

Aplicación móvil para determinar el índice ultravioleta en condiciones de cielos despejados

Mobile Application to Determine the UV Index in Clear Sky Conditions

Ciro William Taipe Huaman¹
Matias Huilca Arbieto²
Eva Genoveva Mendoza Mamani³
Julio Rumualdo Gallegos Ramos⁴

¹Universidad Nacional de Juliaca, Puno, Perú. Email: c.taipe@unaj.edu.pe

²Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Email: mhuilca@unap.edu.pe

³Universidad Nacional de Juliaca, Puno, Perú. Email: eg.mendoza@unaj.edu.pe

⁴Universidad Nacional de Juliaca, Puno, Perú. Email: juliogallegos01@gmail.com

 OPEN ACCESS



Copyright:

©2022. La revista *Ingenierías USBmed* proporciona acceso abierto a todos sus contenidos bajo los términos de la licencia creative commons Atribución no comercial SinDerivar 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)

Tipo de artículo: Investigación.

Recibido: 12-11-2019.

Revisado: 06-07-2021.

Aprobado: 12-15-2021.

Doi: 10.21500/20275846.4333

Referenciar así:

C. W. Taipe Huaman, M. H. Arbieto, E. G. Mendoza Mamani y J. R. Gallegos Ramos, "Aplicación móvil para determinar el índice ultravioleta en condiciones de cielos despejados," *Ingenierías USBMed*, vol. 13, n.º 1, pp. 3-8, 2022.

Disponibilidad de datos:

todos los datos relevantes están dentro del artículo, así como los archivos de soporte de información.

Conflicto de intereses:

los autores han declarado que no hay conflicto de intereses.

Editor: Andrés Felipe Hernández.
Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia.

Resumen. La investigación se enfoca en el desarrollo una aplicación móvil para determinar el índice ultravioleta (IUV) para la región de Puno, para cielos despejados, se aplica la metodología de desarrollo de aplicaciones móviles el cual consiste en cinco etapas para el desarrollo de la aplicación. Para la implementación de la aplicación móvil se ha utilizado herramienta de programación Android Studio, el cual nos provee de simuladores de móviles. Y para el desarrollo del algoritmo que permite calcular el IUV se utilizó las ecuaciones matemáticas de Iqbal, Spencer y Hernández, los cuales se implementaron en código. Para la validación de los datos calculados se utilizó el coeficiente de correlación entre los valores calculados por la aplicación móvil y el modelo TUV para la ciudad de Puno para cielos despejados, obteniéndose valores de correlación mayores a $r = 0.98$. Concluyendo que se logró desarrollar y evaluar una aplicación móvil que permite calcular valores IUV con una confiabilidad del 98% para la región Puno, en función a los parámetros de latitud, hora y número de día juliano obtenidos por el teléfono móvil.

Palabras Clave. Aplicación móvil, Índice ultravioleta, Android Studio, Puno.

Abstract. The research focuses on the development of a mobile application to determine the ultraviolet index (IUV) for the Puno region, for clear skies, the mobile application development methodology is applied which consists of five stages for the development of the application. For the implementation of the mobile application, the Android Studio programming tool has been used, which provides us with mobile simulators. And for the development of the algorithm that allows to calculate the IUV, the mathematical equations of Iqbal, Spencer and Hernández were used, which were implemented in code. For the validation of the calculated data, the correlation coefficient between the values calculated by the mobile application and the TUV model for the city of Puno for clear skies was used, obtaining correlation values greater than $r = 0.98$. Concluding that it was possible to develop and evaluate a mobile application that allows to calculate IUV values with a 98% reliability for the Puno region, based on the parameters of latitude, time and Julian day number obtained by the mobile phone.

Keywords. Mobile Application, Ultraviolet Index, Android Studio, Puno.

I. Introducción

Las Organizaciones Internacionales Especializadas de las Naciones Unidas como la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y otras organizaciones no gubernamentales han propuesto la creación de un índice simple que informe a la población de los riesgos a la exposición a la radiación solar, este es el índice ultravioleta (IUV). En el Perú se promulgo la ley N° 30102, ley que dispone medidas preventivas contra los efectos nocivos para la salud por la exposición prolongada a la radiación solar. En su artículo 7 (Difusión de los niveles de radiación solar), especifica que se debe difundir diariamente los niveles de radiación ultravioleta en el país, así como sus efectos para la salud y la institución encargada es a través del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

En la actualidad, la información de los valores del IUV se obtiene de las bases de datos proporcionadas en las páginas web, como la que ofrece el SENAMHI [1], que son valores promedio diarios para grandes regiones, que difieren de los valores estimados en tiempo real, debido a las características del lugar, el tipo de clima que se presenta. La otra forma de obtener valores de IUV es por medio de aplicaciones móviles que proporcionan datos de páginas web, también son valores estimados promedio que difieren de las mediciones in situ, porque estos valores se estiman para áreas grandes y no se consideran la nubosidad que puede presentarse en el lugar. También hay aplicaciones que se basan en la cámara del teléfono móvil que no depende de ninguna base de datos, solo en la información proporcionada por la imagen; la dificultad es que no puede estimar los valores del IUV correctos, cuando estas imágenes no se toman de la manera adecuada [2]. También hay aplicaciones basadas en el uso del sensor de luz del teléfono móvil para estimar el valor del IUV, utiliza un factor de proporcionalidad con la radiación solar global, lo que dificulta la estimación del IUV [3], debido a que esta proporcionalidad es para los valores promedio diarios del IUV que difiere de las estimadas en tiempo real, considerando que la intensidad de la radiación solar varía durante el día. La otra forma de obtenerlo es a través de instrumentos de medición como espectroradiómetros e instrumentos portátiles de medición del IUV, cuyo resultado es extremadamente preciso, el inconveniente es que las ciudades no tienen acceso al uso de estos instrumentos.

Los teléfonos móviles, especialmente los teléfonos inteligentes se están desarrollando rápidamente en los últimos años y se están convirtiendo en los dispositivos centrales de comunicación y computación en la vida diaria de las personas. Junto con el desarrollo de los teléfonos móviles, el desarrollo de aplicaciones móviles

(APPs) también ha ganado mucha popularidad debido a su conveniencia [4], [5].

En los últimos años, han surgido varios enfoques diferentes para monitorear el bienestar de un individuo. La combinación de datos de biosensores y datos de condiciones ambientales puede ser usada para identificar el bienestar de un individuo a través de técnicas de reconocimiento de patrones [6]. En la web existen varias aplicaciones móviles para estimar el IUV, que tienen que ser validados para el lugar en estudio, como la desarrollada para la región Piura-Perú [7]. Ananno y otros [3] desarrollaron una aplicación basado en el sensor luz ambiental del teléfono móvil para estimar IUV, basados en las propiedades del sensor de luz, mientras que Mei y otros [2] utilizan las propiedades de cámara del teléfono móvil para estimar el IUV; también Morelli y otros [8] desarrollan una aplicación móvil basada en datos satelitales para estimar el IUV, ellos para su evaluación de datos calculados realizan comparaciones con datos estimados en diferentes puntos geográficos y un instrumento de medida portátil del IUV. Buller y otros [9] desarrollan una aplicación móvil para informar sobre los peligros de la sobre exposición a los niveles de IUV, Brinker y otros [10] desarrollan un aplicación de fotoenvejecimiento para prevenir la cáncer en la piel y Salvadori y otros [11] realizan la comparación de seis aplicaciones móviles para medir el IUV, llegando a la conclusión que son capaces de predecir con más del 70% de precisión.

Nuestra investigación permite estimar el IUV in situ, en la región Puno, tomando como parámetros la ubicación geográfica, el número de día juliano y la hora actual.

II. Materiales y métodos

A. Cálculo de IUV

Para estimar la irradiancia directa espectral en el suelo consideramos la ecuación (1)

$$I_{n\lambda} = I_{on\lambda} E_o \tau_{r(\lambda)} \tau_{a(\lambda)} \tau_{o(\lambda)} \quad (1)$$

Donde $I_{on\lambda}$ es la constante solar espectral a la distancia media Tierra Sol, E_o es el factor de corrección para la distancia Tierra-Sol, λ longitud de onda, $\tau_{r(\lambda)}$ transmitancia por la dispersión de Rayleigh, $\tau_{a(\lambda)}$ transmitancia espectral del aerosol atmosférico y $\tau_{o(\lambda)}$ transmitancia para el ozono [12], [13], los cuales se pueden estimar de la forma siguiente.

Transmitancia por la dispersión de Rayleigh se define como sigue:

$$\tau_{r(\lambda)} = e^{-0.008735\lambda^{-4.09} m_a} \quad (2)$$

con m_a : masa de aire relativa a la presión actual.

Transmitancia espectral del aerosol atmosférico definido como sigue:

$$\tau_a(\lambda) = e^{-\beta\lambda^{-\alpha}m_a} \quad (3)$$

Donde β es el coeficiente de turbiedad atmosférica, α es valor estrechamente relacionado con el tamaño y forma de la distribución de las partículas.

Transmitancia para el ozono de la forma:

$$\tau_o(\lambda) = e^{-k_{o\lambda}l m_o} \quad (4)$$

Donde: $k_{o\lambda}$ es el coeficiente de atenuación para la absorción del ozono, m_o es la masa de aire óptico relativa para el ozono y l es el espesor de capa de ozono [14].

Para estimar la irradiancia difusa espectral en el suelo se calcular con la ecuación (5)

$$I_{d\lambda} = I_{dr\lambda} + I_{da\lambda} + I_{dm\lambda} \quad (5)$$

Donde $I_{dr\lambda}$ es la irradiancia difusa espectral producida por la dispersión de Rayleigh, $I_{da\lambda}$ es la irradiancia difusa espectral producida por los aerosoles y $I_{dm\lambda}$ es la irradiancia difusa espectral producido por múltiples reflexiones entre el suelo y la atmósfera [12], los cuales se calcular de la forma siguiente.

La irradiancia difusa espectral producida por la dispersión de Rayleigh

$$I_{dr\lambda} = I_{on\lambda} \cos\theta_z \tau_{o\lambda} [0.5(1 - \tau_{r\lambda})\tau_{a\lambda}] \quad (6)$$

Donde θ_z , es el ángulo cenital del lugar.

La irradiancia difusa espectral producida por los aerosoles se calcula por la ecuación (7)

$$I_{da\lambda} = I_{on\lambda} \cos\theta_z \tau_{o\lambda} [F_c w_o (1 - \tau_{a\lambda})\tau_{r\lambda}] \quad (7)$$

Donde F_c se define como el cociente entre la energía dispersada en la dirección entrante y la energía dispersada total, w_o es la dispersión simple del albedo.

La irradiancia difusa espectral producido por múltiples reflexiones entre el suelo y la atmósfera se estima mediante la ecuación (8).

$$I_{dm\lambda} = Q_\lambda \left(\frac{\rho_{g\lambda}\rho_{a\lambda}}{1 - \rho_{g\lambda}\rho_{a\lambda}} \right) \quad (8)$$

Donde Q_λ es la irradiación difusa resultante de múltiples reflexiones entre el suelo y la atmósfera, $\rho_{a\lambda}$ es el albedo de la atmósfera y $\rho_{g\lambda}$ albedo del suelo.

A partir de las ecuaciones (6), (7) y (8) se obtiene la ecuación (9) para estimar la irradiancia difusa espectral.

$$I_{d\lambda} = (I_{dr\lambda} + I_{da\lambda}) \frac{1}{1 - \rho_{g\lambda}\rho_{a\lambda}} + I_{n\lambda} \cos\theta_z \left(\frac{\rho_{g\lambda}\rho_{a\lambda}}{1 - \rho_{g\lambda} - \rho_{a\lambda}} \right) \quad (9)$$

La irradiancia ultravioleta global espectral en una superficie horizontal lo calculamos por medio de la ecuación (10)

$$I_\lambda = I_{n\lambda} \cos\theta_z + I_{d\lambda} \quad (10)$$

El IUUV es formulado utilizando el espectro de acción eritemática inducido por la radiación ultravioleta sobre la piel humana, formulada por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE).

$$IUUV = k_{er} \int_{0.28}^{0.4} I_\lambda \varepsilon(\lambda) d\lambda \quad (11)$$

Donde k_{er} es una constante igual a 40 m²/W y $\varepsilon(\lambda)$ es coeficiente de acción eritemática cuyo valores vienen dados por la ecuación (12) propuestos por Madronich y Flocke [15].

$$\varepsilon(\lambda) = \begin{cases} 1 & , \lambda \leq 0.298\mu m \\ 10^{0.094(298-1000\lambda)} & , 0.298\mu m < \lambda \leq 0.328\mu m \\ 10^{0.015(139-1000\lambda)} & , 0.328\mu m < \lambda \leq 0.400\mu m \end{cases} \quad (12)$$

B. Descripción del modelo TUV

Para los pronósticos del IUUV se utiliza el modelo de Transferencia Radiativa versión 4.4 Tropospheric Ultraviolet and Visible Radiation Model (TUV) desarrollado por el Dr. Sasha Madronich en la División de Química Atmosférica del Centro Nacional para la Investigación Atmosférica (NCAR) en Boulder, Colorado. Este modelo calcula la radiación solar de onda corta en la atmósfera de la Tierra y permite evaluar las contribuciones relativas de los componentes atmosféricos y pronosticar el IUUV en condiciones de cielo despejado y en condiciones de cielo nublado. El modelo TUV permite realizar cálculos en el rango de longitudes de onda entre 100 nm y 1000 nm para el cálculo de: irradiancias espectrales y la integrada, el flujo espectral, el factor de amplificación de radiación (RAF), coeficientes de tasa de fotólisis y la irradiancia efectiva biológicamente (dosis eritemática) [16].

C. La implementación de la aplicación móvil

La implementación de la aplicación móvil se desarrolla mediante la metodología de desarrollo de aplicaciones móviles, el cual se muestra en el trabajo de Mantilla, Ariza y Delgado [17] donde se consideran cinco pasos a seguir, los cuales son: Análisis de requerimientos, Diseño, Desarrollo, prueba de funcionamiento y entrega de producto.

D. Estadístico de evaluación

Se utilizaron el error medio (MBE), llamado también sesgo o desviación, coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de correlación (r) para medir la relación lineal entre los valores medidos por la aplicación móvil con respecto a los obtenidos por el modelo TUV [18].

Están dados por las siguientes ecuaciones:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (I_{mi} - I_{si})}{n} \quad (13)$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (I_{mi} - \bar{I}_{mi})(I_{ti} - \bar{I}_{ti}) \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n (I_{mi} - \bar{I}_{mi})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (I_{ti} - \bar{I}_{ti})^2 \right]} \quad (14)$$

$$r = \sqrt{R^2} \quad (15)$$

Donde: I_{mi} es el dato medido por la aplicación móvil, I_{ti} es el dato obtenido por el modelo TUV, \bar{I}_{mi} es el promedio de los datos medidos por la aplicación móvil, \bar{I}_{ti} es el promedio de los datos obtenidos por el modelo TUV y n es el número total de observaciones [19].

III. Resultados y discusiones

El desarrollo de la aplicación móvil consistió en seguir los cinco pasos de la metodología de desarrollo de aplicaciones móviles, obteniendo el diagrama de caso de uso que se muestra en la Figura 1, en el cual se muestra la secuencia de las acciones que puede realizar la aplicación como principal función calcular el IUUV, cuyo actor principal es el usuario.

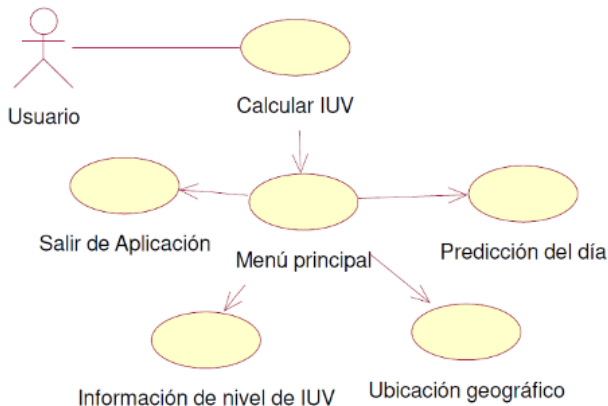


Figura 1. Diagrama de caso de uso

Se ha definido la estructura, escenario y la asignación de requerimientos de la aplicación que se observa en forma global la solución del diseño en la Figura 2. La solución propuesta permite que el móvil adquiera datos de la ubicación geográfica, el tiempo y número juliano que permita calcular el IUUV. A continuación, se muestra un esquema de la estructura.

Para el diseño de interfaces gráficas se tomó los siguientes tres puntos fundamentales. Estética Visual, Comodidad de uso e independencia del dispositivo los

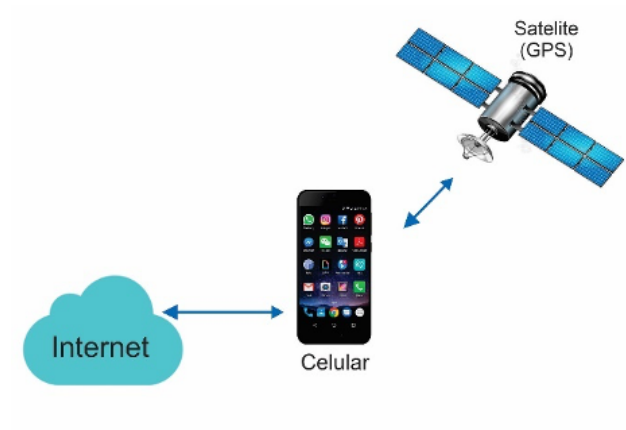


Figura 2. Estructura del diseño

cuales se muestran en la Figura 3, se muestra la pantalla principal en el cual se calcula el IUUV, luego la predicción del IUUV para un día considerando intervalos de una hora, la ubicación donde se están realizando los cálculos y las respectivas recomendaciones de protección.

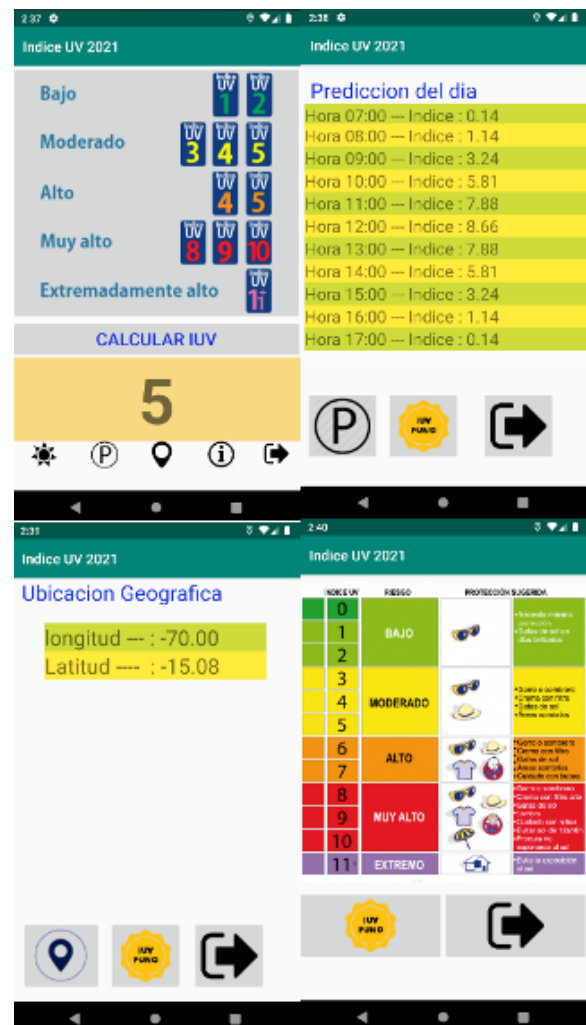


Figura 3. Interfaz del aplicativo móvil en Android Studio

Se ha codificado el algoritmo basado en los modelos matemáticos cuyo diagrama de flujo se muestra en la Figura 4, se estableciendo un código fuente en Android Studio. El cual se desarrolló en forma modular utilizando las funciones y librerías que nos permiten obtener datos del GPS, el tiempo, número juliano del día y lugar donde se encuentra el teléfono móvil.

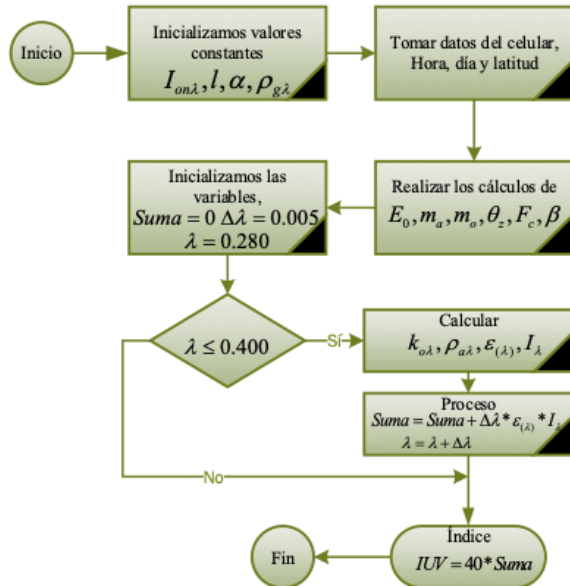


Figura 4. Diagrama de flujo del algoritmo

Para la validación de los valores calculados por el teléfono móvil, se considera valores estimados por el modelo TUV, para siete fechas en los cuales se presenta cielos despejados específicamente de los días 10 de enero, 10 de febrero, 10 y 23 de abril, 10 de setiembre, 10 y 23 de octubre del 2018. Donde los valores IUUV fueron calculados en intervalos de una hora considerando trece valores por día. En la Tabla 1 se muestra los coeficientes de correlación de la comparación entre los valores estimados por el móvil y el modelo TUV, donde se presenta un coeficiente de correlación mayor a 0.98 y un error medio máximo de 0.799 para la fecha 23 de octubre del 2018. Lo cual nos indica que es posible estimar valores de IUUV por medio de la aplicación móvil con una confiabilidad del 98% para cielos despejados lo cual está de acuerdo a los resultados de Salvadori y otros [11].

En la Figura 4, se muestran un excelente grado de asociación entre los valores calculados por el móvil y los obtenidos por el modelo TUV, para cada hora del día, considerando el intervalo de 6:00 am a 6:00 pm con un total de 12 horas. Los valores calculados por el modelo TUV y los Calculados por el móvil forman dos curvas típicas del ciclo de insolación solar para días con cielo despejados, donde los valores máximos corresponden a las horas cercanas al medio día solar y los valores mínimos a los extremos del intervalo de tiempo.

Tabla 1. Estadísticos de evaluación de valores medidos por móvil y modelo TUV

Fechas	MBE	R ²	r
10-01-18	0.545	0.990	0.995
10-02-18	0.826	0.981	0.990
10-04-18	0.276	0.996	0.998
23-04-18	0.247	0.996	0.998
10-09-18	0.347	0.993	0.996
10-10-18	0.687	0.982	0.991
23-10-18	0.799	0.977	0.988

En la Figura 5 se muestran valores estimados del IUUV que superan el valor de 8 los cuales se considera muy alto según la OMS. Por tanto, se sugiere tomar precauciones de protección en las horas de 10:00 am a 13:30.

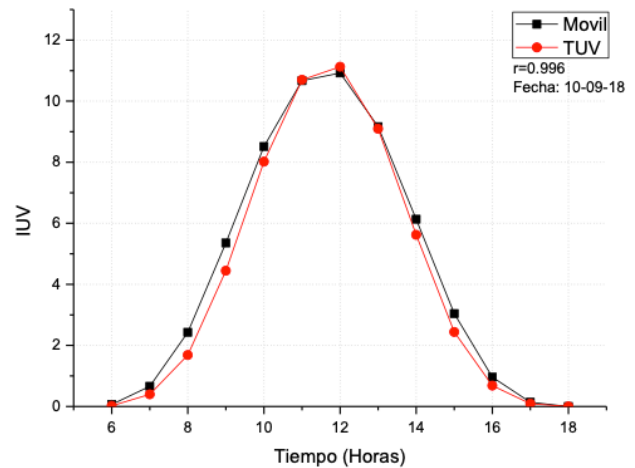


Figura 5. Comparación entre los valores calculados por el móvil y el modelo TUV para el 10 de septiembre del 2018

IV. Conclusiones

Se logró desarrollar y evaluar una aplicación móvil que permite calcular valores IUUV con una confiabilidad del 98% para la región de Puno, en función a los parámetros de latitud, hora y número de día juliano obtenidos por el teléfono móvil.

Se desarrolló la aplicación móvil aplicando la metodología de desarrollo de aplicaciones móviles lográndose implementar el algoritmo teórico en lenguaje Java y su implementación en Android Studio.

Se validaron los datos calculados por la aplicación móvil comparando con valores calculados por el modelo TUV por medio de coeficiente de correlación obteniendo valores mayores a 0.98, con lo cual se confirma la confiabilidad de lo estimado, para cielos despejados.

Referencias

- [1] SENAMHI, “SENAMHI - Puno,” 2021. [Online]. Available: <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=puno&p=pronostico-meteorologico>. [Accessed: 04-Jan-2021].
- [2] B. Mei, W. Cheng y X. Cheng, “Fog computing based ultraviolet radiation measurement via smartphones,” *Proc. - 3rd Work. Hot Top. Web Syst. Technol. HotWeb 2015*, pp. 79–84, 2016.
- [3] A. A. Ananno, A. A. Akash y A. Rahman, “Development and Prototyping of an Android Based Mobile Application to Measure UV Intensity in Real Time Development and prototyping of an android based mobile application to measure UV intensity in real time,” in *International Conference on Engineering Research and Education School of Applied sciences & Technology, SUST, Sylhet*, 2018, n.º January.
- [4] C. Seeger, A. Buchmann y K. V. Laerhoven, “MyHealthAssistant: A Phone-based body sensor network that captures the wearer’s exercises throughout the day,” *BODYNETS 2011 - 6th Int. ICST Conf. Body Area Networks*, pp. 1–7, 2012.
- [5] N. D. Lane, E. Miluzzo, H. Lu, D. Peebles, T. Choudhury y A. T. Campbell, “A survey of mobile phone sensing,” *IEEE Commun. Mag.* vol. 48, n.º 9, pp. 140–150, 2010.
- [6] Y. Jung e Y. I. Yoon, “Wellness contents recommendation based on human emotional and health status using em,” *Int. Conf. Ubiquitous Futur. Networks, ICUFN*, vol. 2015-Augus, pp. 977–981, 2015.
- [7] N. J. Dedios Mimbela, L. Rubio Rubio, J. Calle Jiménez y Y. Vásquez Domínguez, “Aplicación de Dispositivos Móviles en la Medición de los Niveles de Radiación Ultravioleta y su Validación en el Distrito de Chulucanas Región Piura Perú,” *Ing. USBmed*, vol. 8, n.º 1, pp. 49–55, 2017.
- [8] M. Morelli, A. Masini, E. Simeone y M. Khazova, “Validation and: In vivo assessment of an innovative satellite-based solar UV dosimeter for a mobile app dedicated to skin health,” *Photochem. Photobiol. Sci.*, vol. 15, n.º 9, pp. 1170–1175, 2016.
- [9] D. B. Buller, M. Berwick, J. Shane, I. Kane, K. Lantz y M. K. Buller, “User-centered development of a smart phone mobile application delivering personalized real-time advice on sun protection,” *Transl. Behav. Med.*, vol. 3, n.º 3, pp. 326–334, 2013.
- [10] T. J. Brinker *et al.*, “A skin cancer prevention facial-aging mobile app for secondary schools in Brazil: Appearance-focused interventional study,” *J. Med. Internet Res.*, vol. 20, n.º 3, p. e60, 2018.
- [11] G. Salvadori, F. Leccese, D. Lista, C. Burattini y F. Bisegna, “Use of smartphone apps to monitor human exposure to solar radiation: Comparison between predicted and measured UV index values,” *Environ. Res.*, vol. 183, n.º October 2019, p. 109274, 2020.
- [12] M. Iqbal, *An introduction to solar radiation*. Academic Press, 1983.
- [13] J. W. Spencer, “Fourier series representation of the position of the Sun,” *Search*, vol. 2, n.º 5, p. 172, 1971.
- [14] K. Hernández, R. Morera y J. Wright, “Medición y cálculo del índice ultravioleta en Costa Rica,” *Tópicos Meteorológicos Y Ocean.*, vol. 2, pp. 41–55, 2014.
- [15] S. Madronich y S. Flocke, “Theoretical Estimation of Biologically Effective UV Radiation at the Earth’s Surface,” *Sol. Ultrav. Radiat.*, vol. I, pp. 23–48, 1997.
- [16] Drupal, “Modelo de radiación troposférica ultravioleta y visible (TUV) | Observaciones y modelado de la química atmosférica (ACOM),” 2021. [Online]. Available: <https://www2.acom.ucar.edu/modeling/tropospheric-ultraviolet-and-visible-tuv-radiation-model>. [Accessed: 03-Aug-2021].
- [17] M. C. G. Mantilla, L. L. C. Ariza y B. M. Delgado, “Metodología para el desarrollo de aplicaciones móviles,” *Rev. Tecnura*, vol. 18, n.º 40, pp. 20–35, 2014.
- [18] 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.
- [19] H. Tabari, “Evaluation of reference crop evapotranspiration equations in various climates,” *Water Resour. Manag.*, vol. 24, n.º. 10, pp. 2311–2337, 2010.