

Modelamiento y pronóstico del índice ultravioleta solar en Huancayo

Modeling and forecast of solar ultraviolet index at Huancayo

Luis Suárez Salas¹, Ana Contreras Marín², Hugo Trigoso Avilés³
ONG ININDETEC

RESUMEN

Objetivos: Implementar un modelo radiativo para realizar el pronóstico de la radiación ultravioleta (RUV) eritémica (de efecto en la piel humana) en Huancayo. **Métodos:** La investigación fue descriptiva comparativa. Se utilizó el modelo Tropospheric Ultraviolet Visible (TUV) del National Center for Atmospheric Research (NCAR). Se acondicionaron los parámetros de ingreso para las condiciones atmosféricas de Huancayo, como la distribución vertical de ozono y temperatura, la climatología de ozono total, la altura y el albedo de la ubicación. Con estos datos de ingreso el modelo generó datos cada 3 minutos durante las 24 horas de los 365 días del año. Para su validación se utilizaron mediciones en tierra, sincronizándolo con el radiómetro espectral GUV-511 Biospherical Inc., que brinda mediciones a 305, 320, 340 y 380 nm. Se determinó el coeficiente de correlación de Spearman para la evaluación estadística. **Resultados:** El análisis determinó la buena capacidad de réplica del modelo TUV de la variación horaria de la RUV en esta ubicación. Así también, el análisis estadístico de los datos reportó un coeficiente de correlación promedio de 0,88 ($p < 0,05$) y se pudo validar el modelo, haciendo una evaluación individual de datos en días despejados y nublados. **Conclusiones:** Esto permitió implementar el modelo TUV para pronosticar la climatología anual de la RUV eritémica en Huancayo, en términos del Índice UV, para brindar una información cuantitativa a la población sobre los niveles de RUV a la que están expuestos, el tiempo máximo de exposición al sol sin



Luis Suárez

doctorozono@yahoo.com

riesgo y con ello tomar decisiones para proteger su salud.

Palabras clave: Modelamiento radiativo, Índice UV, radiación UV, Huancayo.

¹ Ingeniero químico; investigador del Instituto de Investigaciones para el Desarrollo Tecnológico (ONG ININDETEC)

² Ingeniero químico; docente de la Universidad Alas Peruanas.

³ M.Sc. en geofísica espacial; investigador del Observatorio de Ancón del Instituto Geofísico del Perú.

ABSTRACT

Objectives: Implement a radiative model to forecast the erythemal (that affects the human skin) UV radiation (UVR) in Huancayo city. **Methods:** The research was descriptive and comparative. It was used the Tropospheric Ultraviolet Visible (TUV) model of the National Center for Atmospheric Research (NCAR). It was conditioned the input parameters for atmospheric conditions of Huancayo, like: ozone and temperature vertical distributions, total ozone climatology, altitude and albedo of the location. With these input data the model generated data every 3 minutes during the 24 hours of the 365 days of a year. For model validation, it was used ground measurements. For this, it was synchronized the spectral radiometer instrument GUV-511 of Biospherical Inc. that provides measurements at 305, 320, 340 and 380 nm. It was determined the Spearman's correlation coefficient for statistical evaluation. **Results:** The analysis determined the good ability of TUV model to replicate the hourly variation in this location. Thus, also, the statistical analysis of the dataset reported a mean correlation coefficient of 0.88 ($p < 0.05$) and it was possible to validate the model, making a detailed evaluation with data of cloudy and cloud-free days. **Conclusions:** It was possible to implement a radiative model, TUV, for forecast the annual climatology of erythemal UV radiation at Huancayo, in terms of the UV index. It will be useful to provide quantitative information to the population about the UV radiation levels that they are exposed, the maximum time for sun exposure without risk and with it to take decisions to protect their health.

Keywords: Radiative modeling, UV index, UV radiation, Huancayo.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas se ha incrementado la preocupación por los

efectos adversos de una excesiva exposición a la radiación ultravioleta (RUV) proveniente del sol en la salud pública. Diversos estudios han evaluado los posibles efectos en la salud humana considerándose de especial importancia: el cáncer de piel (1), las cataratas oculares (2) y la alteración del sistema inmunológico (3). Por ello, se han desarrollado diversos mecanismos para incrementar la conciencia de las personas y así disminuir este riesgo.

Una de las herramientas más útiles ha sido la implementación del índice ultravioleta (Índice UV) Solar (4, 5) que reporta la intensidad de la radiación UV eritémica, que tiene efecto en la piel al producir el eritema, enrojecimiento de la piel, primera señal de daño. Este Índice UV, a través de un programa educativo, permite informar a la población de manera cuantitativa sobre el tiempo máximo de exposición, dependiendo del tipo de piel, y así reducir los riesgos de daño a la piel.

Los reportes científicos han indicado que no hay un incremento significativo de la intensidad de la RUV en la región tropical (25°N a 25°S) (6, 7) que coincide con los reportes de que tampoco hay una reducción de la capa de ozono en la región tropical y de que su valor es mínimo, pero poco variable en el transcurso del año (8). Durante los últimos años se habla con mayor frecuencia de una recuperación de la capa de ozono, especialmente en la Antártica (9) como producto de la severa reducción de los compuestos clorofluorocarbonados, que es un importante resultado del Protocolo de Montreal creado para la protección de la capa de ozono.

El Perú debido a su ubicación geográfica en la región tropical recibe intensa radiación solar y tiene una natural mínima protección de la capa de ozono. De manera especial, la región andina es considerablemente vulnerable a los efectos adversos.

En esta región viven cerca del 40% de la población peruana, comprendiendo ciudades a más de 2 000 msnm. Así, por ejemplo Huancayo recibe niveles altos de

RUV durante todo el año, considerados los más altos del planeta (10, 11), con el consecuente riesgo a la población. En esta región se llegan a alcanzar valores de 25 en el Índice UV, que es el nivel más alto de RUV del mundo (12).

Aparentemente, los diversos mecanismos de autoprotección del cuerpo humano han desarrollado una pigmentación en la piel que reduce los efectos adversos. Sin embargo, el cáncer de piel es una enfermedad habitual en la población andina habiéndose detectado los cáncer de piel tipo carcinoma celular basal (CCB), carcinoma celular escamoso (CCE) y melanoma cutáneo (MC) (13).

El problema del presente trabajo es ¿Cuáles son las condiciones atmosféricas óptimas para modelar la radiación UV eritémica en la ciudad de Huancayo?. El objetivo es implementar un modelo radiativo para pronosticar la radiación UV eritémica, en términos del Índice UV, a condiciones geográficas y atmosféricas de Huancayo, y realizar sus correcciones y la respectiva validación con las mediciones en tierra efectuadas con un radiómetro espectral.




Esto para desarrollar un mecanismo de información orientada al público y contribuir en la toma de decisión para proteger su salud y reducir los riesgos de un problema de salud pública como es el cáncer de piel.

MATERIAL Y MÉTODOS

El tipo de investigación propuesta fue descriptiva comparativa. El modelo radiativo utilizado en el presente trabajo de evaluación de la RUV fue realizada con el modelo Tropospheric Ultraviolet Visible (TUV) del National Center for Atmospheric Research (NCAR) versión 4.1a (14). Este es un modelo radiativo usado sobre el rango de radiación de 121 a 750 nm, para calcular la irradiancia espectral, el flujo actínico, los coeficientes de fotodisociación (valores J), y la irradiancia efectiva biológicamente, y a partir de esta el Índice UV.

El código está escrito en FORTRAN 77 estándar y opera en un entorno UNIX. Este modelo fue adaptado a las condiciones de Huancayo, habiéndose cambiado valores característicos de la ubicación, en caso de existir o de lo contrario los valores de una estación en la región tropical cercana. Por ejemplo, para la distribución vertical de ozono y de temperatura fueron usados datos de la estación de San Cristóbal, Ecuador (lat. 0.92°S y long. 89.6°O) (15). El albedo fue asumido como 10.0% para una superficie de pasto (16). La climatología anual del ozono total fue obtenida mediante el promedio 1965-1990 de las mediciones efectuadas en el Observatorio de Huancayo (17). Por otro lado, debido a su mínima influencia se despreció el efecto de los aerosoles y de otros contaminantes del aire, además de la no disponibilidad de dichos datos. Tampoco fue considerado la nubosidad debido a su alta variabilidad y

Tabla N° 1: Categorías de exposición a la radiación UV y sus colores respectivos, con códigos de color internacionales.

I-UV	Categoría	Color	
< 3	Baja	Verde PMS 375	
3 – 5	Moderada	Amarillo PMS 102	
6 – 7	Alta	Naranja PMS 151	
8 – 10	Muy alta	Rojo PMS 032	
> 10	Extrema	Púrpura PMS 265	

difícil capacidad de pronóstico.

La variable principal de estudio generada por el modelo fue el Índice UV. Este es una forma óptima de comunicar a la población sobre los niveles de RUV eritémica. El Índice UV se reporta como un valor entero de 0 a 20 e indica los niveles de la RUV eritémica sobre la superficie terrestre y permite a las personas calcular su tiempo máximo de exposición al sol sin riesgo de sufrir un eritema. La Tabla 1 indica las categorías y su representación en colores, según su nivel de riesgo. Estas definiciones se encuentran en el texto "Índice UV solar mundial: guía práctica", preparada durante varios años de trabajo por un grupo de especialistas y es una recomendación conjunta de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante (ICNIRP) donde se describen las estrategias básicas para la difusión adecuada del I-UV (5).

multiplicación de la RUV (en $W.m^{-2}$) en la región de 280 a 400 nm por el espectro de acción eritémico (EE), el cual nos indica la sensibilidad de la piel en función de la longitud de onda respectiva (18). Esta dependencia se puede ver en la Figura 1, notándose que la sensibilidad es mayor a menor longitud de onda. Luego, el resultado es nuevamente multiplicado, esta vez por el valor de 40, que da como resultado un valor entre 0 a 20, el cual se redondea a un valor entero sin decimales, obteniéndose así el valor a reportar del I-UV. En la Figura 1 también se muestra el resultado de la multiplicación para dos instantes a distintos valores de la RUV.

Asimismo, las personas pueden determinar su dosis mínima eritémica (MED), según su tipo de piel, para ello, existe una clasificación según su sensibilidad definida por el dermatólogo Thomas Fitzpatrick, comprendiendo principalmente 6 tipos (ver Tabla 2). Con esta información es posible que una persona determine el tiempo mínimo de exposición sin riesgo a sufrir un eritema según la fórmula siguiente:

El valor del I-UV es calculado mediante la

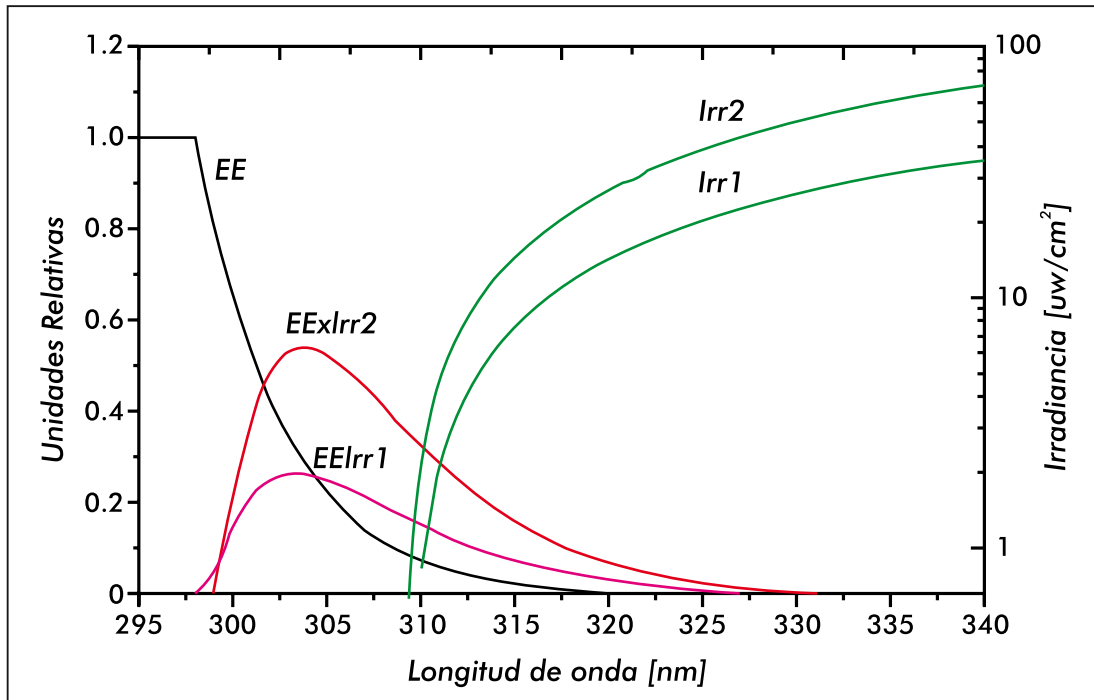


Figura N° 1: Relación entre el espectro eritémico $EE(\lambda)$, y el espectro de irradiancia $Irr(\lambda)$, para la determinación de la radiación ultravioleta eritémica (UV_{eri}), a diferentes concentraciones de ozono en UD.

Tabla Nº 2: Fototipos de piel según Thomas Fitzpatrick (22).

Tipo	Fototipos de piel	MED
A(I)	Nunca se broncea/siempre enrojece	1 – 3
B(II)	Se broncea poco/casi siempre enrojece	3 – 5
C(III)	Casi siempre se broncea/ enrojece poco	4 – 7.5
D(IV)	Se broncea siempre/rara vez enrojece	5 – 12
E(V)	Piel morena : muy rara vez se quema	10 – 16
F(VI)	Piel negra: está bronceada/no se quema	13 – 18

$$t \text{ (min)} = \frac{\text{MED} \times 60}{\text{IUV}}$$

Para la medición espectral de la RUV se utilizó el radiómetro de filtro multicanal GUV-511, fabricado por Biospherical Instrument Inc. (BSI), San Diego, California, EE.UU. El radiómetro tiene cuatro canales en la región UV, centrados en 305, 320, 340 y 380 nm, respectivamente. El ancho de banda espectral de cada uno es aproximadamente de 10 nm (full-width at half-maximum, FWHM). Este instrumento fue instalado libre de interferencias en el Observatorio de Huancayo (lat. 12.05 °S, long. 75.32 °O y 3 313 msnm) del Instituto Geofísico del Perú.

Cada uno de los cuatro canales fue sincronizado para registrar valores promedios de la irradiancia, cada 3 minutos, medidos en unidades de $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$ (para convertir a $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$ solo dividir por 100). En el caso del radiómetro GUV-511, para la obtención del I-UV los valores de 305, 320 y 340 son multiplicados con sus respectivos valores de calibración para luego sumarlos y finalmente, obtener el valor del I-UV. El registro de mediciones con este instrumento se realiza desde setiembre del 2002 y ha venido siendo realizado tanto en Huancayo como en la Estación Antártica, con apoyo de las universidades locales y del Instituto Antártico Peruano. Es el único medidor espectral de radiación UV del Perú.

Finalmente, para el análisis de datos se determinó el coeficiente de correlación de Spearman a un nivel de confianza de 95%.

Para esto se utilizó el software Matlab (The Mathworks, Inc., EE.UU) debido a su mayor capacidad de trabajo con matrices.

RESULTADOS

Las mediciones efectuadas con el radiómetro espectral permitieron cuantificar adecuadamente la RUV eritémica en Huancayo, en términos del I-UV, donde cabe resaltar que se registraron valores máximos de 18 en días despejados y con picos de más de 20 unidades, esto debido a la capacidad de dispersión, reflexión y refracción de las nubes acorde con lo reportado por Liley y McKenzie (12) para una evaluación con énfasis en la región tropical. Esta alta RUV que recibe Huancayo se debe principalmente a la reducida concentración de la capa de ozono, característico de la región tropical (10), y en el caso de Huancayo, se debe incluir el factor de su ubicación por sobre los 3 000 msnm, la altura incrementaría la RUV en $7\% \pm 2\%$ por cada 1 000 m (19, 20). Asimismo, se generaron los datos del I-UV con el modelo TUV de modo sincronizado cada 3 minutos durante 24 horas y los 365 días correspondientes a un año, generándose así dos matrices de 480x365 datos.

Una muestra de los resultados se presenta

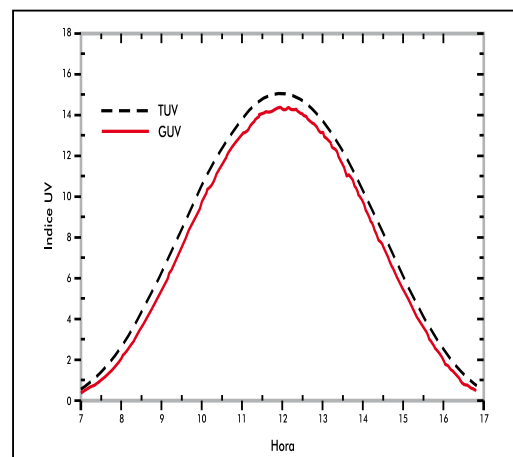


Figura Nº 2: Variación horaria del Índice UV para Huancayo. Datos radiómetro GUV y modelo TUV, 8 de setiembre del 2002.

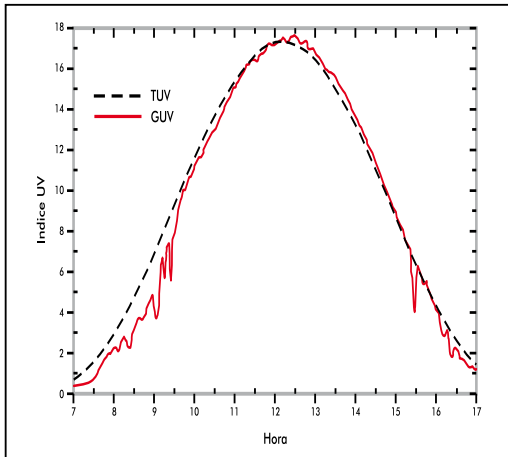


Figura Nº 3. Variación horaria del Índice UV para Huancayo. Datos radiómetro GUV y modelo TUV, 18 de enero del 2003..

en las figuras 2 y 3, que son mediciones efectuadas en el invierno y verano, respectivamente, para los días más despejados. Es posible ver la adecuada réplica de la variación horaria de la RUV, pero además la diferencia debido a la presencia de nubes. También estos resultados se presentan considerando las recomendaciones de las reuniones de

especialistas para uniformizar el reporte del Índice UV (21) que indican que cuando se pronostica el Índice UV del día siguiente, este es elaborado para el mediodía y asumiendo el cielo despejado, y también que el rango de incertidumbre puede estar entre $\pm 10\%$.

Luego, utilizando el software Matlab para realizar la prueba estadística de correlación de Spearman se evaluaron las dos matrices: mediciones en tierra y datos del modelo dando un promedio de los valores del coeficiente de correlación de 0,88 ($p < 0,05$). Con ello, se asume que el valor obtenido es aceptable y así emplear el modelo TUV para modelar la RUV en Huancayo para fines de estudiar el Índice UV y considerando también que no se ha modelado los efectos de las nubes en el modelo y siguiendo los lineamientos descrito por las instituciones especialistas a nivel mundial (5, 21).

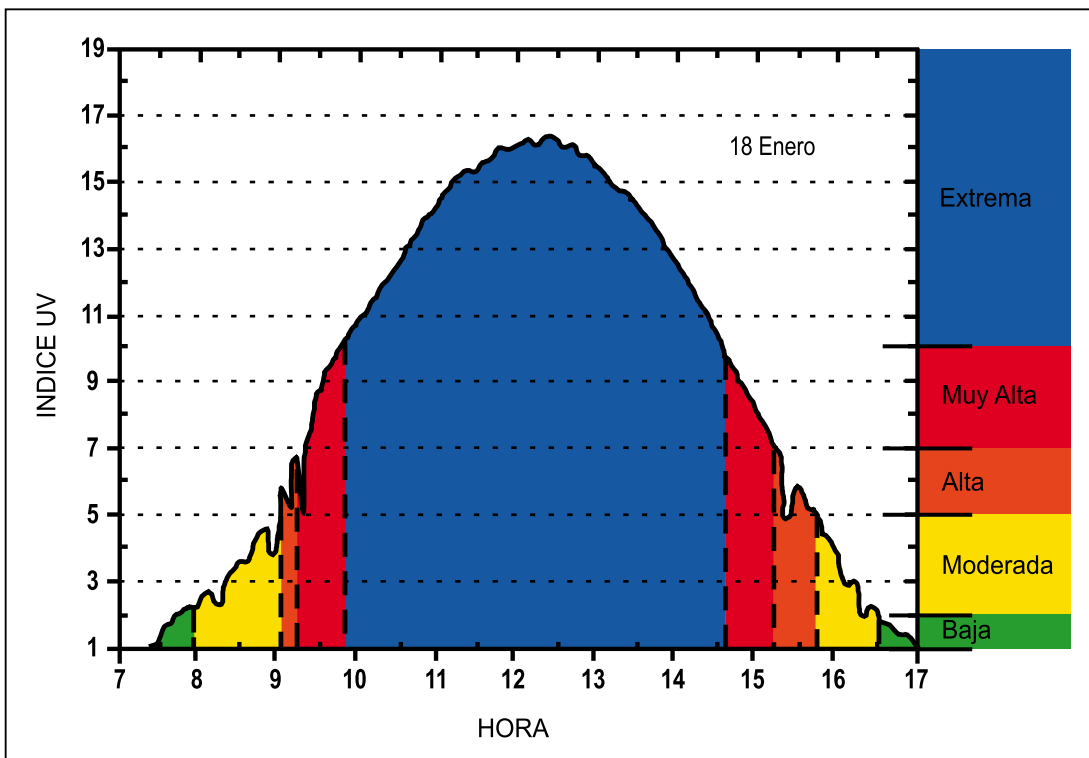


Figura Nº 4: Categorías del I-UV durante el día utilizando la escala de la OMS (5).

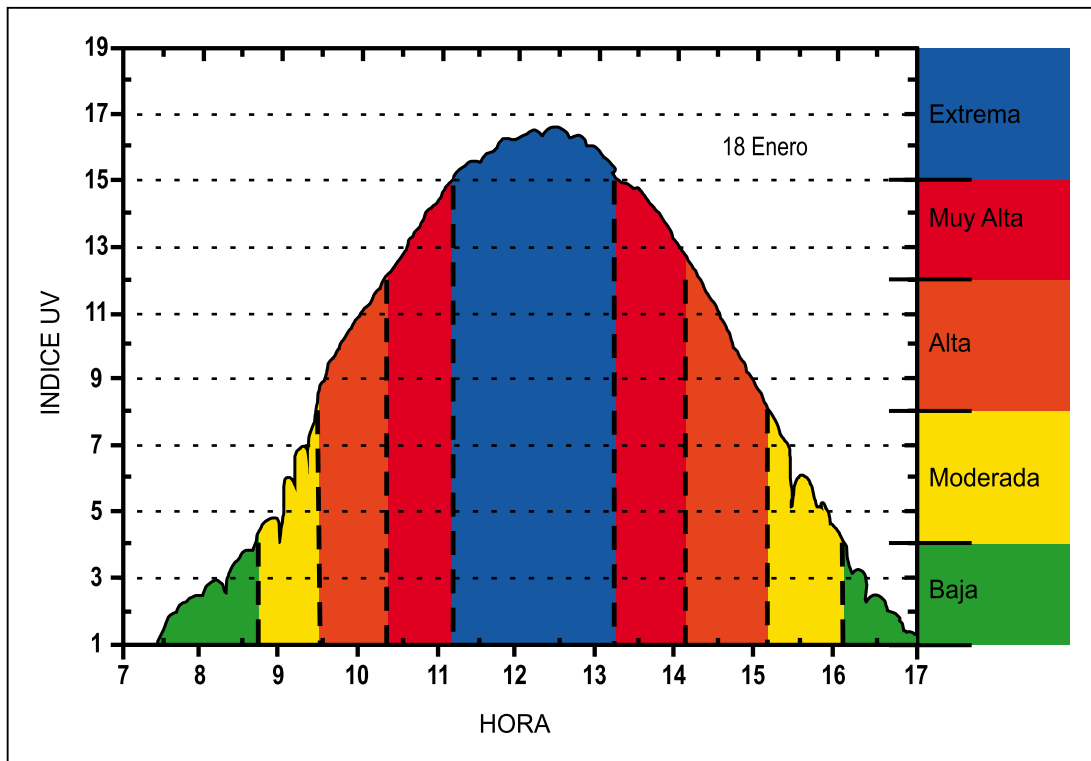


Figura Nº 5: Categorías del I-UV durante el día, sugerida por el presente trabajo para la región tropical.

DISCUSIÓN






Sobre la base de las mediciones y el modelamiento del Índice UV en Huancayo se ha demostrado que se registran valores de más de 17 unidades, por las condiciones naturales de su ubicación geográfica. Esto hace necesaria una redefinición de las categorías del I-UV (5) para una mejor difusión de la información debido a que para la población es difícil distinguir la categoría de Extrema y además, que este nivel se registra en la mayor parte del día y del año. Evaluando la variación diaria de la RUV y sus valores máximos en el año se propone la siguiente escala mostrada en la Tabla 3, que permitiría una mejor información de los niveles de RUV de efecto en la piel a la que está expuesta la población de Huancayo y andina del Perú. Esta nueva escala facilitaría la diseminación del riesgo de la exposición a la RUV en los centros educativos y de salud.

Las Figuras 4 y 5 muestran la diferencia de áreas durante el día considerando las

categorías de la escala de la Organización Mundial de la Salud (5) y la propuesta por el presente trabajo. Se debe considerar que la gran área cubierta por la escala WHO no es sinónimo de "Extremo" para nuestra ubicación, debido a que está orientada principalmente a la población de piel blanca, tipo de piel I, según los estudios de Thomas Fitzpatrick (22), esto es para el caso de los rubios y con ojos azules. Por ejemplo, para una escala Índice UV "Extrema" de 12 unidades, una persona de piel tipo A podrá exponerse solo ~ 10 mn. Pero en el caso de la población de Huancayo, la situación es distinta debido a que la predominancia del tipo de piel es C y D, existiendo pocos casos de B. El tiempo mínimo de exposición al Sol para los tipos de piel C y D sería de cerca de 30 y 40 min, respectivamente.

También debemos de considerar que estas categorías del I-UV fueron creadas inicialmente en Canadá teniendo en cuenta su tipo de piel predominante, que es el tipo I (4). Por ello, una reformulación de la escala se hace necesaria para el caso de ciudades de la región tropical (12).

Tabla Nº 3: Categorías de exposición a la radiación UV y sus colores respectivos, con códigos de color internacional.

Índice UV	Categoría	Color	
< 4	Baja	Verde PMS 375	
4 – 7	Moderada	Amarillo PMS 102	
8 – 11	Alta	Naranja PMS 151	
12 – 15	Muy alta	Rojo PMS 032	
> 15	Extrema	Púrpura PMS 265	

Así, las nuevas categorías propuestas tienen la característica de limitar la categoría de "Extrema", principalmente a la época de verano (diciembre – marzo), pese a que es el período de lluvias y cielos nublados en la región andina, pero que a su vez es tiempo de vacaciones y de mayor actividad al aire libre de jóvenes y niños, por lo que debería de protegerse con mayor consideración. También, permite mostrar las categorías de "Alta" en el invierno (junio – setiembre) que en la región andina es la temporada de cielos despejados y mayor tiempo de horas

de sol. La Figura 6 nos muestra el pronóstico de la climatología anual de la RUV en Huancayo que fue obtenida empleando datos generados por el modelo TUV, luego de ingresar los datos característicos de la ubicación, y empleando la escala de valores y colores de la Tabla 3, en plena concordancia con los lineamientos de la OMS y otras importantes instituciones de la temática de las radiaciones (5)

El trabajo permitió cuantificar los niveles de RUV eritémica para Huancayo, en términos

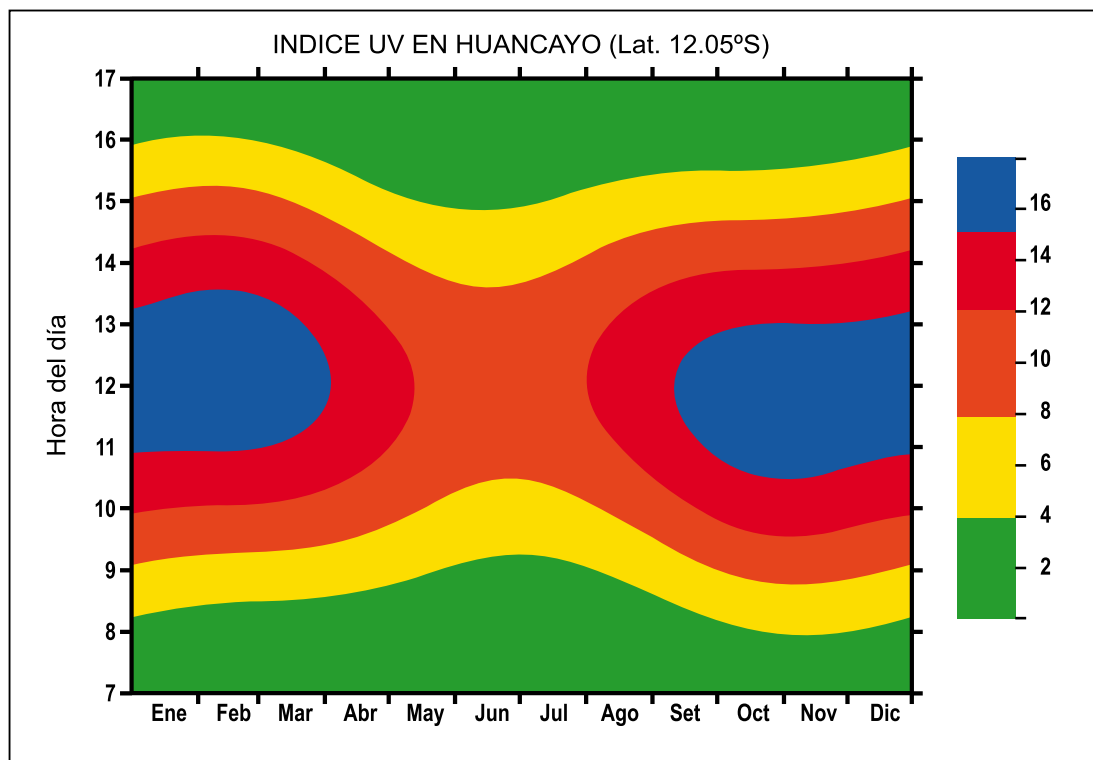


Figura Nº 6: Climatología del Índice UV para Huancayo (bajo condiciones de cielo despejado) con la escala propuesta para la región tropical.

del Índice UV, con la finalidad de proveer de información a la población y sectores relacionados con la salud y educación. Implementó el modelo TUV para replicar la RUV en esta ubicación, habiéndose obtenido el valor promedio en el coeficiente de correlación de 0,88, cuando se realizó la comparación con las mediciones en tierra. Proponemos una nueva formulación de los niveles de la escala del Índice UV, para que este más acorde con los niveles de RUV que se registran y con el tipo de piel predominante de la población en esta ubicación. También pronosticamos el Índice UV para las características atmosféricas de Huancayo en función de un año cualquiera, labor que puede desarrollarse en otras ciudades importantes y, con mayor entrenamiento, en todo el Perú.

Agradecimientos

A CONCYTEC por el financiamiento brindado para la ejecución de la mayor parte del presente trabajo a través del programa PROCYT. Al Observatorio de Huancayo del Instituto Geofísico del Perú. También al Ph.D. James Slusser del USDA a través del Ultraviolet Radiation Monitoring Program por el apoyo con la instrumentación para la medición de la radiación UV espectral. Al Dr. Sasha Madronich por su apoyo en la adaptación del modelo radiativo TUV.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. De Grujil FR. Health effects from the sun's ultraviolet radiation and ozone as a stratospheric sunscreen, *Global Change and Human Health*, Vol. 1 (1), 26 – 40; 2000.
2. Sliney DH. UV radiation ocular exposure dosimetry, *Journal of Photochemistry and Photobiology: B, Biology*, 31 (1-2), 69-77; 1995.
3. Van der Leun J, Tang X, Tevini N (Editores), *Environmental effects of ozone depletion: 1998 assessment*, United Nations Environment Programme, Nairobi; 1998.
4. Burrows WR, Vallee M, Wardle DI, Kerr JB, Wilson LJ y Tarasick DW. The Canadian operational procedure for forecasting total ozone and UV radiation. *Meteorological Applications*, 1, 247-265; 1994.
5. WHO. Global Solar UV Index: a practical guide, WHO/SDE/OEH/02.2, disponible en español en: <http://www.who.int/uv/publications/en/uvispa.pdf>, Ginebra, Suiza; 2002.
6. Douglass A, Fioletov V, Godin-Beekmann S, Müller R, Stolarski R S, y Webb A. Stratospheric ozone and surface ultraviolet radiation, Capítulo 2 en *Scientific assessment of ozone depletion; 2010*, Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 52, Vol. 2, 516 págs, Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza; 2011.
7. Herman JR y McKenzie RL. Ultraviolet radiation at the earth's surface, capítulo 9 en *Scientific assessment of ozone depletion: 1998*, Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 44, 558 págs, Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza; 1999.
8. Chipperfield, MP y Randel WJ. Global ozone: past and future, capítulo 2 en *Scientific assessment of ozone depletion: 2002*, Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 47, Vol. 1, 485 págs, Organización Meteorológica

- Mundial, Ginebra, Suiza; 2003.
9. Salby M, Titova E, Deschamps L. Rebound of Antarctic ozone, *Geophysical Research Letters*, 38, L09702, doi:10.1029/2011GL047266; 2011.
 10. Ylias M, Pandey A, Hassan SIS. UV-B radiation at Pennang, *Atmospheric Research*, 51 (2), 141-152; 1999.
 11. Suárez L, Trigos H. Radiación UV-B en Huancayo, Trabajos en el XXIV Congreso Latinoamericano de Química. Lima; 2000.
 12. Liley JB, McKenzie RL. Where on Earth has the highest UV?, en artículos del Taller "Radiación UV y sus efectos: una actualización", National Institute of Water and Atmospheric Research, págs. 26-37, (disponible en https://www.niwa.co.nz/sites/default/files/import/attachments/Liley_2.pdf); 2006.
 13. Rodríguez, C. Daño a la piel en altura, Trabajo presentado en el Congreso de Dermatología. Lima; 2002.
 14. Madronich S. UV radiation in the natural and perturbed atmosphere, en M. Tevini, (Editor), "Environmental Effects of UV (Ultraviolet) Radiation", Lewis Publisher, Boca Raton, págs. 17-69, 1993.
 15. Thompson A M, y col. Southern Hemisphere Additional Ozonesondes (SHADOZ) 1998–2000 tropical ozone climatology 1. Comparison with Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) and ground-based measurements, *Journal of Geophysical Research*, 108, 8238, doi:10.1029/2001JD000967, D2; 2003.
 16. McKenzie R L, Kotkamp M y Ireland W. Upwelling UV spectral irradiances and surface albedo measurements at Lauder, New Zealand, *Geophysical Research Letters*, 23 (14), 1757-1760; 1996.
 17. Suárez L. Mediciones de ozono total en el Observatorio de Huancayo, en J. Tavera (Editor), "Trabajos de investigación de practicantes del Instituto Geofísico del Perú", Instituto Geofísico del Perú. Lima, pág. 16-25; 2000.
 18. McKinlay A F y Diffey B L. A reference action spectrum for ultra-violet-induced erythema in human skin, en Passchier W F y Bosnjakovic B F M (Editores): "Human Exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and Regulations", Elsevier, New York, págs. 83-87; 1987.
 19. McKenzie R L, Johnston P V, Smale D, Bodhaine B A y Madronich S. Altitude effects on UV spectral irradiance deduced from measurements at Lauder, New Zealand, and at Mauna Loa Observatory, Hawaii, *Journal of Geophysical Research*, 106(D19), 22845–22860, doi:10.1029/2001JD900135, 2001.
 20. Zaratti F, Forno R N, García Fuentes J y Andrade M F. Erythemally-weighted UV variations at two high-altitude locations, *Journal of Geophysical Research*, 108 (D9), 4263, doi:10.1029/2001JD000918, 2003.
 21. WMO. Report of the WMO-WHO Meeting of experts on standardization of UV Indices and their dissemination to the public, Les Diablerets, Rep. 127; 1998.
 22. Sachdeva S. Fitzpatrick skin typing: Applications in dermatology. *Indian Journal of Dermatology, Venereology and Leprology*, 75 (1), 93-96; 2009.