

Radiación ultravioleta

Jaime Bohórquez-Ballén* / José Fernando Pérez Mogollón**

RESUMEN

La energía proveniente del sol que incide sobre la superficie de la tierra consta principalmente de radiación infrarroja, visible y ultravioleta (UV). La porción del espectro solar correspondiente al UV (cerca del 7%) afecta en gran manera la vida sobre la tierra. Pequeñas cantidades de UV son necesarias en los seres humanos para asimilar la vitamina D; en las plantas bajo condiciones normales ayudan en el proceso de foto-síntesis pero cuando la exposición a este tipo de radiación es exagerada, los sistemas biológicos pueden verse afectados. La radiación UV rompe ciertas moléculas biológicas, como el ADN, siendo la principal causa del cáncer de piel. A nivel ocular, una gran exposición a radiación UV puede causar cataratas. En el presente artículo se muestran algunas propiedades de la radiación UV, la forma de cuantificar su efecto sobre tejidos biológicos, especialmente en la piel. Esta información será de importancia a la hora de leer literatura especializada al respecto así como para presentar informes de salud pública acerca de exposición a la radiación UV.

Palabras clave: Radiación UV, MED (minimum erythemal dosis), espectro de acción, índice de radiación ultravioleta (IUV).

ULTRAVIOLET RADIATION

ABSTRACT

Energy coming from the sun that affects the Earth surface is mainly made up infrared, visible and ultraviolet (UV) radiation. The solar spectrum portion belonging to UV (almost 7%) affects life on Earth. Small quantities of UV are necessary for human beings to assimilate vitamin D; in plants under normal conditions, help the photosynthesis process; but when exposition to this type of radiation is exaggerated, biological systems may be affected. UV radiation breaks biological molecules as DNA, being thus the main cause for skin cancer. Regarding eyes, a high exposition to UV radiation may cause cataracts. This article shows some properties of UV radiation, how to quantify its effect on biological tissues, especially on skin. This information might be useful when reading specialized literature about this topic and presenting public health reports about UV radiation exposition.

Key words: UV radiation, minimum erythemal doses (MED), action spectrum, UV radiation index. (UVI)

* Físico. Magíster en Física. Docente investigador de la Universidad de La Salle. Grupo Óptica y Lentes de Contacto. Correo electrónico: jbohorquez@lasalle.edu.co

** Optómetra. Especialista en Pedagogía. Docente investigador de la Universidad de La Salle. Grupo Óptica y Lentes de Contacto. Fecha recibido: 31 de agosto de 2007. Fecha aceptado: 5 de octubre de 2007.

GENERALIDADES

Cerca del espectro visible está la región del ultravioleta (UV), en el rango de frecuencias entre 8×10^{14} Hz hasta alrededor de 3×10^{14} Hz aproximadamente. Las energías de los fotones ultravioleta van desde 3,2 eV hasta $1,2 \times 10^3$ eV. El UV se divide arbitrariamente en tres regiones (Ryer, 1998):

- **UV-A.** Longitudes de onda en el rango 315-400nm, llamado “luz negra” es el menos dañino para los seres humanos y es muy utilizado por su capacidad de hacer que materiales fluorescentes emitan radiación electromagnética en la región del visible. También se utiliza en máquinas bronceadoras y de fototerapia.
- **UV-B.** Longitudes de onda entre 280 a 315nm, tiene energía suficiente para destruir capas biológicas. Gran parte del UV-B solar es bloqueado por la atmósfera.
- **UV-C.** Longitudes de onda entre 100 a 280nm. Cuando los fotones de UV-C colisionan con los átomos de oxígeno, la energía de intercambio causa la formación de ozono, por lo que el UV-C solar es absorbido en unos cuantos cientos de metros de la capa atmosférica. Las lámparas de ozono artificiales son utilizadas como purificadores de aire y agua debido a su habilidad para matar bacterias.

RADIACIÓN UV SOLAR

La radiación ultravioleta existe en el medio ambiente principalmente por una fuente natural como el sol. La radiación que llega a la tierra proveniente del sol, se encuentra en las regiones del espectro electromagnético del infrarrojo, visible y ultravioleta. Las radiaciones del espectro en el infrarrojo (longitudes de onda mayores a 700nm) y el visible (longitudes de

onda entre 400 a 700nm aproximadamente) equivalen a un 92,8% de la radiación solar extraterrestre, el restante 7,2% corresponde al UV. De este porcentaje 5,1% corresponde al UV-A, 1,3% al UV-B y 0,8% al UV-C (Tena *et al.*, 1998).

Sin la presencia de la atmósfera la radiación UV llegaría por completo a la superficie de la tierra. Gracias a fenómenos como la absorción y la dispersión, y en menor medida la convección y la turbulencia atmosférica, la radiación de longitudes de onda menores a 290nm es prácticamente nula sobre la superficie de la tierra (Mc Cullough, 1977). La atenuación total del UV-C y parcial del UV-B se debe a la absorción por parte del ozono estratosférico de este tipo de radiación. La atenuación parcial del UV-A se debe principalmente a la presencia en la atmósfera de masas de agua (IPCC, 2001).

Los niveles de radiación UV sobre la superficie de la tierra están influenciados por muchos factores, entre los que se cuentan (WHO, 2004-2005):

- **Elevación del sol:** a mayor elevación del sol mayor nivel de radiación UV. Estos niveles de radiación dependerán del período del año y del día. Los niveles de radiación toman su valor máximo en el mediodía de los días de verano, para países fuera del trópico. Cerca de un 60% de la radiación, se recibe entre las 10 am a las 2 pm del día (WHO, 2003).
- **Latitud:** entre más cerca se esté de la región ecuatorial, mayor será en nivel de radiación UV.
- **Nubosidad:** en general, los niveles de radiación UV disminuye con la presencia de nubes en el cielo, aunque los niveles de UV pueden ser igualmente altos en presencia de nubosidad. Cerca de un 90% de la radiación incidente sobre una nube puede atravesarla.

- Ozono: presente en la atmósfera absorbe buena parte de la radiación incidente. Los niveles de ozono dependen de la época del año y de la hora del día.
- Reflexión: la radiación UV puede reflejarse o dispersarse en varias superficies, por ejemplo cerca de un 80% de la radiación incidente en la nieve se refleja, mientras que un 25% de la radiación incidente sobre la arena logra reflejarse.
- Altitud sobre el nivel del mar: los datos de la radiación UV revelan un aumento entre un 4 y un 10% por kilómetro sobre el nivel del mar obteniéndose un promedio de 5,6% de incremento de la RUV por kilómetro de altitud (Rivas *et al.*, 2004).

Pequeñas cantidades de UV son benéficas para los seres humanos y son esenciales en la asimilación de la vitamina D (WHO, 2005c). Este tipo de radiación también es utilizada en tratamientos para enfermedades de la piel como la soriasis (Mc Cullough, 1977). Estos tratamientos se deben hacer bajo la supervisión de un especialista y los riesgos de la exposición a este tipo de radiación versus los beneficios obtenidos aún son materia de muchos estudios científicos.

Existe una relación entre la energía del fotón UV y las energías de ligadura de muchas moléculas químicas y biológicas, por ejemplo UV de longitud de onda 180nm disocia el oxígeno en ozono, longitudes de onda aproximadamente de 250nm incrementan la absorción de UV por parte del ADN y otras moléculas intranucleares, es por esto que la radiación de 250nm se utiliza como germicida (Caldwell, 1971; Caldwell *et al.*, 1986).

La exposición prolongada de radiación solar UV puede dar como resultado problemas agudos y crónicos sobre la piel (Hönigsmann, 2002) y los ojos. Dentro de los problemas agudos se puede contar con efectos degenerativos sobre la piel y vasos sanguí-

neos causando envejecimiento prematuro de la piel y reacciones de tipo alérgicas como la foto-queratitis (CIE, 1986a; 1986b). Dentro de los efectos crónicos se encuentran el cáncer de piel (IARC, 1992) y las cataratas (EPA 2004).

CUANTIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN UV

La influencia de radiación UV sobre la piel se cuantifica por medio de la MED/Hora (MED, *minimum erythematous dose*) la cual es dosis (potencia/área) efectiva mínima de radiación UV que produce enrojecimiento de la piel humana (eritema) promedio de tipo II. También se puede cuantificar la radiación en tiempo: tiempo necesario para producir eritema en un tipo de piel promedio o en dosis efectiva integrada (energía/área) por ejemplo en MED (WHO, 2002).

Basados en estudios, se encuentra que la relación entre las unidades radiométricas y los MED/Hora son:

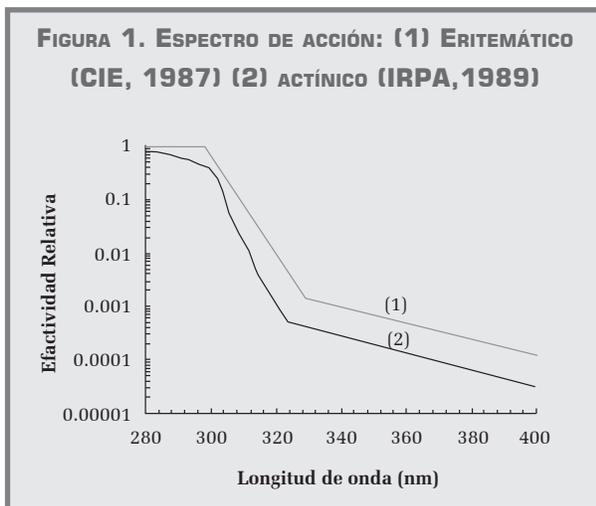
$$1 \text{ MED/Hr} = 5.83 \mu\text{W} / \text{cm}^2$$

Para evaluar la exposición efectiva de un tejido biológico seleccionado, es necesario conocer la sensibilidad de ese tejido a la radiación UV. Los efectos biológicos de la radiación UV pueden ser clasificados en tres categorías: el efecto sobre las células, los efectos sobre tejidos y los efectos sobre todo el cuerpo. A nivel celular, el efecto más importante es la alteración del ADN debido a la absorción de fotones de radiación UV (Calwell, 1977). En términos de los efectos sobre todo el cuerpo se pueden contar daños fisiológicos así como deterioro de las funciones del cuerpo. En el caso de animales y humanos el efecto de la radiación UV se pueden resaltar el cáncer de piel (CIE, 1987), patologías en el ojo; entre las que contamos la conjuntivitis actínica y la supresión del sistema inmune (CIE, 1986a; 1986b). En las plantas puede causar efectos sobre el crecimiento y la fotosíntesis (Callwell *et al.*, 1986).

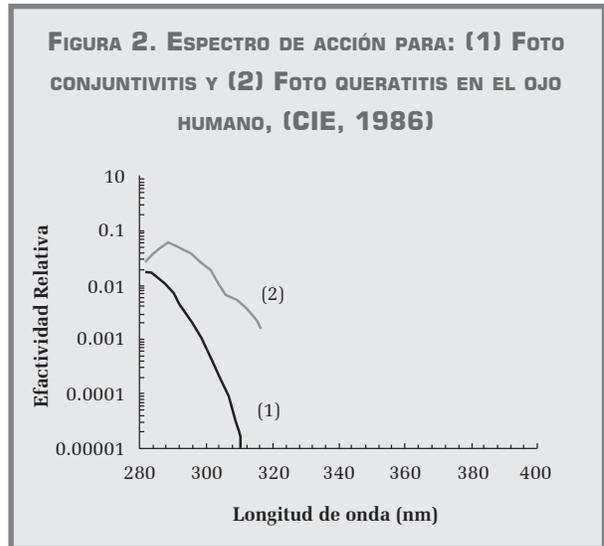
El espectro de acción (S_λ) para un proceso biológico se refiere a la dependencia que existe entre la longitud de onda y la efectividad del proceso (IRPA, 1989). La CIE (*Comission Internationale de l'Eclairage*) adoptó en 1987 una “curva estándar de eritema” propuesta originalmente por Coblenz y Stair (1934) y establecida de forma definitiva por Mc Kinley y Diffey (1987). Esta curva es la que se utiliza actualmente para la determinación de las dosis eritemáticas.

El valor de la sensibilidad se normaliza a la unidad en 298nm y cae cerca de 3 órdenes de magnitud arriba de 320nm. Para longitudes de onda mayores entre 320 y 400nm, el espectro de acción varía de 10^{-3} a 10^{-4} .

La IRPA (*Internacional Radiation Protection Association*)(1989) ha empleado el espectro de acción actínica para evaluar los efectos sobre la piel y ojos humanos. El espectro de acción actínica difiere del espectro de acción eritemático en una banda delgada de 290nm. El espectro de acción eritemático está normalizado a la unidad en 298nm y el espectro de acción actínico en 270nm (Figura 1).



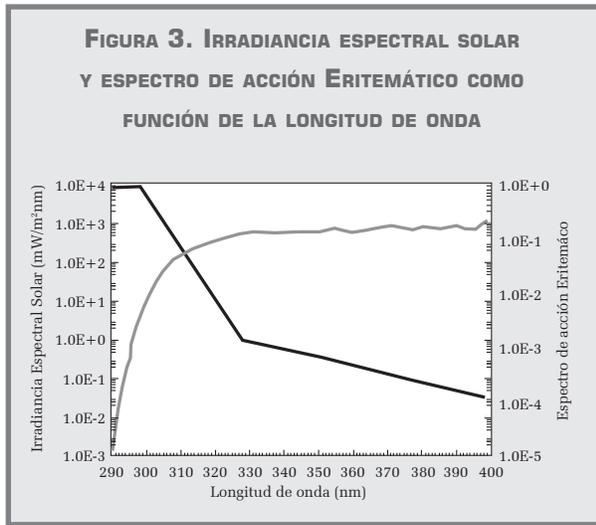
Otros espectros de acción asociados a patologías oculares se han propuesto (CIE, 1986) como los asociados a foto conjuntivitis y foto queratitis (Figura 2).



La irradiancia espectral de una fuente de radiación se define como la potencia (energía/tiempo) que incide sobre un área determinada por longitud de onda ($W/m^2 \text{ nm}$) (Departament of Energy USA, 1994). El grado de absorción de radiación por macromoléculas depende de la longitud de onda, siendo necesario ponderar la irradiancia espectral incidente con el espectro de acción, lo cual expresa la efectividad espectral de la radiación UV para varias longitudes de onda para un proceso biológico específico. La irradiancia UV efectiva (E_{ef}), para un proceso biológico particular caracterizado por un espectro de acción específico (S_λ) se puede escribir como (Ryer, 1998):

$$E_{ef} = \sum_{200 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} S_\lambda E_\lambda \Delta \lambda \quad (1)$$

Donde E_λ es la irradiancia espectral en W/m^2 y $\Delta \lambda$ es el intervalo de longitudes de onda en nm para las mediciones de irradiancia espectral. La irradiancia UV efectiva biológicamente tiene unidades de irradiancia (W/m^2).



Por ejemplo: la irradiancia UV efectiva actínica toma un valor de $E_{ef} = 0.00052 \text{ W/m}^2$ con el 100% de su contribución en la banda del UVB. La irradiancia UV efectiva eritemática toma un valor de $E_{ef} = 0.15 \text{ W/m}^2$ con un 77% en la banda del UVB y 23% en la banda del UVA, estos valores calculados para una irradiancia espectral solar a 30 grados SZA, 3mm de columna de ozono y cielo despejado (Figura 3). La dosis eritemática mínima para una piel definida como normal corresponde 210 J/m^2 de forma que un índice de valor 10 equivale a unos 15 minutos de exposición solar.

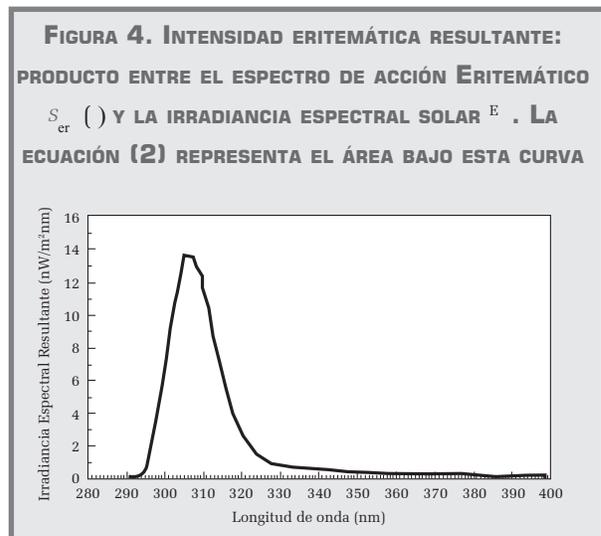
ÍNDICE UV

El índice UV solar (IUV) mundial es una medida de la intensidad de la radiación UV solar en la superficie terrestre (WHO, 2002). El índice se expresa con un valor superior a cero y cuanto más alto mayor es la probabilidad de lesiones cutáneas y oculares. El IUV se puede determinar mediante mediciones o cálculos basados en modelos. Existen dos posibles enfoques basados en mediciones: el primero consiste en utilizar un radiómetro y calcular el IUV con una fórmula, el segundo consiste en utilizar un detector de banda ancha calibrado y programado para proporcionar el IUV directamente.

La formulación del IUV mundial se basa en el espectro de acción de referencia de la Comisión Internacional sobre Iluminación (CIE) para el eritema inducido por la radiación UV en la piel humana (ISO 17166:1999/CIE S 007/E-1998), dicho índice es una medida de la radiación UV aplicable y definida para una superficie horizontal. El IUV es adimensional y se define mediante la siguiente fórmula:

$$I_{UV} = k_{err} \int_{250m}^{400m} E_{\lambda} S_e(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

donde E es la irradiancia espectral solar expresada en $W/(m^2 \cdot m)$ a la longitud de onda λ y d es el diferencial de longitud de onda utilizado en la integración. $S_{er}(\lambda)$ es el espectro de acción de referencia para el eritema y k_{err} es una constante igual a $40 \text{ m}^2/W$.



El IUV es una herramienta importante para la concientización de la población sobre los riesgos de la exposición excesiva a la RUV y para advertir a las personas de la necesidad de adoptar medidas de protección (WHO, 2006).

El valor del IUV varía a lo largo del día, al hablar del índice de un día se hace especial señalamiento sobre la intensidad máxima del RUV en el día determinado que se produce durante el período de cuatro horas en torno al medio día solar.

El IUV se ha definido como un instrumento educativo y su uso debe basarse en una comunicación eficaz con la población y los medios de comunicación. Al indicar a las personas la reducción y/o el saber aprovechar el sol conociendo los riesgos de la exposición excesiva pueden cambiar actitudes y comportamientos reduciendo los efectos perjudiciales para la salud disminuyendo de forma significativa los costos de atención en salud (WHO, 2004).

La información del IUV debe proporcionar al menos el valor máximo diario utilizando el valor medio de 30 minutos. Si se dispone de observaciones continuas es útil manejar valores medios de períodos de cinco a diez minutos para mostrar los cambios a corto plazo. Este índice debe presentarse como un valor único y un número entero redondeado al valor más próximo. Sin embargo, cuando la nubosidad es variable el IUV debe notificarse mediante un intervalo de valores. Las predicciones del IUV deben tener en cuenta los efectos de las nubes sobre la transmisión de la radiación UV; si no se tiene la nubosidad, se debe especificar que se reporta en “un día despejado”.

Los valores del IUV se dividen en categorías de exposición, como en la Tabla 1.

TABLA 1. CATEGORÍAS DE IUV

CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	INTERVALOS DE VALORES DEL IUV
BAJA	<2
MODERADA	3 A 5
ALTA	6-7
MUY ALTA	8-10
EXTREMADAMENTE ALTA	>11

Desde el punto de vista de la salud pública, es especialmente importante proteger a los grupos de población más vulnerable teniendo en cuenta que, se ha comprobado, más del 90% de los cánceres de piel no melánicos se producen en los fototipos I y II (Tabla 2) (WHO, 2001).

TABLA 2. EFECTOS DE LA RADIACIÓN SOLAR DEPENDIENDO DEL TIPO DE PIEL

FOTOTIPO CUTÁNEO	SE QUEMA TRAS LA EXPOSICIÓN AL SOL	SE BRONCEA TRAS LA EXPOSICIÓN AL SOL
I. II. Deficiente en melanina	Siempre Habitualmente	Raramente Algunas veces
III. IV. Melanina suficiente	Algunas veces Raramente	Habitualmente Siempre
V. VI. Protección melánica	Piel morena natural Piel negra natural	

Aunque las personas de piel oscura tienen menor incidencia de cáncer de piel también son sensibles a los efectos nocivos de la radiación UV, especialmente a los que afectan a los ojos y al sistema inmunológico.

Un decrecimiento en el 1% en la capa de ozono equivale a un aumento del 0,5% de las cataratas en el mundo. Si consideramos que hay 4 millones de personas en el mundo con cataratas causadas por la radiación UV (Dolin y Johnson, 1994).

BIBLIOGRAFÍA

- Caldwell, M. 1971. "Solar ultraviolet radiation and the growth and development of higher plants". *Photophysiology*, ed. A.C. Giese, Academic Press, New York vol.6. 131-177.
- , Camp, L., Warner, C. y Flint, S. 1986. "Action spectra and their key role in assessing biological consequences of solar UV-B radiation". *Stratospheric Ozone Reduction, Solar Ultraviolet Radiation and Plant Life*, eds. R.C. Worrest & M.M. Caldwell, 87-111, Springer, Heidelberg.
- CIE (International Commission on Illumination) 1986a. Research Note, *Photoconjunctivitis*, CIE J. 5, 24-28.
- CIE (International Commission on Illumination) 1986b. Research Note, *Photokeratitis*, CIE J. 5, 19-23.
- CIE (International Commission on Illumination) 1987. Research Note, *A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin*, CIE J. 6, 17-22.
- Department of energy 1994. *Radiological control manual*. Department of energy. USA. Assistant Secretary for Environment, Safety and Health. Washington DC. 20585. 220 pp. Disponible en: http://www.eh.doe.gov/docs/rcm/doe_rcm.pdf
- Dolin, P. y Johnson, G. 1994. "Solar ultraviolet radiation and ocular disease: a review of the epidemiological and experimental evidence". *Ophthalmic Epidemiol* 1. (3) 155-64.
- EPA 2004. Prevent Eye Damage. Protect Yourself from UV Radiation. Office of Air and Radiation (6205J) EPA430-F-04-052 www.epa.gov/sunwise. Disponible en: <http://www.epa.gov/sunwise/doc/eyedamage.pdf>
- Hönigsmann, H. 2002. «Erythema and pigmentation». *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, 18. 75 – 81.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2001. *Climate Change 2001: Third Assessment Report (Volume I)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- IARC 1992. *Solar and Ultraviolet Radiation. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*. Vol 55. Lyon, France, International Agency for Research on Cancer.
- IRPA (International Radiation Protection Association) 1989. Proposed change to the IRPA 1985 guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation. *Health Phys*. 56(6), 971-972.
- Mc Cullough E 1977. Optical Radiations in Medicine: A survey of uses, measurement and sources. *American Association of Physicist in Medicine*. p. 2-7.
- Rivas M, Rojas E, Cortes J, Madronish S 2004. Aumentos de la irradiancia solar ultravioleta debido al efecto altitudinal. Memorias del XIV simposio chileno de física, Antofagasta, Noviembre del 2004. Consultado en: <http://146.83.124.225/sochifi/simposio2004/Acta/contribuciones/aumentos1.pdf>
- Ryer A 1998. *Light Measurement Handbook*. Technical Publications Dept. Internacional lighth, Inc. Newburyport, MA 01950-4092. 64 pp. Disponible en: <http://aurora.regenstrief.org/doc/light-measurement.pdf>
- Tena F, Martinez-Lozano J A Utrillas M P 1998. radiación solar ultravioleta y prevención del eritema. *Revista española de física*. 12 (1): 18-24
- WHO (World Health Organization) 2001. Protecting children from ultraviolet radiation. *Fact sheet N° 261*. Consultado en: <http://www.who.int/uv/resources/fact/en/fs261protectchild.pdf>

WHO (World Health Organization) 2002, Global solar UV index. *WHO sites*. Consultado en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/who271/en/>

W.H.O. 2003. Methods of assessing human health vulnerability and public health adaptation to climate change. Health and Global Environmental Change. Series No.1.

W.H.O. 2004. Heat-Waves: risks and responses. Health and Global Environmental Change. Series No.2.

WHO (World Health Organization) 2005b. WHO subregions by latitude. Consultado en: http://www.who.int/uv/health/solaruvradann4_6.pdf

WHO (World Health Organization) 2005c. International workshop on uv exposure guidance. Consultado en: <http://www.icnirp.org/WVitD.htm>

WHO (World Health Organization) 2006. Health consequences of excessive solar UV radiation. Programmes and projects. Consultado en: <http://www.who.int/mediacentre/news/notes/2006/np16/en/index.html>