

Nivel de la Radiación Solar UV e incidencia de enfermedades relacionadas con su exposición en el departamento de Tumbes

Level of solar UV radiation and incidence of diseases related with its exposure in the department of Tumbes

Carlos Cánepa L⁽¹⁾, Gerardo Cruz C⁽²⁾, José Silva Ch⁽²⁾, José Cruz M⁽¹⁾, Fernando Fernández N⁽³⁾, Walter Castañeda G⁽⁴⁾

Resumen

La investigación tuvo como principal objetivo determinar los niveles de radiación solar ultravioleta (RSUV) en el departamento Tumbes y la incidencia de las principales enfermedades relacionadas con su exposición. Para determinar los niveles de RSUV, se determinó el índice UV entre febrero del 2010 y abril del 2014; y se construyeron curvas de tendencia. Con la información de enero del 2013 a abril del 2014 se construyeron curvas de comportamiento horario del índice UV por meses; durante enero a abril del 2014 se midió la radiación en los rangos UVA/B y UVC. La información de casos de enfermedades relacionadas con la exposición a la radiación UV fue tomada de la Oficina de Estadística del Ministerio de Salud y de la Oficina de Estadística del INEN (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas) y fue sistematizada en gráficos. Los niveles de índice UV alcanzaron máximos en el año 2010, llegando a valores de 16, considerado como extremo de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud. El 2013 fue el año con menores niveles índice UV. Es en los meses de verano se alcanzan los mayores niveles de radiación UV. Los mayores niveles de radiación UV son alcanzados entre el medio día y las 14.00 horas, en todas las épocas del año; niveles alcanzados suponen un riesgo sobre la salud humana. En cuanto a las enfermedades ligadas a la exposición a la radiación solar ultravioleta, los casos de catarata senil han ido en aumento en los últimos 4 años, desde menos de 10 en el 2010 hasta más de 50 en el 2013- También hay un aumento de los casos de cánceres del tipo no melanoma de 1 caso en el 2009 a 5 en el 2011.

Palabras clave: índice UV, enfermedades, exposición radiación solar UV, Tumbes

Abstract

The aim of this research was to determine the ultraviolet solar radiation RSUV in Tumbes and to study the incidence of the diseases related to UV radiation exposure. To determine the solar radiation levels, the UV index was determined between February 2010 and April 2014; and curves were built to explain the behavior of the UV index along the time; curves were built with the UV index data between January 2013 and April 2014 to explain about diary average UV index per month; during January and April 2014, UVA/B and UVC spectrum of the UV radiation were measured. Data related to cases of diseases caused by UV solar radiation in Tumbes was collected from the Peruvian Ministry of Health and the National Institute of Neoplastic diseases, Lima, Peru. The highest levels of UV index were reached in 2010. At that time the UV index reached 16, that is consider as extreme according the World Health Organization. The lowest levels of UV index were reached in 2013. Summer is the season where the highest UV values are reached. The highest values of UV index are obtained between midday and 14.00 hours in all the seasons of the year; these levels suppose a risk against human health. The cases of age-related cataract increased in the last 4 years from at least 10 in 2010 to more than 50 in 2013. The cases of non-melanoma cancer increased from 1 in 2009 to 5 in 2011.

Keywords: UV index, diseases, solar UV radiation exposure, Tumbes

1 Departamento de Química y Física, Universidad Nacional de Tumbes

2 Departamento de Ingeniería Forestal y Gestión Ambiental, Universidad Nacional de Tumbes

3 Departamento de Gineco-Obstetricia, Universidad Nacional de Tumbes

4 Departamento de Matemáticas y Estadística, Universidad Nacional de Tumbes

Introducción

El problema global del agotamiento de la capa de ozono ha sido extensamente estudiado y se encuentra ampliamente documentado. Principalmente este problema es derivado de la emisión de compuestos como los Clorofluorocarbonos (CFC), los cuales en presencia de luz solar degradan el ozono presente en la estratosfera, la que actúa como filtro de las radiaciones ultravioletas provenientes del sol. Debido al agotamiento de esta capa, es que actualmente la incidencia de la radiación solar ultravioleta (UV) en muchos lugares del mundo ha venido en aumento (Pierce, Urías and Almanza 2006; O’Riordan et al. 2008, Siani et, al. 2008); con un incremento de las afecciones que de ella se deriva. Dentro de estas afecciones se encuentran las quemaduras solares, cánceres de piel (Saraiya et. al. 2004, Hu et al. 2004), carnosidad y cataratas en los ojos, y afecciones como el debilitamiento del sistema inmunológico, entre otros (Zemelman 2007). A nivel de nuestro país, conforme a lo presentado

en el Análisis de la situación del cáncer en el Perú 2013 (MINSA 2013), el cáncer de piel ocupa el cuarto lugar en cuanto a incidencia de casos y se encuentra en un aumento progresivo.

La ciudad de Tumbes ubicada en el norte del Perú, más cercano a la línea ecuatorial, muestra altos niveles de radiación solar diaria, llegando a valores de hasta 1100 W/m² en meses de verano, como febrero, y con ello niveles elevados de radiación ultravioleta de hasta 14 de índice (Vanicek et al. 1999); estando latente el riesgo de que la exposición permanente a estas radiaciones cause daños irreparables sobre la población y los ecosistemas frágiles.

En esta coyuntura se planteó la investigación destinada a determinar los niveles de radiación solar UV en el departamento de Tumbes y la incidencia de las principales enfermedades relacionadas con su exposición.

Material y métodos

Niveles de Radiación Solar UV en el departamento de Tumbes

Los niveles radiación solar UV fueron medidos utilizando estaciones meteorológicas *Davis Instruments Advantage Pro2 (USA)*, provistas con un sensor para medir la radiación solar ultravioleta (DS6490) en términos de índice ultravioleta en una escala de 0 hasta 16 (acorde con la Organización Mundial de la Salud; más de 10 son valores extremos, Vanicek et al. 1999). El sensor mide la porción de la radiación UV que provoca quemaduras solares, cuyo espectro de respuesta coincide muy cerca con el espectro de acción eritemal, definido por McKinlay y Diffey, y adoptado por la Comisión Internacional l’Eclairage (C.I.E) como la representación estándar de la sensibilidad de la piel humana a la radiación UV (Farouk et al. 2012)

Se midieron los niveles promedio y máximo del índice UV por un periodo de 3 años, desde febrero de 2010 hasta diciembre del año 2013, con una estación meteorológica ubicada en la Ciudad Universitaria de la Univer-

sidad Nacional de Tumbes (Estación Ciudad Universitaria) ubicada en las coordenadas UTM 17M 561805 mE y 9603820 mS. En el 2014, entre los meses enero y abril, se midieron los niveles utilizando una estación de monitoreo adicional, localizada en la provincia de Zorritos, Tumbes (Estación Zorritos) ubicada en las coordenadas UTM 17M 536938 mE y 9593525 mS.



Figura 1. Sensor de Radiación Solar DS6490

La información de las estaciones meteorológicas fue descargada y almacenada sistemáticamente con intervalos de entre 15 y 30 minutos mediante el software *Weather Link V. 6.0.3 - Davis (USA)*. La información

de radiación solar UV puntual, fue procesada utilizando Excel, obteniéndose curvas de tendencia. Para la información enero 2013 a abril de 2014 se obtuvieron valores de índice UV promedios horarios por cada mes utilizando minería de datos.

Adicionalmente se midieron los niveles de radiación solar UVA–UVB (entre longitudes de onda de 290 a 370 nm) y UVC (220 a 275 nm) cada 30 minutos, durante enero a abril de 2014. Para ello se utilizaron los medidores portátiles *UVA/B Light Meter Sper Scientific de Cole-Palmer (USA)* y *UVC Light Meter Sper Scientific de Cole-Palmer (USA)*. Estos parámetros se midieron en unidades mW/cm^2 y $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, respectivamente, que fueron convertidas a W/m^2 . La técnica de medición consiste en colocar el sensor de radiación ultravioleta de manera

totalmente horizontal durante un periodo de 5 minutos, luego de los cuales se observa en la pantalla del medidor la medida que se tomara.

Casos de enfermedades relacionadas con la Radiación Solar UV en Tumbes

La información relacionada a los casos de enfermedades de piel y ojos que podrían estar ligadas a la incidencia de radiación solar ultravioleta en el departamento de Tumbes fueron tomadas de la Oficina de Estadística del Ministerio de Salud y de la Oficina de Estadística del INEN (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas). La información original fue debidamente procesada y sistematizada en tablas y figuras, para su mejor apreciación.

Resultados

Niveles de Radiación Solar UV en el departamento de Tumbes

Los resultados de los niveles de radiación solar ultravioleta promedio, (Figuras 2-6), en términos del índice UV (IUV), muestran valores diversos; los cuales varían en función del año en que se registraron y dentro de ellos en función de los meses. Para todos los años, se aprecia que los mayores valores de radiación solar UV, se dan entre febrero y fines de marzo o mediados de abril, luego los niveles se reducen durante los subsecuentes meses, manteniéndose una tendencia a seguir disminuyendo hasta setiembre y fines de noviembre; época en que nuevamente empieza a incrementarse hasta llegar a los máximos valores en febrero. Es así, que los niveles de RSUV registrados para cada año son diferenciados, siendo el año 2010 en el que se presentaron los más altos niveles de índice UV del período analizado, llegando a encontrarse valores de hasta 16, entre los meses febrero y abril.

El año en que se mostraron menores niveles de índice UV fue en 2013, con valores cercanos a 10 a fines de febrero y en el mes de marzo.

El comportamiento horario de los valores de índice UV por meses para el año 2013 se muestra en la figura 7. En los que se puede apreciar claramente que los valores máximos de índice UV promedio horario se

encuentran entre el medio día y las 14.00 horas. Ningún valor para todo el año llegó a ser extremo durante el año 2013, es decir ningún valor sobrepasó el índice UV de 10, sin embargo hay valores que están dentro del rango de alto (entre 6 y 7) y muy alto (entre 8-10) de acuerdo a la clasificación de la Organización Mundial de la Salud-OMS (Vanicek et al. 2000). Los valores mínimos alcanzados en horas cercanas al mediodía están en el rango entre 3 y 5 clasificados como moderados de acuerdo a la OMS que se alcanza entre los meses de julio a diciembre.

La evolución del promedio horario por mes de la radiación solar expresada en índice UV para el periodo Enero a abril del 2014, en la estación ciudad universitaria, muestra valores máximos en el mes de marzo, luego en el mes de febrero y finalmente en los meses de enero y abril (Figura 8).

En todos los meses la evolución diaria del índice UV promedio tiene un comportamiento tipo campana de *Gauss*, teniendo los valores máximos entre el medio día y las 14.00 horas. En el mes de marzo, el máximo promedio de índice UV alcanzó el valor de 12, que se encuentra en el rango de extremo acorde a la clasificación de la OMS, mientras que en abril el valor máximo promedio de índice UV fue aproximadamente 9.

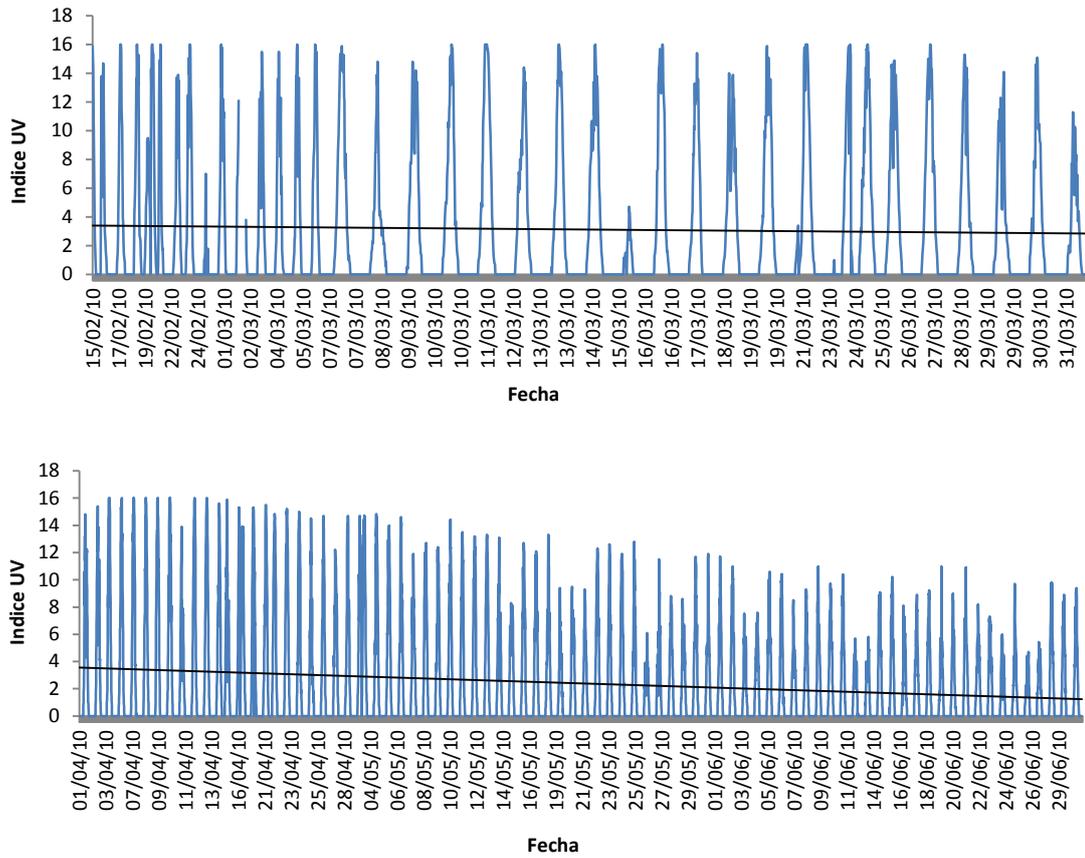


Figura 2. Niveles Promedio de Radiación Solar ultravioleta, 2010 – Estación Ciudad Universitaria

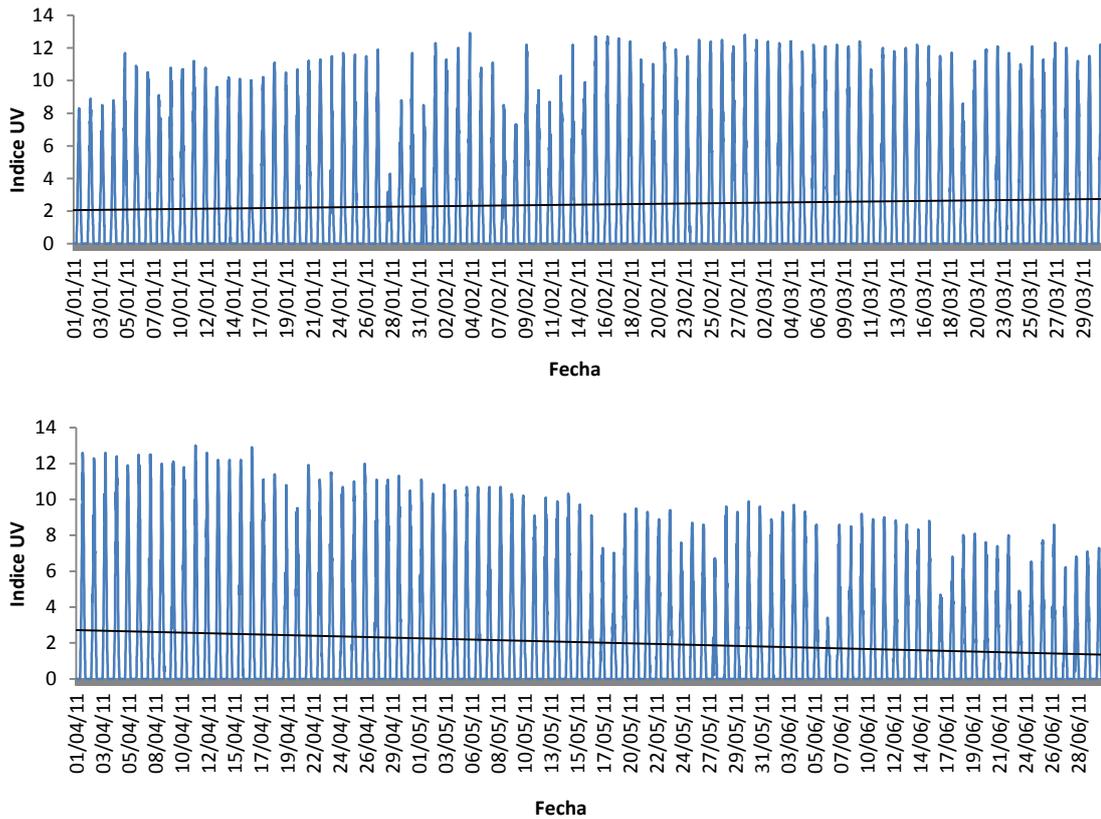


Figura 3. Niveles Promedio de Radiación Solar ultravioleta, 2011 – Estación Ciudad Universitaria

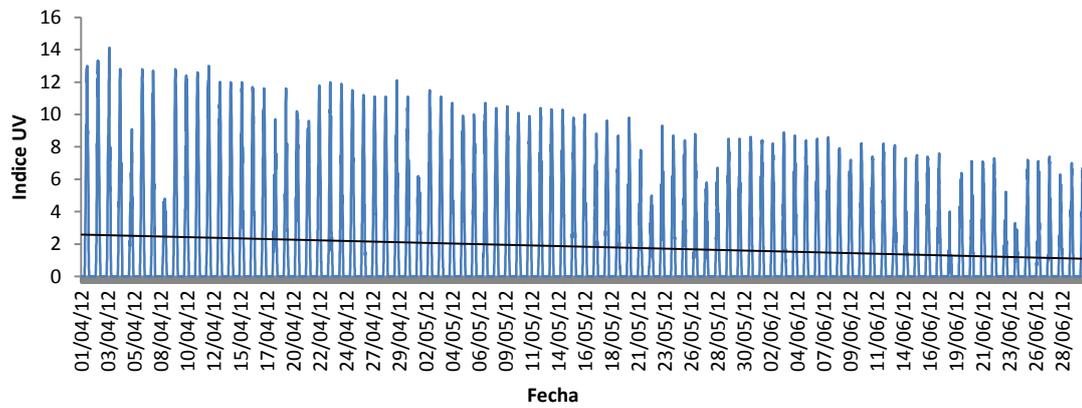
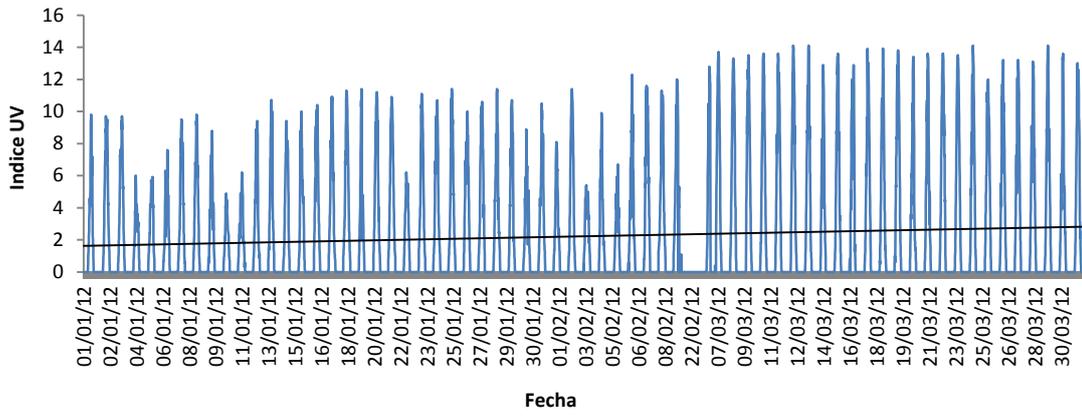


Figura 4. Niveles Promedio de Radiación Solar ultravioleta, 2012 – Estación Ciudad Universitaria

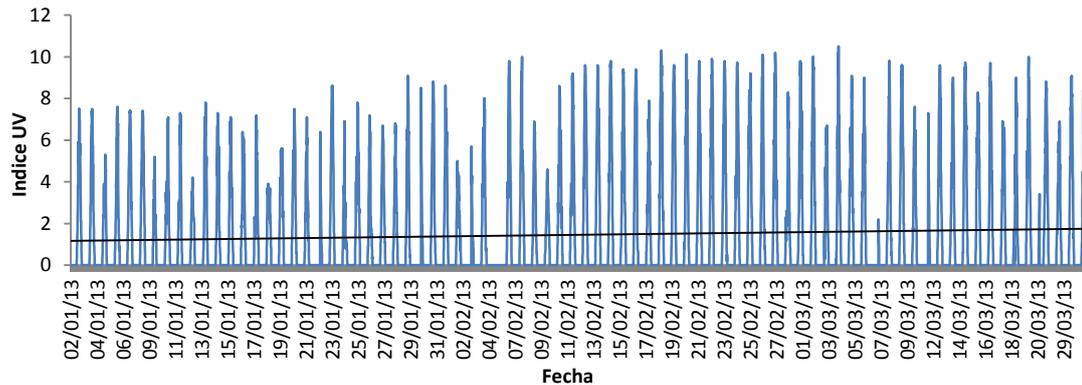
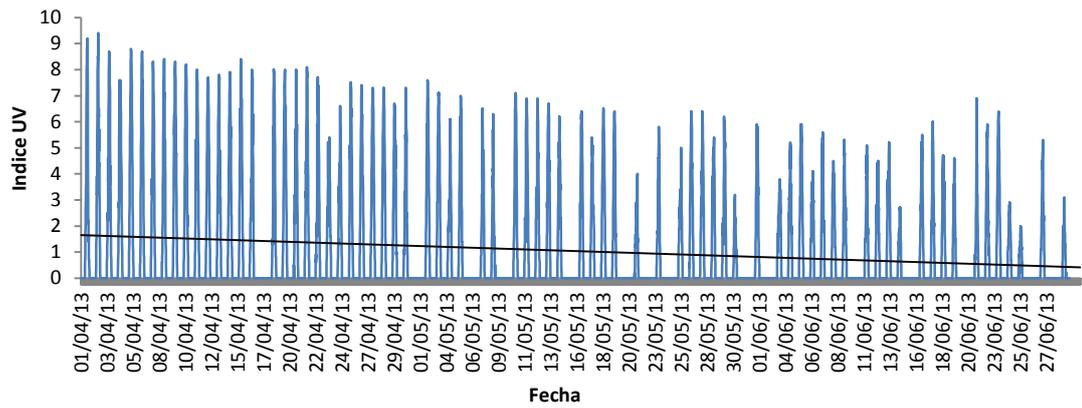


Figura 5. Niveles Promedio de Radiación Solar ultravioleta, 2013 – Estación Ciudad Universitaria

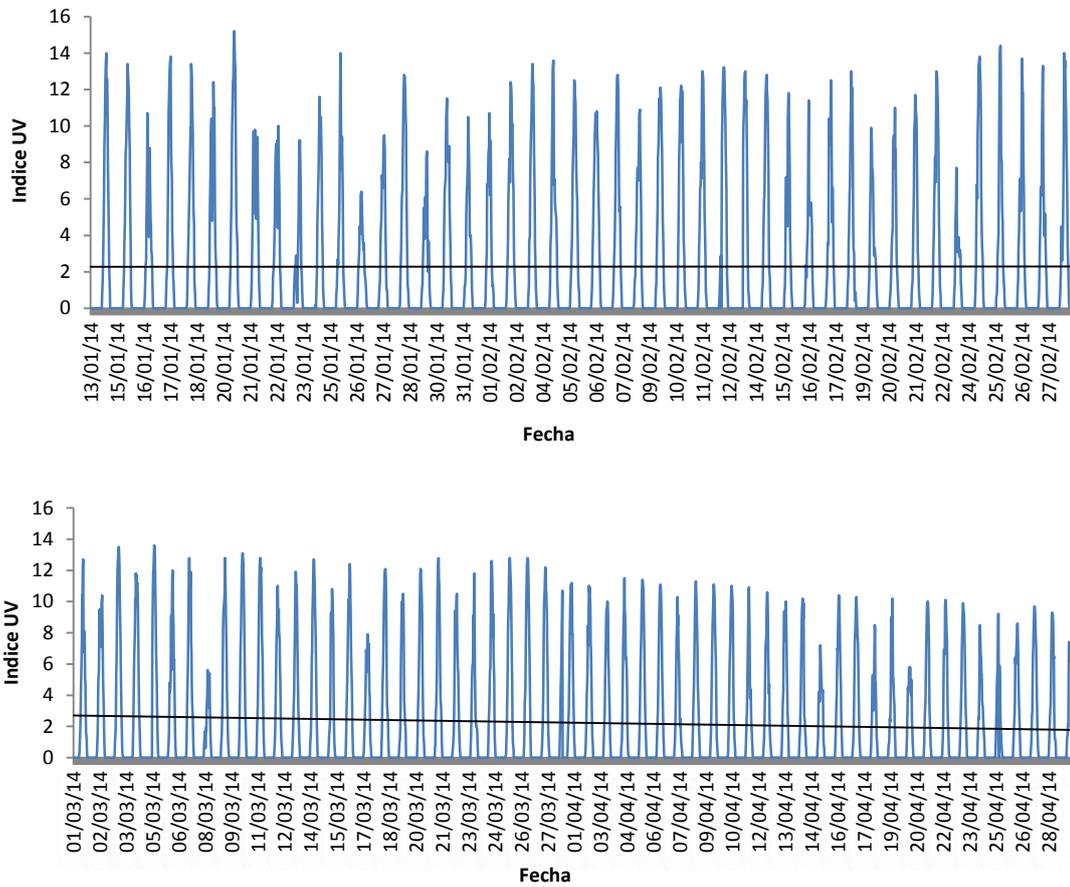


Figura 6. Niveles Promedio de Radiación Solar ultravioleta, 2014 – Estación Ciudad Universitaria

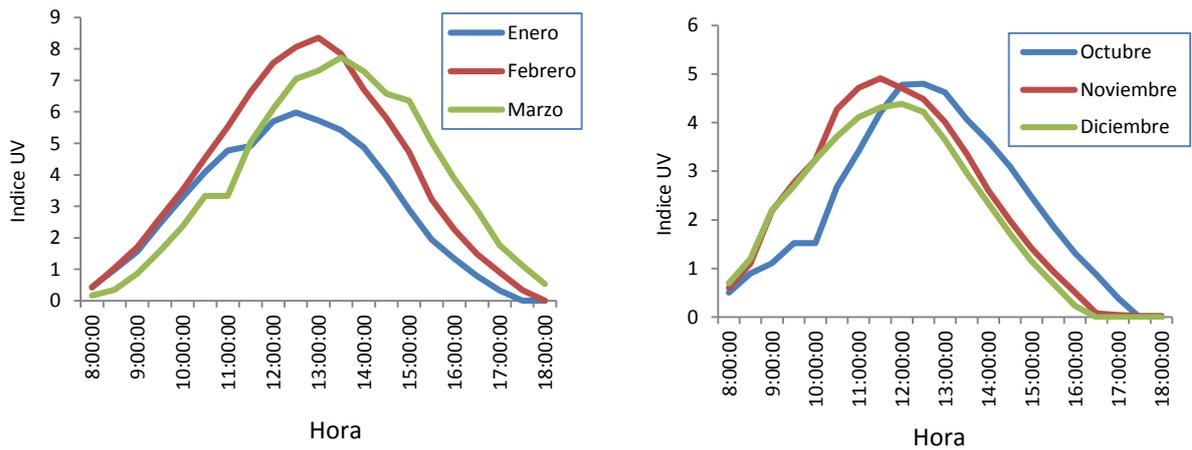


Figura 7. Evolución horaria del índice UV del Periodo Enero – Diciembre 2013 – Estación Ciudad Universitaria

Los valores tomados antes de las 08.00 horas y después de las 18.30 horas fueron valores iguales o muy cercanos a cero, por tal motivo fueron desestimados del análisis. En cuanto a los valores promedio horarios por mes de índice UV tomados en la Esta-

ción Zorritos, los meses de febrero y marzo muestran los mayores valores promedio de índice UV llegando a valores ligeramente superiores a 10. Luego los meses de enero y abril mostraron valores menores que no superan el índice UV 10.

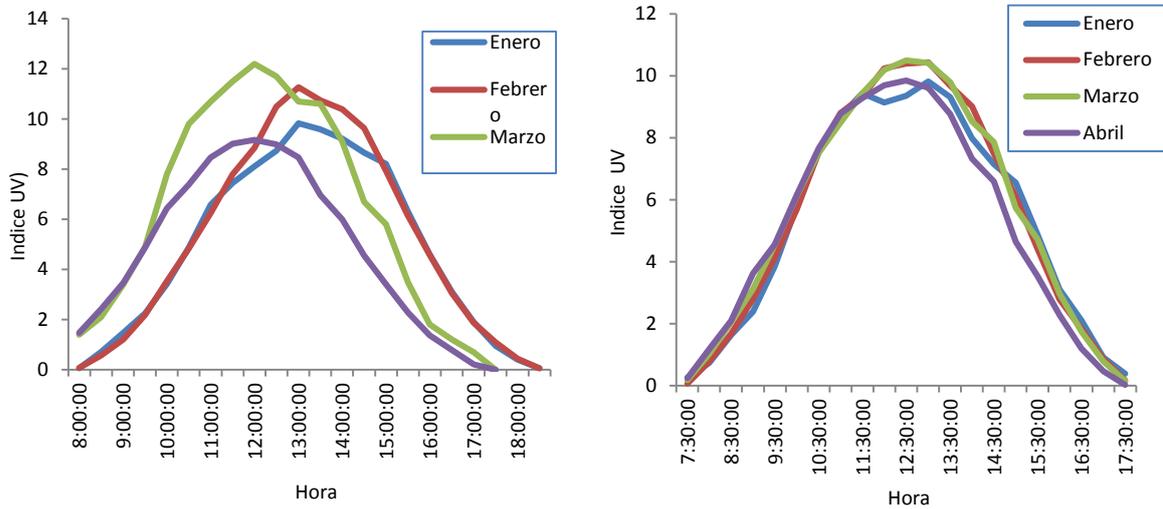


Figura 8. Evolución horaria del índice UV del periodo enero – abril 2014 – Estación Ciudad Universitaria (izquierda) y Estación Zorritos (derecha)

Los niveles de radiación solar UVA/B promedio, que se presentaron de acuerdo a la hora del día durante el periodo enero - abril del 2014, se presentan en la figura 9. De acuerdo a la curva mostrada se presentan niveles de radiación solar UVA/B desde las 07:30 horas hasta las 17:30 horas; sin em

bargo, es entre las 11:30 y las 13:30 horas, el lapso en el que se presentaron los mayores niveles promedio de este tipo de radiaciones. El valor de la radiación solar UVA/B llega hasta niveles que superan los 140 W/m².

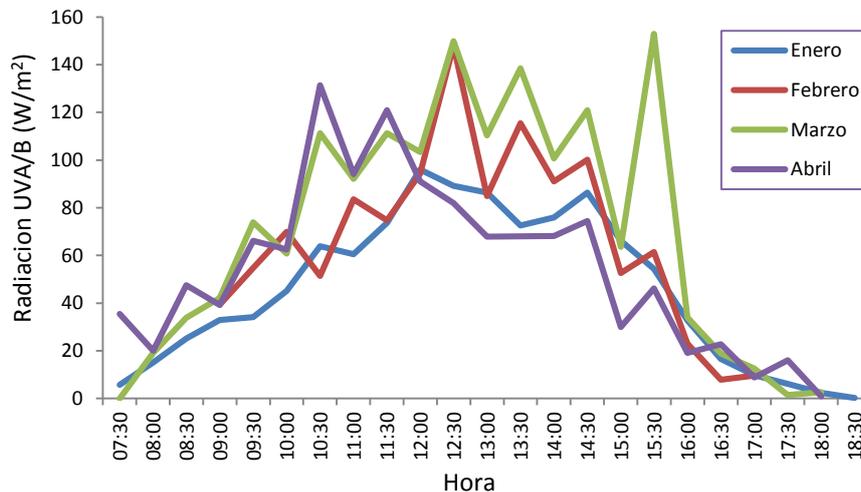


Figura 9. Evolución horaria de los niveles promedio de radiación solar UVA/B (W/m²), periodo enero – abril 2014

Los valores de radiación UVC (figura 10) medidos fueron bajos para el periodo con siderado, alcanzando niveles que están por debajo de 0.8 W/m²

Casos de enfermedades relacionadas con la Radiación Solar UV en el departamento de Tumbes

Los casos de enfermedades de piel y ojos cuyo origen está relacionado con la expo-

sición a la radiación solar UV, se muestran en la figura 11. En la que se muestra un incremento de enfermedades de ojos en el último año, como catarata senil y glaucoma.

Con relación a las enfermedades de piel, el mayor número de casos se da por quemadura solar, que se incrementó en el año 2012. (Figura 12)

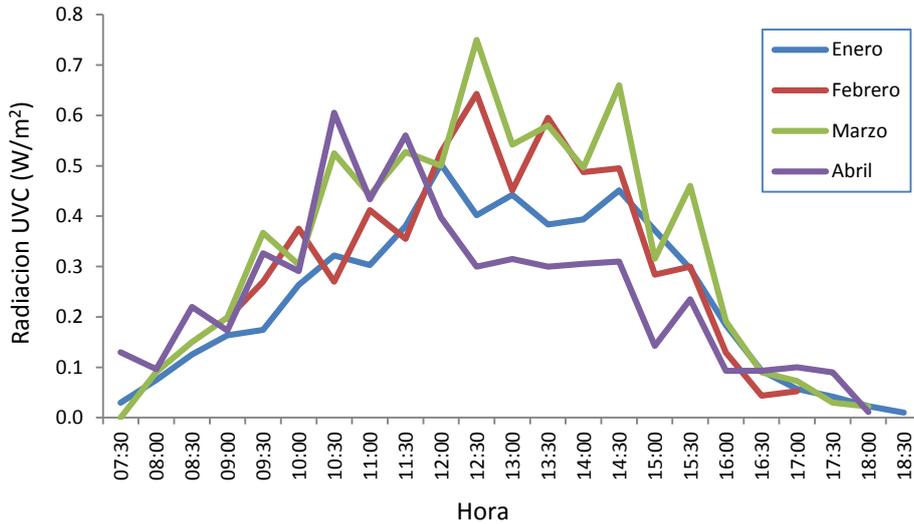


Figura 10. Evolución horaria de los niveles promedio de radiación solar UVC (W/m²), periodo enero – abril 2014

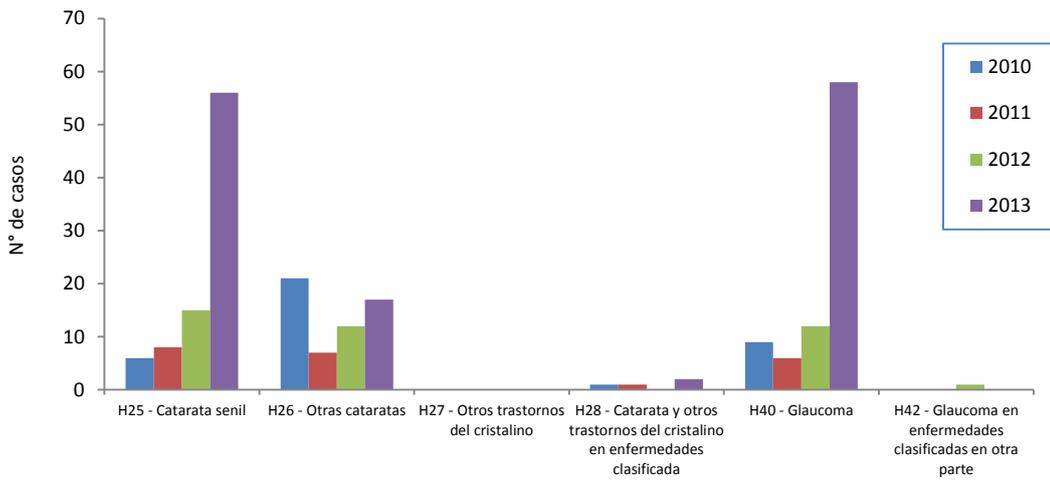


Figura 11. Evolución del número de casos de enfermedades de Ojos relacionadas con la exposición a la radiación solar UV en el departamento de Tumbes, atendidos en MINSA 2010 – 2013

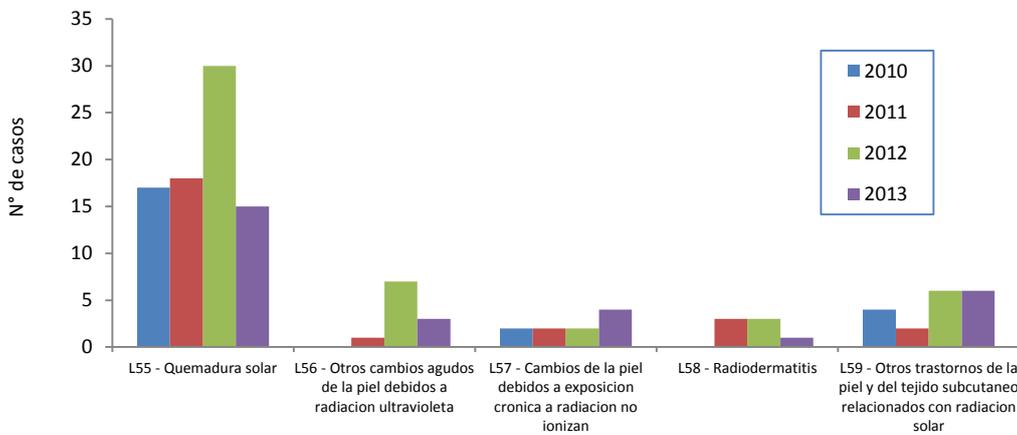


Figura 12. Evolución del número de casos de enfermedades de Piel relacionadas con la exposición a la radiación solar UV en el departamento de Tumbes, atendidos en MINSA 2010 - 2013

Los casos de cáncer de piel, tipo melanoma y no melanoma, atendidos en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas- INEN, que provinieron de Tumbes durante los años 2000 al 2011, hacen notar un

incremento en los casos de cáncer de piel no melanoma entre los años 2009 al 2011, mientras que los casos de cáncer de piel melanoma son nulos o llegan solo a un caso por año.

Tabla 1. Casos de cáncer de Piel en el INEN procedentes del departamento de Tumbes, 2009-2011

Tipo de cáncer	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Piel -Melanoma	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0
Piel - No Melanoma	4	2	4	1	1	2	1	1	2	1	3	5
Piel -Total	4	2	5	2	2	2	2	2	2	2	3	5

Discusión

El comportamiento de los niveles de radiación solar UV muestra una obvia variación con las estaciones del año; siendo en la estación de verano en la que se muestran los mayores valores de radiación solar UV, debido a que el ángulo solar zenital permite mayor incidencia de energía solar durante esos meses.

Comparando los meses de verano entre los años analizados, el año 2010 muestra mayor nivel de índice UV debido a que en esta época se presentaron lluvias, que acorde a los datos de la estación Ciudad Universitaria llegaron a 9,9 mm de precipitación, de forma puntual entre los meses de febrero y abril de ese año. Estas lluvias se dieron particularmente en horas de la noche por lo que la atmosfera se limpiaba de partículas y aerosoles que hubieran actuado como barrera para que la radiación UV llegue con facilidad a la superficie terrestre.

El análisis para el año 2013 y 2014, permite corroborar el comportamiento tipo campana de Gauss encontrado por otros autores (Farouk et al. 2012, Gomez et al. 2012, Lovengreen, Fuenzalida and Villanueva 2000), teniendo como máximos niveles de índice UV el periodo entre el medio día y las 2:00 pm en la mayoría de los casos.

La variabilidad de los niveles de radiación ultravioleta expresada en términos del índice UV es alta comparando horas similares en días de la misma estación debido a que la intensidad de la misma depende de diversos factores que también son también variables tales como nubosidad, material

particulado en el aire, masa de aire, nivel de ozono en la atmosfera y las condiciones en generales del clima (Elminir 2007, De Miguel et al. 2011)

Los valores encontrados de radiación UVA/B son relativamente altos representando hasta un 18 % de la radiación solar total (tomando como referencia el valor de radiación UVA/B de 149.9 W/m² y el valor de radiación solar global de 835 W/m², que se alcanzaron en promedio en marzo del 2014 a las 12:30 pm), indicando la presencia a nivel superficial de energía solar en el espectro entre 290 y 390 nm, energía que podría causar daño a la salud humana (Krzyścin, Jarosławski and Sobolewski 2001)

Los valores de radiación UVC son insignificantes a nivel superficial en el departamento de Tumbes, debido a su casi total adsorción por la capa de ozono y el oxígeno atmosférico (Roy et al. 1998)

Los casos de personas con catarata senil, atendidos por los centros de salud y hospital del ministerio de Salud, han aumentado particularmente entre los años 2010 y 2013, desde valores cercanos a 10 hasta más de 50 casos. Esta es una de las enfermedades que está ligada a la exposición a la radiación solar UV y resulta de la exposición de los individuos a lo largo de su vida, dado el efecto acumulativo de la radiación UV (Thieden et al., 2004)

A pesar de que los casos de cáncer atendidos en el INEI provenientes de Tumbes, son relativamente bajos, aunque se muestra un claro aumento de casos para el año 2011 en

relación de los años anteriores, sobretodo en el caso de cáncer de piel tipo no melanoma.

A pesar que la relación entre radiación solar y el cáncer de piel está bien establecida (Saraiya et al. 2004) resulta difícil establecer una correlación entre los niveles de radiación UV y los casos de cáncer con la información levantada por los siguientes motivos:

La exposición durante la adolescencia (antes de los 20 años) es un factor de riesgo importante que incrementa el riesgo de aparición de cáncer en la adultez (Van der Leun, 1996). En este caso tendrían que tenerse datos de radiación UV de por lo menos 40 a 50 años atrás para relacionarla con los efectos en los pacientes actuales.

Cada caso es particular, y ha sido imposible tener acceso a historias clínicas y antecedentes familiares, entre otros factores que, además de la exposición a la radiación UV, podrían haber desencadenado estas patologías.

Es importante conocer los niveles de radiación solar ultravioleta, sin embargo el tiempo de exposición también es importante (Gies et al. 1998), por el tiempo que las personas se exponen a la radiación solar en el día. Las exposiciones constantes están relacionadas con los tipos de cáncer no melanoma, mientras que las exposiciones periódicas prolongadas se encuentran relacionadas con los cánceres tipo melanoma (Van der Leun, 1996). Sin embargo, sobre esto no se posee información.

Conclusiones

1. Los niveles de radiación solar ultravioleta en el departamento de Tumbes, en general fueron entre altos y extremos entre febrero del 2010 y abril del 2014, teniendo los más altos niveles durante los meses de verano y entre el medio día y las 14.00 horas. Estos valores representan un riesgo para la salud de la población del departamento de Tumbes.
2. El número de casos de catarata senil, enfermedad ligada a la exposición a la radiación ultravioleta, ha ido en aumento en los últimos cuatro años en el departamento de Tumbes, desde menos de 10 en el año 2010 hasta más de 50 casos en el 2013.
3. Existe un aumento de casos de cáncer del tipo no melanoma de 1 caso en el 2009 a 5 en el 2011; enfermedad también vinculada con la exposición a la radiación solar ultravioleta, en el departamento de Tumbes.

Referencias bibliográficas

- De Miguel, A., D. Mateos, J. Bilbao and R. Román. 2011. Sensitivity analysis of ratio between ultraviolet and total shortwave solar radiation to cloudiness, ozone, aerosols and precipitable water. *Atmospheric Research*, 102 (1): 136-144.
- Elminir, H. K. 2007. Sensitivity of ultraviolet solar radiation to anthropogenic air pollutants and weather conditions. *Atmospheric research*, 84(3): 250-264.
- Farouk, H., R. Hamid, H. Elminir and A. Abulwfa. 2012. Ground-based measurements of UV Index (UVI) at Helwan. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 1(2): 159-164.
- Gies, P. H., Roy, C. R., Toomey, S., & McLennan, A. (1998). Protection against solar ultraviolet radiation. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 422(1), 15-22.
- Hu, S., Ma, F., Collado-Mesa, F., & Kirsner, R. S. (2004). UV radiation, latitude, and melanoma in US Hispanics and blacks. *Archives of dermatology*, 140(7), 819-824.
- Krzyścin, J., J. Jarosławski and P. Sobolewski. 2001. On an improvement of UV index forecast: UV index diagnosis and forecast for Belsk, Poland, in Spring/Summer 1999. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 63(15): 1593-1600.
- Lovengreen, C., Fuenzalida, H., and Villanueva, L. (2000). Ultraviolet solar radiation at Valdivia, Chile (39.8 S). *Atmospheric environment*, 34(24), 4051-4061.
- MINSA. (2013). Análisis de la Situación del cáncer en el Perú 2013. Ministerio de Salud – Perú.
- O'Riordan, D. L., Steffen, A. D., Lunde, K. B., & Gies, P. (2008). A day at the beach while on

- tropical vacation: sun protection practices in a high-risk setting for UV radiation exposure. *Archives of dermatology*, 144(11), 1449-1455.
- Pierce, M. J. E. C., Urías, H. Q., & Almanza, V. G. (2006). Radiación ultravioleta medida a nivel de superficie terrestre en el año 2003 en ciudad Juárez, Chihuahua. *CULCyT*, 3(16-17), 5.
- Roy, C. R., Gies, H. P., Lugg, D. J., Toomey, S., & Tomlinson, D. W. (1998). The measurement of solar ultraviolet radiation. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 422(1), 7-14.
- Saraiya, M., Glanz, K., Briss, P. A., Nichols, P., White, C., Das, D., ... & Rochester, P. (2004). Interventions to prevent skin cancer by reducing exposure to ultraviolet radiation: a systematic review. *American journal of preventive medicine*, 27(5), 422-466.
- Siani, A. M., Casale, G. R., Diémoz, H., Agnesod, G., Kimlin, M. G., Lang, C. A., & Colosimo, A. (2008). Personal UV exposure in high albedo alpine sites. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(14), 3749-3760.
- Thieden, E., Philipsen, P. A., Heydenreich, J., & Wulf, H. C. (2004). UV radiation exposure related to age, sex, occupation, and sun behavior based on time-stamped personal dosimeter readings. *Archives of dermatology*, 140(2), 197-203.
- Van der Leun, J. C. (1996). UV radiation from sunlight: summary, conclusions and recommendations. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 35(3), 237-244.
- Vanicek, K., Frei, T., Litynska, Z., & Schmalwieser, A. (2000). UV-Index for the public. A guide for publication and interpretation of solar UV Index forecasts for the public prepared by the Working Group 4 of the COST-713 Action "UV-B Forecasting". *Eur. Coop. in the Field of Sci. and Tech. Res., Brussels*.
- Zemelman, D. (2007). Radiación ultravioleta, epidemiología del cáncer cutáneo y factores de riesgo. *Rev. Hosp. Clin. Univ. Chile*, 18(3), 239-246.