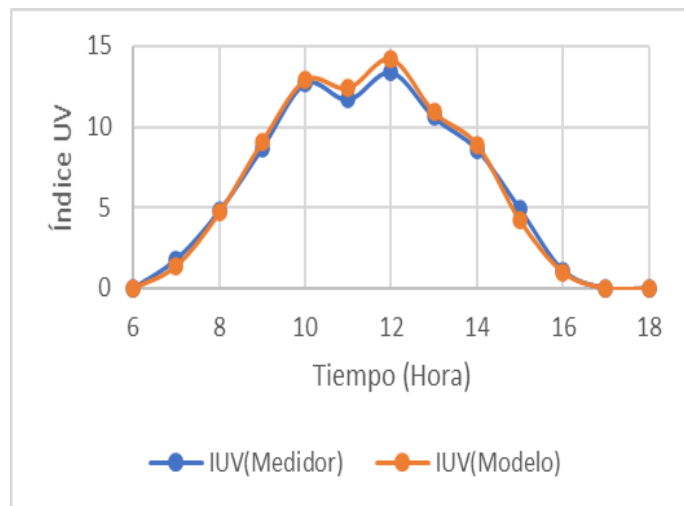


Fig. 5 Comparación de resultados

En la figura 6 se observa la correlación de datos entre valores medidos por una estación meteorológica y los obtenidos por la interfaz diseñada por medio del modelo empírico. Obteniendo una correlación de 0.94 lo cual nos indica que es muy bueno el modelo empírico para casos de cielos despejados.

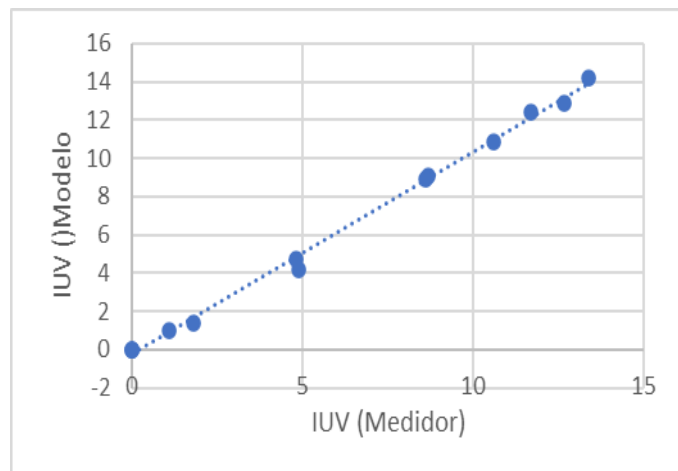


Fig. 6 Correlación de datos

En la figura 7 se muestra los valores de índice UV para el año 2023 para la ciudad de Puno, en lo cual se observa el comportamiento cíclico, y los valores máximos se presentan en la estación de verano.

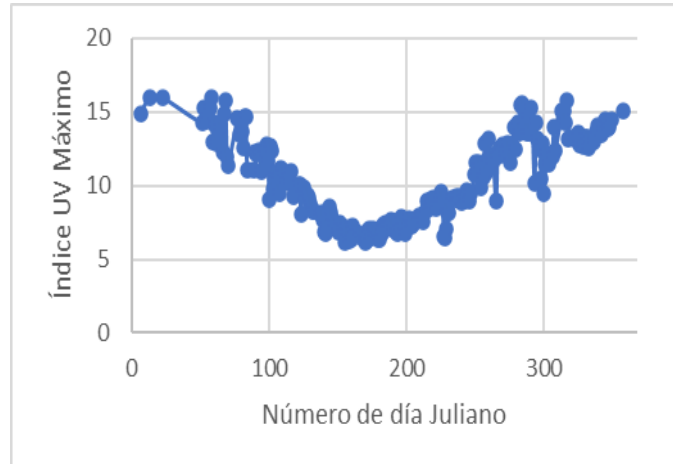


Fig. 7 Índice UV Máximo para el año 2023

#### IV. CONCLUSIONES

Se logro implementar una interfaz gráfica para estimar valores de índice ultravioleta mediante un modelo empírico el cual depende la variable coseno de ángulo cenital y la capa de ozono la cual es predominante para obtener los valores de índice UV. La implementación fue en el software MATLAB el cual permite estimar valores de índice UV en intervalos de una hora para una fecha, mostrando el comportamiento de los valores de índice UV para el intervalo de 6:00am a 18:00pm.

#### REFERENCIAS

- [1] CEI, "CIE S 007/E - Erythema Reference Action Spectrum and Standard Erythema Dose | Engineering360," 1998, Accessed: Mar. 07, 2020. [Online]. Available: <https://standards.globalspec.com/std/365550/cie-s-007-e>.
- [2] "WHO," 2002. Accessed: Mar. 07, 2020. [Online]. Available: <http://www.who.int/uv/>.
- [3] A. McKinley and B. Diffey, "A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin," *CIE*, vol. 6, pp. 17–22, 1987.
- [4] C. Sordo and C. Gutiérrez, "Cáncer de piel y radiación solar: experiencia peruana en la prevención y detección temprana del cáncer de piel y melanoma," *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Pública*, vol. 30, no. 1, pp. 113–117, Mar. 2013, doi: 10.1590/S1726-46342013000100021.
- [5] R. P. Gallagher and T. K. Lee, "Adverse effects of ultraviolet radiation : A brief review," *Prog. Biophys. Mol. Biol.* 92, vol. 92, pp. 119–131, 2006, doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2006.02.011.
- [6] U. R. Levels, "fenotipos e infraestructura de protección solar en instituciones educativas de Piura , Perú Ultraviolet Radiation Levels , Phenotypes , and Infrastructure," vol. 1621, pp. 40–49, 2017.
- [7] B. B. Lonsberry, E. Wyles, D. Goodwin, L. Casser, and N. Lingel, *Diseases of the Cornea*, Fifth Edit. Elsevier Inc., 2008.
- [8] M. Norval, "The mechanisms and consequences of ultraviolet-induced immunosuppression," *Prog. Biophys. Mol. Biol.*, vol. 92, no. 1, pp. 108–118, 2006, doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2006.02.009.

- [9] D. Souza Correa, H. Suárez, and G. Salazar, "Modelo de Madronich del Índice UV en Salta," *Av. en Energías Renov. y Medio Ambient.*, vol. 19, pp. 8–123, 2015, Accessed: Jan. 25, 2020. [Online]. Available: [www.cmfotobiologia.com](http://www.cmfotobiologia.com).
- [10] M. Sweet, N. Kirkham, M. Bendall, L. Currey, J. Bythell, and M. Heupel, "Evidence of Melanoma in Wild Marine Fish Populations," *PlosOne*, vol. 7, no. 8, 2012, doi: 10.1371/journal.pone.0041989.
- [11] L. Zhang, L. Hartwell, A. Jr, M. M. Vaughan, B. A. Hauser, and K. J. Boote, "Agricultural and Forest Meteorology Solar ultraviolet radiation exclusion increases soybean internode lengths and plant height," *Agric. For. Meteorol.*, vol. 184, no. July 2011, pp. 170–178, 2014, doi: 10.1016/j.agrformet.2013.09.011.
- [12] M. Pahkala, J. Merilä, I. Ots, and A. Laurila, "Effects of ultraviolet-B radiation on metamorphic traits in the common frog *Rana temporaria*," *J. Zool.*, vol. 259, no. 1, pp. 57–62, Jan. 2003, doi: 10.1017/S0952836902002984.
- [13] C. J. R. Verbeek, T. Hicks, and A. Langdon, "Degradation as a result of UV radiation of bloodmeal-based thermoplastics," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 96, no. 4, pp. 515–522, 2011, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2011.01.003.
- [14] J. Bilbao and A. de Migue, "Erythmal solar irradiance, UVER, and UV index from ground-based data in central Spain," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 18, 2020, doi: 10.3390/AP10186589.
- [15] M. S. Al-musaylh *et al.*, "Multi-step solar UV index prediction using deep learning methods," *Res. Artic.*, 2023, doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2449044/v1>.
- [16] A. T. Natasha, "Wearable UV Detector for Real Time UV Index Monitoring," Macquarie University, 2022.
- [17] WHO, "Índice UV Solar Mundial," 2003.
- [18] N. J. Dedios Mimbela, "Radiación ultravioleta. Análisis de su comportamiento estacional en diferentes sectores de la región Piura. Costa Norte del Perú," *Ing. USBmed*, vol. 7, no. 1, p. 26, 2016, doi: 10.21500/20275846.2020.
- [19] A. Tanskanen *et al.*, "Validation of daily erythmal doses from Ozone Monitoring Instrument with ground-based UV measurement data," *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 112, pp. 1–15, 2007, doi: 10.1029/2007JD008830.
- [20] V. Buchard *et al.*, "Comparison of OMI ozone and UV irradiance data with ground-based measurements at two French sites To cite this version : HAL Id : hal-00328314 Comparison of OMI ozone and UV irradiance data with ground-based measurements at two French sites," *Atmos. Chem. Phys. Discuss. Eur. Geosci. Union*, vol. 8, no. 2, pp. 4309–4351, 2008.
- [21] M. Antón *et al.*, "Comparison of UV irradiances from Aura / Ozone Monitoring Instrument ( OMI ) with Brewer measurements at El Arenosillo ( Spain ) – Part 1 : Analysis of parameter influence," *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, pp. 6797–6827, 2010, [Online]. Available: [www.atmos-chem-phys-discuss.net/10/6797/2010/](http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/10/6797/2010/).
- [22] BCRP, "Banco Central De Reserva Del Perú Sucursal Puno Caracterización Del Departamento De Puno 1," 2022. Accessed: May 29, 2022. [Online]. Available: <https://www.google.com/maps/place/Puno/@-15.0833935,->
- [23] M. Allaart, M. van Weele, P. Fortuin, and H. Kelder, "An empirical model to predict the UV-index based on solar zenith angles and total ozone," *Meteorol. Appl.*, vol. 11, no. 1, pp. 59–65, 2004, doi: 10.1017/S1350482703001130.
- [24] J. W. Spencer, "Fourier series representation of the position of the Sun," *Search*, vol. 2, no. 5, p. 172, 1971.
- [25] C. Taipe, M. Huilca, E. Mendoza, and J. Gallegos, "Comportamiento de la columna total de ozono obtenidos por el sensor EPTOMS de la NASA para la ciudad de Puno periodo 2005-2017," *Ing. USBMed*, vol. 10, no. 2, pp. 25–30, 2019, doi: 10.21500/20275846.4057.
- [26] M. Huilca and C. Taipe, "Estimación y análisis del índice ultravioleta en la ciudad de Puno durante el periodo de setiembre del 2015 a setiembre del 2016," *Ñawparisun - Rev. Investig. Científica*, vol. 1, no. 1, Dec. 2018, Accessed: Apr. 07, 2019. [Online]. Available: <http://www.unaj.edu.pe/revista/index.php/vpin/article/view/4>.
- [27] C. W. Taipe, U. Yancachajlla, J. R. Gallegos, and E. G. Mendoza, "Índice de radiación ultravioleta estimado por la Estación Meteorológica Davis de la Universidad Nacional de Juliaca," *Ñawparisun*, vol. 2, pp. 37–42, 2020.
- [28] M. Huilca, C. W. Taipe, and M. Saavedra, "Índice Ultravioleta en la ciudad de Puno para cielos claros," *Rev. Investig. Altoandinas - J. High Andean Res.*, vol. 19, no. 2, pp. 211–218, Jun. 2017, doi: 10.18271/ria.2017.280.