Indice ultravioleta como indicador de riesgo en la piel

Cecilia Cañarte[1], Graciela Salum[2], Adriana Ipiña[3] y Rubén Piacentini[4]

[1] *Fundación Ecuatoriana de Psoriasis FEPSO, Quito, Ecuador (cecy_canarte@hotmail.com)*

[2] *Universidad Tecnológica Nacional – Regional Concepción del Uruguay, Argentina (gmsalum@hotmail.com)*

[3] *Instituto de Física de Rosario IFIR (CONICET-UNR), Rosario, Argentina (iphadra@gmail.com)*

[4] *Facultad de Cs Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina (ruben.piacentini@gmail.com)*

1. Introducción

Desde la remota antigüedad, los seres humanos han estado expuestos a la radiación ultravioleta solar, sin pensar en los daños que se pueden producir en la piel si la reciben en forma crónica y constante. Ya hace más de 400 años que Copérnico declaró que el Sol era el centro del Universo y por historia conocemos que se rendía culto al astro rey desde Egipto hasta México, considerado como el Astro Supremo que daba calor y permitía el crecimiento de los cultivos. De hecho, muchos fenómenos naturales del mundo en que vivimos están influenciados por el Sol, desde la fotosíntesis, el ciclo del agua, y aún la fijación de vitamina D en piel. Por tal motivo es fundamental conocer la distribución espectral de las radiaciones que emite el Sol y llegan al nivel de la superficie terrestre. A pesar de ello, no todos los aspectos de dicha radiación son positivos; ya que como veremos a continuación, existen efectos deletéreos causados por la naturaleza intrínseca de la radiación solar (Mulero Abellán M, Reus, 2004).

2. El Sol y la radiación solar

Las *radiaciones electromagnéticas* (EM) que emite el Sol a través de su superficie exterior son consecuencia de las reacciones termonucleares que se producen en su núcleo (a temperaturas de decenas de millones de grados) y de la propagación en todas las direcciones hacia el exterior de la energía generada en dichas reacciones.

La energía EM tiene asociada una determinada longitud de onda, λ, que caracteriza las radiaciones de modo similar como un nombre propio caracteriza a una persona. Está relacionada con la frecuencia (ν), según la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \tag{1}$$

siendo c la velocidad de las radiaciones (cercana a 300000 km/s). Las radiaciones EM que emite el Sol o cualquier otro cuerpo con energía suficiente están constituidas con unidades fundamentales denominadas *cuantos energéticos* o *fotones* (como "flechazos" que concentran energía), estando su energía relacionada con la frecuencia y con la longitud de onda según la famosa fórmula de Einstein:

$$E = h \cdot \nu \tag{2}$$

O bien, reemplazando λ de la expresión (1) resulta:

$$E = \frac{h.c}{\lambda} \tag{3}$$

donde h es la constante de Planck, $h = 6{,}626 \times 10^{-34}$ Joulios . seg.

De esta última fórmula resulta claro que cuanto menor es la longitud de onda de la radiación considerada, el fotón tendrá mayor energía y por consiguiente podrá efectuar una acción biológica más intensa (dañar al ADN, etc).

Las componentes más importantes de la radiación solar que llegan a nivel de la atmósfera exterior de la Tierra son (figura 1): infrarroja (IR) (rango 0,1 mm < λ < 700 nm), visible (rango 700 nm < λ < 400 nm) y ultravioleta (UV) (rango 400 nm < λ < 100 nm). Luego de atravesar la atmósfera terrestre, los gases y partículas en suspensión atenúan en distinta proporción estas radiaciones. En particular, es de gran interés la contribución del ozono (O_3) como gas esencial para reducir la componente ultravioleta en su región más energética, posibilitando así la vida en la Tierra.

La figura 1, que muestra la radiación solar en función de la longitud de onda, permite observar con mayor detalle donde se produce el máximo y cómo es su variación en los rangos UV, visible e IR cercano.

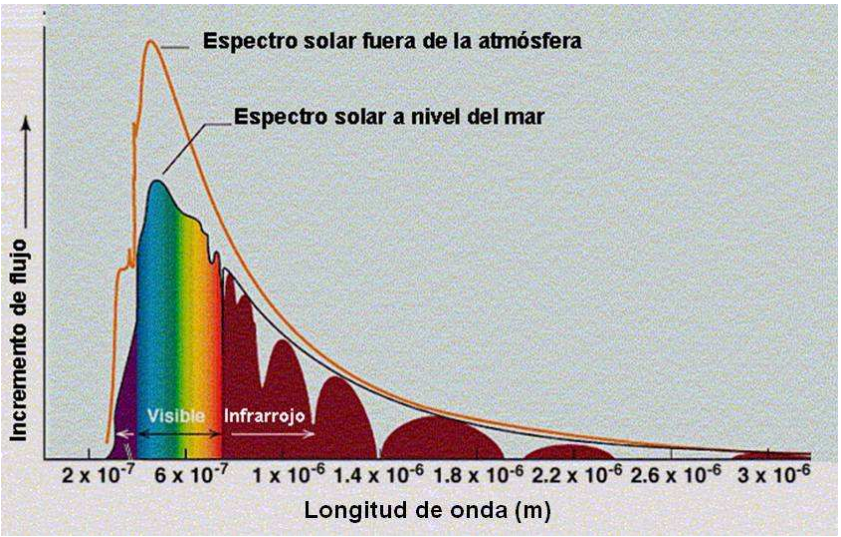

Figura 1. Radiación solar espectral en función de la longitud de onda.

2.1 Rangos de la radiación UV

La radiación UV (RUV) es comúnmente dividida en tres rangos, cuyos límites pueden variar según la aplicación (energética, procesos biológicos, etc). En dermatología usualmente se consideran los siguientes intervalos:

- **Ultravioleta A (UVA).** Su rango de longitud de onda es de 320 a 400 nm. Representa la mayor proporción de la radiación UV que llega a la Tierra. Produce un bronceado ligero y temporal que no protege la piel. Además, envejecimiento cutáneo, efectos fotocarcinogénicos y pigmentación color canela o marrón en el cuerpo humano (Gilchrest y Tang, 1996).

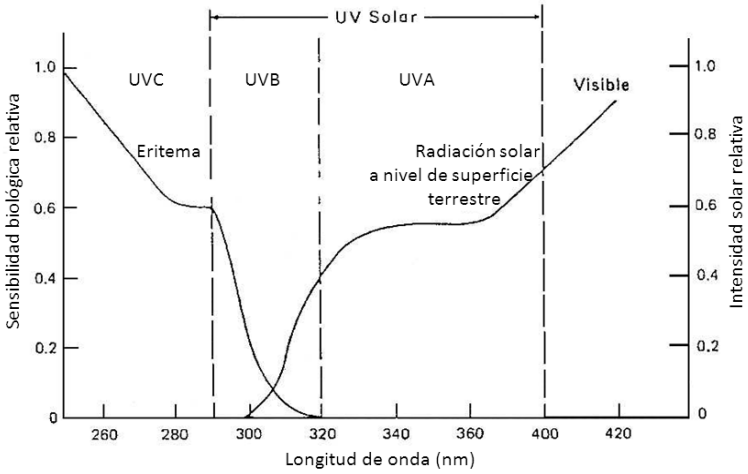

Figura 2. Rangos de regiones UV. (Jagger, 1985)

- **Ultravioleta B (UVB).** La longitud de onda correspondiente de esta componente está comprendida entre 290 y 320 nm. Tiene mayor potencial para producir quemaduras y efectos fotocarcinogénicos. Genera pigmentación pero a través de fenómenos inflamatorios muy agresivos, que a largo plazo producen muerte celular programada (Apoptosis).

- **Ultravioleta C (UVC).** Su longitud de onda está comprendida en el intervalo 100 a 290 nm. Es altamente carcinogénicos, pero no llegan a la Tierra ya que es absorbida por la capa de ozono atmosférico y el oxígeno que se centra en la estratósfera.

A los fines de estudiar los efectos de la radiación UV en la piel, los rangos más significativos son, en orden de importancia, el UVB y el UVA.

En la figura 2, se observa cómo el espectro solar que llega a la superficie terrestre varía en forma creciente desde algo menos de 300 nm hasta el límite superior del UV (400 nm) y aún más. Por el contrario, los efectos biológicos, como la quemadura solar, decrecen con la longitud de onda, lo que resulta un factor muy positivo frente a la exposición al Sol intenso de la piel humana.

2.2 Relación entre la radiación solar y la atmósfera

La atmósfera terrestre protege a los organismos vivos de la radiación ultravioleta del Sol. Si toda la RUV procedente del Sol llegara a la superficie de la Tierra, acabaría probablemente con la mayor parte de la vida en el Planeta. Como ya se mencionó, la capa de ozono atmosférica absorbe casi toda la radiación UV de alta energía.

Aproximadamente el 90% del ozono atmosférico se encuentra en la estratósfera, en una región que comienza a los 10 a 16 km aproximadamente por encima de la superficie terrestre y se extiende hasta aproximadamente 50 km de altitud (figura 3). Esta región es comúnmente conocida como *capa de ozono.* El ozono remanente, aproximadamente el 10%, se encuentra en la tropósfera.

Las moléculas del ozono tienen una abundancia relativamente baja en la atmósfera. En la estratósfera, cerca del pico de la capa de ozono, por cada 1000 millones de moléculas de aire (moléculas de nitrógeno y oxígeno) hay 12000 moléculas de ozono por unidad de superficie, mientras que en la tropósfera hay aproximadamente 20 a 100 moléculas de ozono por unidad de superficie.

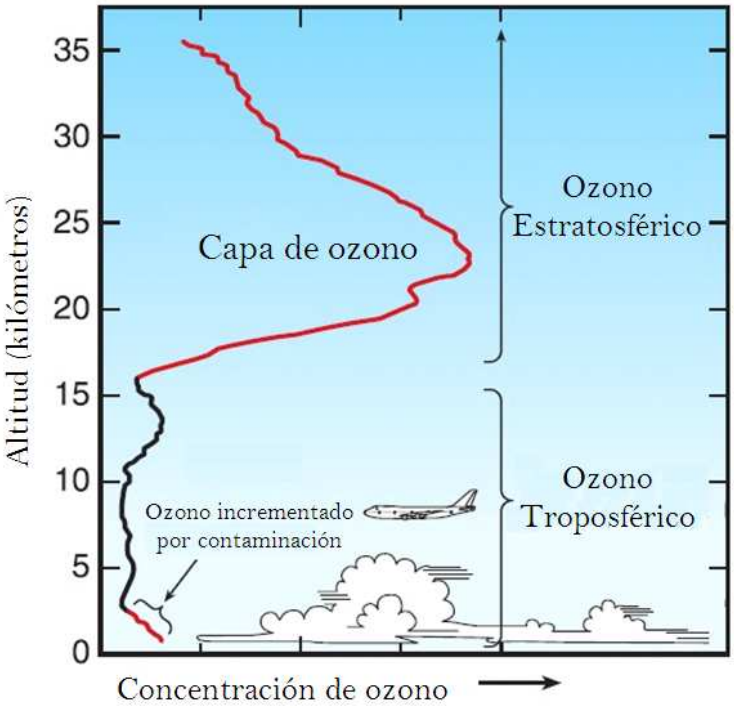

Figura 3. El ozono atmosférico está presente en la tropósfera y la estratósfera. (Fahey, 2006)

En la atmósfera superior, el ozono es creado principalmente por radiación solar UV. En la superficie terrestre es formado a través de la descomposición del óxido de nitrógeno que entra a la atmósfera, por ejemplo, por humo de fábricas y fuegos de bosques.

En las décadas de los 70 y 80, se descubrió que la actividad humana estaba teniendo un impacto negativo sobre la capa de ozono. Los estudios mostraron que estaba siendo afectada por el uso creciente de los clorofluorocarbonos (CFCs), que se empleaban en refrigeración, aires acondicionados, disolventes de limpieza, materiales de empaquetado y aerosoles en spray.

El adelgazamiento de la capa de ozono debido a los gases contaminantes está exponiendo a la vida terrestre a un exceso de radiación ultravioleta, que puede producir cáncer de la piel y otras dermatosis, cataratas, disminución de la respuesta del sistema inmunitario, interferir además en el proceso de

fotosíntesis de las plantas y afectar al crecimiento del fitoplancton oceánico. Es importante señalar que el daño solar se acumula durante toda la vida, por lo que deben tomarse precauciones desde temprana edad.

Los conocimientos adquiridos en fotoinmunología (disciplina reciente que estudia los efectos de la radiación ultravioleta sobre el sistema inmunitario), así como la respuesta clínica observada en las dermatosis en las que la hiperproliferación queratinocitaria no es un elemento relevante, sugieren que el mecanismo patógeno fundamental es precisamente la influencia sobre el sistema inmunitario.

2.3 Factores que afectan la intensidad de la radiación solar

La intensidad de las radiaciones UVA y UVB que llegan a la superficie terrestre varía de acuerdo a los siguientes factores:

1. Ozono (O_3): absorbe UVC y en menor medida UVB. Su desequilibrio puede generar un aumento peligroso en la radiación UVB. El cambio no es sólo cuantitativo, sino también cualitativo, ya que llega a la superficie terrestre, la radiación UVB más energética que es más nociva para los sistemas biológicos que la UVA.

2. Partículas atmosféricas naturales: partículas tanto sólidas como líquidas suspendidas en la atmósfera, tales como polvo, arena, bruma, spray de océanos, etc. Dispersan, es decir, cambian la dirección de la radiación.

3. Contaminación (Polución/smog): producido por el tránsito vehicular y las plantas industriales, quema de pastizales y residuos orgánicos, etc. Provoca reacciones químicas por absorción y, por dispersión de los rayos UV. En general, el efecto de la contaminación sobre la radiación es de atenuación.

4. Masa de aire: Cuando la radiación solar atraviesa un medio, cada molécula (o partícula) puede a atenuar la energía del haz incidente. Esta atenuación es función del tipo y número de partículas con las que interactúe el fotón solar antes de alcanzar la superficie terrestre y por ende, está relacionado con la distancia atravesada por dicho haz. La masa de aire es la masa de sustancia en ese camino del fotón solar, en relación a la masa en dirección vertical.

5. Superficies reflectantes: es importante considerar la composición de la superficie donde incide la radiación ya que por ejemplo, la nieve fresca refleja aproximadamente el 80% de la UVA incidente, y algo menos UVB. La arena, 2-12%, el asfalto, 5,5%, la hierba, 1-4%, y el agua, 5-15%, reflejan en menor proporción (Blumthaler y Ambach, 1988; de Paula Correa y Ceballos, 2008).

6. Nubes: éstas pueden estar compuestas de gotículas de agua o de cristalitos de hielo, suspendidas en el aire según la altura y por consiguiente la temperatura interior. En general, atenúan por absorción y dispersión, pero lo hacen de un modo menos importante en el rango UV que en el resto del espectro solar (visible e IR). Es por esto que en los días nublados también pueden producirse quemaduras graves, sobre todo si las nubes no son muy densas (colores claros, tenues).

7. Hora del día: la intensidad solar va aumentando desde la salida del Sol hacia el mediodía cuando se encuentra en su punto más alto, por lo que los rayos solares recorren menor camino en la atmósfera, y llegan con mayor intensidad y el cielo está descubierto. Luego dicha intensidad comienza a disminuir hasta el final del día. En consecuencia, en un día de cielo claro hay tanta radiación UV solar durante la mañana que durante la tarde.

8. Día del año: El ángulo de incidencia de la luz solar varía según las estaciones, con lo cual varía también la intensidad de los rayos ultravioleta. Ejemplos de esta variación a lo largo de los meses del año para puntos geográficos intertropicales y fuera de los trópicos se detalla más adelante en el ítem 5.

9. Latitud: cuanto más cerca del Ecuador se encuentre la persona que se expone al Sol, normalmente mayor radiación UV recibirá si se compara con otra persona al mismo nivel de altura sobre el nivel del mar. Se debe tener en cuenta que la capa de ozono es menor en los trópicos que en las latitudes medias y altas, por lo que hay menos ozono para absorber la radiación ultravioleta mientras atraviesa la atmósfera, lo que incrementa aún más el nivel de UV.

10. Altitud: Mientras más alto se encuentre la persona sobre el nivel del mar, mayor será la intensidad de radiación UV pues habrá menos atmósfera para absorber la radiación, aumentando dicha absorción alrededor de un 10% por cada 1000 m de altura sobre el nivel del mar.

3. La piel humana

3.1 Características ópticas de la piel humana

Considerando las bandas del UV antes enumeradas, la piel tiene tres absorbedores primarios: sangre, melanosomas y queratina.

La óptica de la piel, es decir la manera en la cual la piel refleja, absorbe y transmite la radiación de diferentes longitudes de onda, está determinada por las propiedades ópticas inherentes a las capas de la piel, debido a diferencias en la concentración de melanina y queratina.

La piel sin sangre y melanina, es decir el tejido muerto, aparece difusamente blanco. Esto es debido a que la radiación que incide en la piel es dispersada en cualquier dirección con casi la misma probabilidad. Esta múltiple dispersión, da a la piel su apariencia difusa. La razón del color blanco en una piel no pigmentada es que muchas de las partículas de la piel tienen dimensiones que son más grandes que, o tan grandes como, las longitudes de onda de la luz visible. En este caso, la eficiencia de la dispersión no varía fuertemente con la longitud de onda. (Nielsen et al., 2008).

Las partículas de dispersión en la piel consisten en lípidos y proteínas embebidos en el fluido y entre las células de la piel. Estos fluidos consisten principalmente en agua. Los lípidos dispersores se encuentran en el estrato córneo, en las membranas de las células y las partículas intracelulares. Los dispersores más eficientes son aquellos cuyas dimensiones son del orden de la longitud de onda de la radiación incidente. Así, las mismas células, con dimensiones del orden de 10μm, dispersan la radiación UV mucho más eficientemente que sus organelas internas con dimensiones típicas del orden de 1 μm, dado que la radiación UV tiene longitudes de onda que son más cortas que 0,4 μm (Nielsen et al., 2008).

Las principales proteínas dispersoras en la piel son la queratina y la melanina en la epidermis, y las fibras de colágeno y elastina en la dermis. La melanina es, en particular, una buena dispersora, dado que tiene un índice de refracción muy alto y está contenida en los melanosomas de dimensiones entre 0,1 y 1 μm.

Como se mencionó anteriormente, la piel tiene tres absorbentes primarios: sangre, melanosomas y queratina. Sin embargo, es importante mencionar que aún cuando la sangre se encuentre bajo la capa epidérmica, la cantidad de sangre afecta la cantidad de radiación UV y visible que llega a estas capas.

La concentración de melanosomas afecta fuertemente la reflectancia en todas las longitudes de onda desde 300 hasta 700 nm, pero en menor medida al UVB. La absorción aumenta constantemente con la disminución de la longitud de onda en las regiones tanto del UVA como del UVB (Nielsen et al., 2008). En la figura 4 presentamos la variación en el rango UV de la transmitancia (definida como la relación entre la intensidad transmitida a un dado nivel de la piel y la incidente sobre su superficie) en función de la longitud de onda y para piel normal a 200 μm de profundidad (Anderson y Parrish, 1981). Así, queda evidenciado que efectivamente la absorción se incrementa a medida que la longitud de onda disminuye, traduciéndose en una reducción correlativa de la transmitancia. En el artículo de revisión clásico de Anderson y Parrish (1981) sobre la óptica de la piel humana se indica que los cromóforos que absorben la componente UVB se encuentran esencialmente en la epidermis y el estrato córneo, mientras que las UVA y visible son absorbidas principalmente por la melanina. Los cromóforos de la sangre hemoglobina, oxihemoglobina y bilirrubina son responsables de la absorción en la dermis para longitudes de onda en el rango UVA. Por otra parte la profundidad de penetración en la dermis está fuertemente influenciada en las fibras de colágeno. Un experimento simple permite comprobar que la transmitancia aumenta con la longitud de onda, no solamente en el UV sino también en el visible. El mismo consiste en cerrar los dedos de la mano, acercarlo a uno de los ojos, y observar una fuente de luz artificial

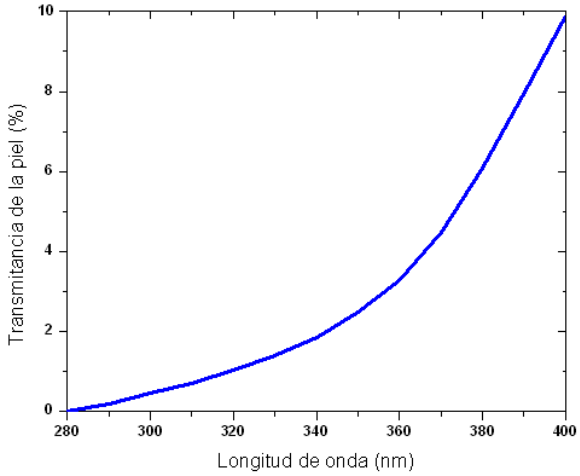

Figura 4. Transmitancia de la radiación UV, que atraviesa piel hasta una profundidad de 200 micrones de espesor (figura adaptada de Anderson y Parrish, 1981).

(lámpara o tubo fluorescente). El color de la radiación que la piel deja pasar (transmite) es el rojo, porque los demás colores del espectro visible han sido más absorbidos, predominando este último.

3.2 Reacciones de la piel normal a la exposición solar

Los efectos biológicos observables en humanos debido a la exposición de la radiación UV solar están limitados a la piel o los ojos debido a las propiedades de baja penetración del UV en los tejidos humanos. La penetración en la piel es menor a 1 mm (Bruls et al., 1984) y la radiación UV es absorbida por los tejidos oculares (principalmente la córnea y el cristalino) antes de alcanzar la retina.

Cuando la exposición al Sol es moderada se pueden obtener efectos benéficos, entre los que se pueden citar: antiseborreico, antiséptico, producción de vitamina D y estimulación de la circulación sanguínea. En algunos casos se recomienda la exposición al Sol en el tratamiento de estados patológicos tales como ciertos tipos de tuberculosis y para afecciones de la piel como la psoriasis.

Las reacciones de la piel normal a la exposición solar pueden clasificarse en reacciones tempranas y reacciones tardías. A continuación, en la tabla 1 se enumeran algunas reacciones según esta clasificación.

Tempranas	**Tardías**
* Eritema-inflamación (quemadura) * Bronceado (inmediato, diferido) * Engrosamiento de las capas de la piel * Alteraciones inmunitarias * Síntesis de Vitamina D	* Fotoenvejecimiento * Fotocarcinogénesis * Ampollas por exposición solar (predisposición genética)

Tabla 1. Clasificación de efectos biológicos de la RUV

La prevención primaria de los efectos de las radiaciones solares consiste en evitar o reducir al máximo la exposición solar excesiva. Se hace por tanto necesario, cada vez más, el fomentar conductas adecuadas a exponerse al Sol intenso.

Normalmente se considera que el 80% del total del daño de la piel, que las personas reciben a lo largo de su vida, se debe a la exposición solar antes de los 18 años. Por tanto, cuanto más temprano se comiencen a aplicar las medidas protectoras, mayores serán las posibilidades de evitar trastornos en la piel al crecer, ya que la piel es más sensible a la radiación solar. Cuanto más pequeño el niño, más fina es su piel y más sensible a los efectos del Sol. Los niños menores de seis meses son muy delicados y se debe evitar exponerlos directamente a la luz solar tanto como sea posible. Es importante que los niños jueguen y disfruten del aire libre pero a la sombra o protegidos.

3.3 Eritema y bronceado solar

Estos dos conceptos son fundamentales para comprender los efectos que ocasiona en la piel una exposición solar, ya que la clasificación de los tipos de piel, el tiempo de exposición saludable, y otros parámetros dependen de estos efectos.

El enrojecimiento de la piel por exposición al Sol se denomina *eritema solar* y está asociado a la combinación del espectro de acción eritémico y de la intensidad solar (ver ítem 3). El eritema no es fácil de producir con longitudes de onda del UVA. Como consecuencia, las personas se queman menos en un día cubierto de nubes o en invierno, y se queman muy poco cuando la radiación tiene que pasar a través de una ventana de vidrio (por su propiedad de fuerte atenuación de radiación electromagnética en el rango UVB).

En cambio, el *bronceado de la piel* es un proceso bastante diferente del de producción del eritema, aunque usualmente involucra longitudes de onda similares. El bronceado es una respuesta protectora, y por eso no es deletérea como una quemadura solar. El eritema parece no ser particularmente deletéreo si las exposiciones al Sol son leves. Sin embargo, la exposición excesiva, tanto por una serie de quemaduras serias

como por exposiciones prolongadas a niveles de radiación más bajos, conduce a cambios permanentes en la estructura de la piel, involucrando por ejemplo el endurecimiento del estrato córneo. La acción se extiende a longitudes de onda levemente más cortas para el bronceado que para el eritema (Jagger, 1978).

En la *quemadura solar*, además del eritema, hay un efecto tóxico que lleva a la formación de edema (acumulación observable de fluidos en el tejido), ampollas, seguidas de descamación y en la fase de curación, pigmentación residual.

Según la Dirección General de Sanidad y Protección de los consumidores de la Comisión Europea, la exposición de la piel a la radiación solar UV da lugar a inflamación (eritema o quemadura solar) que generalmente es máxima aproximadamente 24 horas después de la exposición. Esta respuesta es inducida en primer lugar por su componente UVB y está asociada al aumento del flujo sanguíneo y a la sensibilidad a los estímulos térmicos y mecánicos.

La *Dosis Eritémica Mínima* (DEM) se usa para describir el potencial eritematógeno de la radiación UV y se define como la dosis (energía incidente sobre una dada superficie) efectiva UV que produce eritema sin exposición previa.

Hay que tener en cuenta que DEM depende de la sensibilidad a la radiación UV debido a la protección propia de la piel (pigmentación) de cada individuo y ha sido estudiado, entre otros, por Fitzpatrick (Astner y Anderson, 2003).

3.4 Engrosamiento de las capas de la piel

Cuando la piel es dañada por radiación UV, las células ricas en queratina proliferan para reparar el daño. Esta producción de células conduce al *engrosamiento* de la epidermis y el estrato córneo luego del daño.

La radiación solar aumenta la capa mitótica de las células epidérmicas, provocando el engrosamiento del estrato córneo en el transcurso de 4 a 7 días, lográndose con esto una mayor impermeabilidad al paso de las radiaciones eritematogénicas. Se encontró que un engrosamiento de 8-9 μm del estrato córneo disminuye a la mitad la sensibilidad a la luz de la piel (Ledo, 1983).

3.5 Alteraciones inmunitarias

La reacción de fotoalergia tiene como base el mecanismo inmunológico mediado por células. Determinadas sustancias químicas absorben fotones transformándose en fotoproducto activo, el cual se combina con proteínas formando antígenos completos.

Las células de Langerhans, ubicadas en el espesor de la epidermis, son las que intervienen directamente en las reacciones inmunológicas. Se caracterizan por su núcleo lobulado y por sus prolongaciones dendríticas. La radiación UV tiene un efecto muy fuerte en ellas, anulándolas o disminuyendo su capacidad inmunológica.

Los queratinocitos son las primeras células que entran en contacto con el ambiente y, por tanto, tienen un papel importante en la defensa inmune. Producen citoquinas, factor de crecimiento, mediadores solubles que pueden actuar de manera autócritica sobre ellos mismos o sobre las células circundantes.

En resumen, la piel está protegida contra ataques externos, incluyendo la radiación solar, por un sistema activo de defensa inmune (Ledo, 1983).

3.6 Síntesis de vitamina D

El principal efecto benéfico conocido de la exposición al UV es su rol en la producción de la vitamina D en la piel. Hay dos formas de vitamina D: vitamina D2 y vitamina D3.

La vitamina D2 es sintetizada en las plantas y los hongos, mientas que la vitamina D3 (colecalciferol) resulta de la irradiación del 7-dehidrocolesterol (7DHC) en la piel del humano y de otros animales. Ambas formas juegan un rol igualmente efectivo en el mantenimiento del metabolismo del calcio, aunque no antes de ser convertidas a otros metabolitos activos.

En las mediciones del estado de vitamina D no se diferencia entre vitamina D2 y D3, pero es importante resaltar que cualquier vitamina D originada desde la síntesis cutánea es vitamina D3. El límite más bajo de estado de vitamina D adecuado está definido como 10 μg/l y el límite superior aún no se ha sugerido (NRPB, 2002).

La comida es una segunda fuente de vitamina D, pero sólo pocos alimentos tales como peces (anguila, arenque y salmón), hongos, yema de huevo y lácteos son buenas fuentes de vitamina D. Por tanto, la vitamina D cutáneamente sintetizada por lo general contribuye el 80-90% al suministro humano de esta sustancia básica para la vida.

La producción de vitamina D en la piel consiste esencialmente en dos etapas. Primero una reacción rápida inducida por radiación UV, luego una etapa muy lenta de isomerización por calor. La síntesis básica cutánea es parte de un conjunto más completo de reacciones fotoquímicas que controlan la disponibilidad neta de la vitamina D desde esta fuente.

El primer paso vital en la síntesis de la vitamina D, desde 7DHC a previtamina D (preD), requiere la exposición a la radiación UVB, con longitudes de onda específicamente menores que 315 nm. Así la radiación UVA no contribuye prácticamente a la producción de vitamina D.

La cantidad de radiación solar requerida para mantener el estado adecuado de la vitamina D (expresada en minutos en que la piel desnuda es expuesta al Sol) depende de la geografía, altitud, pigmentación de la piel y factores demográficos. La cantidad de piel descubierta expuesta y la disponibilidad de radiación solar (especialmente la parte UVB del espectro) varían con la latitud, estación del año y hora del día. La cantidad de radiación solar incidente efectiva para producir vitamina D en la piel dependerá de la pigmentación de la piel y la edad, mientras que las concentraciones de vitamina D en sangre también dependerán del área de piel que ha sido expuesta, y de la eficiencia de las funciones del hígado y riñón. Por consiguiente, no hay una guía simple que se aplique a cada situación, más bien cada una de las exposiciones debe ser valorada en una manera similar a la valoración del riesgo de eritema.

Las personas con piel más pigmentada naturalmente requieren más radiación UVB para producir el mismo cambio en la circulación de la 25OHD que las personas con piel pálida. Sin embargo, si la radiación es expresada en términos de la dosis eritémica mínima para cada tipo de piel, entonces la cantidad de vitamina D por DEM es un factor constante. Por ello, el estado de la vitamina D también es una combinación de factores tales como color de piel, hábitos sociales y dieta.

En latitudes medias a altas, la síntesis cutánea disminuye sensiblemente durante los meses de otoño-invierno dado que no hay poca componente UVB en la radiación solar que llega a la superficie terrestre para promover la formación de la molécula preD. Por consiguiente, resulta de suma importancia complementar la exposición al Sol en este periodo en un tiempo inferior al DEM para evitar problemas en la piel, con una alimentación rica en vitamina D.

Mosekilde (2005) realizó un trabajo donde se comparaban las variaciones estacionales de las horas de exposición solar y la concentración del 25OHD y se mostraba que el máximo y mínimo en la concentración de 25OHD ocurren un mes y medio o dos meses luego del máximo y mínimo de radiación solar correspondientemente (Salum, 2009).

Existe escasa información detallada sobre la relación ente fijación de vitamina D en piel y la radiación solar UV disponible en grandes conglomerados urbanos, en los cuales el acceso al Sol en los meses invernales es muy reducido. Así, Buenos Aires tiene valores promedio bajos de índice UV en invierno (1-3) y razonablemente altos en verano (cercanos a 10, con máximos de 12-13 en días de cielo claro). Además, la exposición al Sol en los meses invernales (y aún final de otoño) es muy escasa, ya que los edificios producen sombra, las personas desarrollan sus actividades en el interior y cuando salen al exterior, su cuerpo está protegido en gran parte de su superficie por ropa abrigada. Es de destacar que la fijación de vitamina D, al efectuarse en cada porción de piel, no sólo depende de la intensidad de radiación solar UV incidente, sino también de la superficie de piel expuesta. Para tratar de aportar datos sobre el tema, Costanzo y colaboradores (2010), integrantes del Hospital Durand de Buenos Aires y del Instituto de Física Rosario (CONICET - Universidad Nacional de Rosario), midieron las variaciones estacionales de 25OHD en jóvenes de ambos sexos, residentes de dicho Hospital y la relacionaron con la dosis de RUV (dRUV). Establecieron así el grado de correlación con la ingesta dietaria de calcio (IDCa), la exposición solar (ES) y la dRUV. En especial, realizaron un estudio prospectivo en individuos sanos de 25 a 35 años de edad: 42 mujeres y 40 varones. Extrajeron sangre a fin de invierno y fin de verano para medir 25OHD, evaluando ES y dRUV para cada hora del día en ambas estaciones. Obtuvieron una gran variación estacional de

25OHD en varones, en invierno respecto del verano, en un factor 1.7 y cercano a 2 en mujeres, mayor en esta última estación que en la primera. Cerca de la mitad de las mujeres y la mitad de los varones tenían 25OHD inferior a 20 ng/mL (cantidad usualmente considerada insuficiente) en invierno, reduciéndose este porcentaje a algo más del 5% en ambos casos, en el verano. No encontraron diferencias significativas en IDCa entre ambos grupos ni correlación entre IDCa y 25OHD. Como era de esperar, la exposición solar y la dosis de radiación UV recibida sobre la piel expuesta de los voluntarios fue superior en verano en varones y mujeres, que en invierno, correlacionándose positivamente en esta última estación con 25OHD, lo que sugiere mejor nivel de 25OHD en personas con mayor exposición solar durante el invierno. En conclusión, si no resulta posible exponerse al Sol con mayor frecuencia y tiempo limitado a no superar una fracción de dosis eritémica mínima, en invierno en Buenos Aires (u otras ciudades de latitudes medias y más aún de latitudes altas, con menor valor del Indice UV), resulta necesario incorporar en el organismo alimentos ricos en vitamina D. Es de señalar que este trabajo recibió un premio de la Sociedad Argentina de Endocrinología (Costanzo et al, 2010).

Una breve exposición de algunos minutos a la radiación solar cuando el valor del IUV es 6 o mas (normalmente moderado o superior), permite iniciar la síntesis de la vitamina D en valores adecuados. Por ejemplo, para una persona de piel clara, de Reino Unido, en verano, la exposición recomendada es de 10 a 15 minutos en manos y cara sin protección. Dado que el Reino Unido en el Hemisferio Norte corresponde a latitudes Patagónicas del Hemisferio Sur, en general en el resto de América Latina y Caribe se requieran tiempos cada vez menores a medidas que las latitudes sean más cercanas a los trópicos. Tal dosis suberitémica varias veces a la semana es suficiente y una exposición adicional será de poco beneficio. Las personas de piel oscura que viven a latitudes altas pueden requerir exposiciones más grandes, y la gente que no se expone al Sol requerirá de suplementos dietarios de vitamina D (reporte de la NRPB, 2002). Zittermann y colaboradores (2006) fueron un poco más allá y recomendaron, para obtener los niveles adecuados de 25OHD, una exposición a la radiación UVB en una dosis diaria de cuarto de DEM con aproximadamente el 25 % de la superficie de cuerpo desnudo.

3.7 Fotoenvejecimiento cutáneo

La piel pierde progresivamente los frescos tonos juveniles y muestra tendencia a la hiperpigmentación (localizadas en el dorso de las manos y muñecas y con menor frecuencia en la cara). Se generan procesos inflamatorios, y se liberan mediadores como la histamina y prostaglandinas, hay un extenso daño del ADN, del colágeno y de la elastina, y pueden desarrollarse lesiones malignas, como carcinomas de células basales y melanomas (ver siguiente ítem). Se acepta que el fotoenvejecimiento es debido a un incontrolado nivel de fosfolípidos en la piel. Esta peroxidación es causada por la generación de radicales libres durante la interacción entre los fotones UV y los componentes moleculares de la piel (Iípidos, proteínas) (Castro de Castro).

3.8 Fotocarcinogénesis

Los tres tipos de cáncer cutáneo asociados a una exposición excesiva de radiación UV son el carcinoma de células escamosas (SCC), el carcinoma de células basales (BCC), y el melanoma. Los cánceres SCC y BCC, también llamados cánceres no-melanoma, surgen de los queratinocitos, la principal población celular de la epidermis, mientras que los melanomas se originan en las células productoras de pigmento de la epidermis, los melanocitos (NRPB, 2002).

Los SCC y BCC ocurren en mayor medida en cabeza, nuca y manos, todas áreas del cuerpo que son propensas a una exposición excesiva. Un estudio detallado de la distribución de la radiación solar UV de acción eritémica sobre diferentes regiones del cuerpo humano se detalla en el ítem 5.7 del presente capítulo. En general, la incidencia de los SCC es considerablemente menor que los BCC (NRPB, 2002).

El riesgo a SCC está directamente relacionado a las dosis acumuladas de la radiación UV, pero el riesgo a BCC y a melanomas está relacionado con exposiciones intensas e intermitentes, como las que ocurren en actividades recreacionales en el aire libre y baños de Sol (Salum, 2009).

El melanoma es una forma relativamente rara de cáncer de piel pero es responsable del 80% de las muertes asociadas a cánceres de piel. El riesgo de melanoma maligno está correlacionado con la exposición UV excesiva, pero la relación parece ser compleja.

El melanoma maligno, sin embargo, aunque menos común, es mucho más mortal, y es el que ha experimentado mayor incremento en su incidencia. El melanoma resulta de exposiciones muy intensas e intermitentes (insolaciones de verano) lo cual implica mayor riesgo que las exposiciones acumulativas y crónicas. Si la exposición se produce en la infancia o la adolescencia antes de los 20 años, este riesgo es mucho mayor. Sin embargo, para los cánceres basocelular y espinocelular, aparentemente, el riesgo es totalmente contrario, y las personas que se exponen crónicamente son las más susceptibles.

3.9 Fototipos de piel

Antes de mediados de los 60, era típico el uso de la ahora controversial clasificación del color de piel con orientación racial: caucásico, caucásico pigmentado, indio americano o amerindio, indio del este, mongoloide, oriental, nórdico, americano o africano negroide, céltico, aborigen y egipcio. La gran abundancia de diferentes colores de piel, ojos y cabello, reflejaba la heterogeneidad dentro de cada categoría racial. Esta valoración simplemente visual del color de la piel era clínicamente inadecuada (Astner y Anderson, 2003).

Claramente, el color de la piel dentro de cada raza también varía con la estimulación con radiación solar, efecto que se encontró dependiente de la dosis de exposición total.

El sistema de Fototipos de Piel de Fitzpatrick, originalmente introducido en 1975, se basa esencialmente en escuchar el reporte del propio paciente respecto de la exposición a la piel luego de una reacción solar significativa. Este se basa en preguntar al paciente cuanto se quema y cuanto se broncea.

La clasificación del Fototipo de Piel de Fitzpatrick (ver tabla 2) ha probado su valor: bajo fototipo significa factores de riesgo de cánceres de piel alto y viceversa. Por todo esto, el Dr. Thomas B Fitzpatrick fue considerado el padre de la dermatología moderna (Freedberg et al., 1999).

Foto tipo	Quemadura & bronceado (define el fototipo)	Oscurecimiento inmediato del pigmento	Bronceado retardado	Color constitutivo (sin exposición de la piel)	DEM UVA (mJ/cm²)	DEM UVB (mJ/cm²)
I	Se quema fácil, nunca se broncea	No (-)	No (-)	Blanco ébano	20-35	15-30
II	Se quema fácil, se broncea poco con dificultad	Débil (± a +)	Mínimo a débil (± a +)	Blanco	30-45	25-40
III	Se quema moderado, se broncea moderado y uniforme	Definido (+)	Bajo (+)	Blanco	40-55	30-5
IV	Se quema poco, se broncea moderado y fácil	Moderado (+ +)	Moderado (+ +)	Beige-oliva, bronceado leve	50-80	40-60
V	Se quema raramente, se broncea profusamente	Intenso (+ + +) (marrón)	Fuerte, marrón intenso (+ + +)	Marrón moderado o bronceado	70-100	60-90
VI	Nunca se quema, se broncea profusamente	Intenso (+ + +) (marrón oscuro)	Fuerte, marrón intenso (+ + +)	Marrón oscuro o negro	100	90-100

Tabla 2. Fototipos de piel de Fitzpatrick. Tabla adaptada de "Fitzpatrick's Dermatology" (Freedberg et al., 1999)

En las últimas dos columnas de la tabla 2 se presentan los valores de energía por unidad de superficie de radiación UVA y UVB que puede absorber la piel teniendo en cuenta cada fototipo.

3.10 Adelgazamiento de la capa de ozono y cambio climático: relaciones con la radiación solar UV incidente sobre piel (*)

El ozono atmosférico ha sido destruido en varios porcientos en la década de los 80s y mediados de los 90s, pero gracias a la eliminación en un 95% de los gases contaminantes (principalmente Halones y Freones), debido a la aplicación del Protocolo de Montreal de Naciones Unidas, este gas atmosférico se encuentra estable y de continuar con esta situación favorable, se recuperará en las próximas décadas. Se espera que el post-Protocolo de Kyoto resuelva de la misma manera el calentamiento global del planeta.

Un excelente indicador de la acción UV solar en la piel es el Indice UV, que es medido internacionalmente empleando instrumentos denominados *biómetros* en diferentes lugares del planeta y con instrumentos satelitales. La tendencia incremental porcentual de su intensidad, en las últimas 3 décadas, y aquellas relacionadas con efectos en los humanos (daño al ADN, fijación de vitamina D en la piel) ha sido analizada recientemente por J. Herman (2009) como una función de la latitud, obteniendo un pequeño cambio (alrededor de 1-2% por década) en la región intertropical y uno mayor a latitudes medias, más en el Hemisferio Sur que en el Norte.

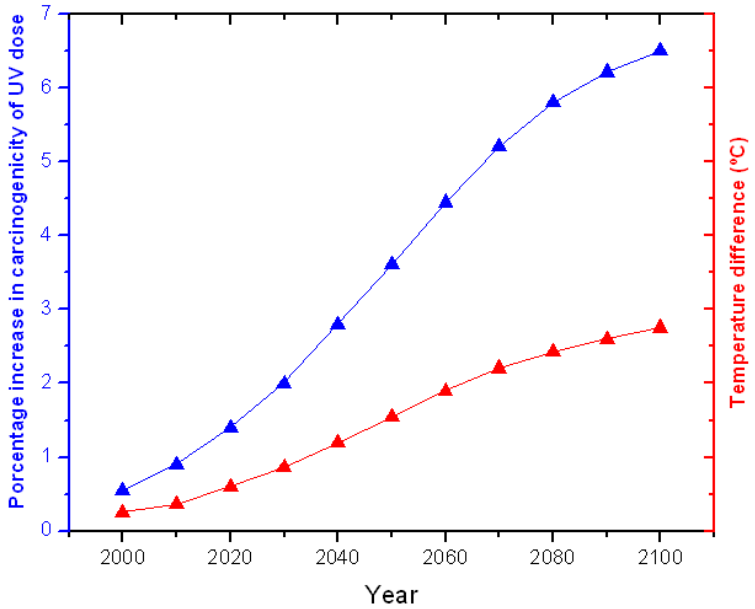

Figura 5. Incremento porcentual esperado de carcinogénesis relativa a una dosis UV (curva azul) y producida por efecto de temperatura ambiente incrementada por el calentamiento global del planeta (curva roja), en función de los años del presente siglo. Adaptada de van der Leun et al (2008).

Respecto de la relación entre el cambio climático, el ozono, los factores ambientales y la salud, este cambio se extiende a prácticamente toda la Tierra, debido al incremento de los gases de efecto invernadero producidos principalmente por combustibles fósiles (CO_2), emanación de vacunos (CH_4) y fertilización en la agricultura (N_2O). Un indicador básico es la tendencia de la temperatura ambiente media a la disminución en el último milenio, hasta cerca de los comienzos del siglo XX, que cambió a una tendencia de incremento de aproximadamente 0,6° C en los últimos cien años, mostrando una fuerte modificación (Piacentini y Mujumdar, 2009). El valor medio pronosticado al final del presente siglo es cerca de 3° C (tal como lo indicó el último Reporte del Panel Intergubernamental de Cambio Climático de 2007, www.ipcc.ch).

De los diferentes efectos que produce este incremento en la temperatura en humanos, van der Leun, Piacentni y de Grujil (2008), analizaron en detalle los datos de dos Skin Cancer Survey realizados en Estados Unidos por Scotto y colaboradores (Scotto et al, 1981). Establecieron una relación positiva (ver figura 5), no sólo con la dosis UV ambiente, sino también con la temperatura máxima diaria promedio en el verano.

La incidencia fue más fuerte para cánceres espino-celulares 5,5% (con desviación estándar de 1,6%) por °C que para los basocelulares: 2,9% (con desviación estándar de1,4%) por °C. En consecuencia, el incremento de la temperatura ambiente producida por el cambio climático puede amplificar la inducción de cánceres no-melanoma en humanos producidos principalmente por exposición a la radiación UV solar.

Este estudio se basó en los datos obtenidos en Estados Unidos en 10 regiones distribuidas a lo largo de su extensa geografía, lo que permitió a los autores comparar las incidencias de cánceres de piel no melanoma, tanto en varones como en mujeres de piel blanca, en lugares con similares intensidades UV solares pero diferentes temperaturas ambientales. Una propuesta de sumo interés es la de extender estos estudios a otras regiones del planeta, en particular América Latina, con habitantes de diferente fototipo de piel promedio habitando en lugares de alturas diferentes. Así, se podrá tener homogeneidad en las

pacientes y variación significativa en la intensidad UV solar (cuya acción carcinogénica es bien conocida) y la temperatura ambiente.

(*) Versión adaptada de la información a ser incluida en la Página web de la International Society of Dermatology, ISD (http://www.intsocderm.org/i4a/pages/index.cfm?pageid=1), como resumen de la conferencia dictada por uno de los autores del presente capítulo (RDP): "Adelgazamiento de la capa de ozono y cambio climático: relaciones con la radiación solar UV incidente sobre piel", en el marco de la Reunión Conjunta entre la Sociedad Argentina de Dermatología y la International Society of Dermatology, sobre "Cambio climático y Dermatología"

4. Protección Solar

Los tiempos de exposición al Sol permitidos, se establecen de modo tal que no se produzca eritema y, por consiguiente, se evite una posible quemadura solar y se reduzca el riesgo de cáncer de piel (y también de catarata).

Es fundamental señalar que una consulta al dermatólogo cuando se noten modificaciones en la piel, sobre todo en los lunares (o nevos), permitirá detectar posibles situaciones anormales y, en el caso de ser lesiones de tipo cancerígeno, en una alta proporción de cánceres de piel de tipo basocelular o espinocelular, se puede lograr la eliminación completa del tumor, con la consiguiente sobreviva del paciente.

La consecuencia más severa del daño producido por la radiación solar es el cáncer de piel. Cambios menos severos, reflejo del fotoenvejecimiento cutáneo, son la producción de arrugas, descamaciones, sequedad de la piel y anormalidades en la pigmentación cutánea como la hiper y la hipopigmentación. Para que ocurra una reacción fotoquímica en la epidermis, es necesario que la radiación ultravioleta sea absorbida por un cromóforo, iniciándose así una serie de reacciones fotoquímicas que desembocarán en un fotoenvejecimiento o incluso en un cáncer cutáneo (Trautinger, 2001; Mulero, 2004).

Estas reacciones fotoquímicas pueden implicar cambios en el ADN, incluyendo la oxidación de los ácidos nucleicos. Las reacciones oxidativas también pueden modificar proteínas y lípidos, produciendo, en consecuencia, cambios en la funcionalidad de las estructuras afectadas. La acumulación de dichas oxidaciones puede desembocar en envejecimiento tisular, y si la capacidad natural del organismo para contrarrestar este acumulo de oxidaciones se ve superada por el efecto de las radiaciones ultravioletas, asociadas a la presencia de otros generadores de radicales libres (humo del tabaco, polución), pueden aparecer daños oxidativos más graves (Mulero A. M, 2004).

4.1 Factor de Protección Solar

El Factor de Protección Solar (FPS) es la relación entre el tiempo de exposición necesario para producir eritema con protección y sin protección. Este factor adimensional representa la cantidad de veces que se extiende el tiempo de exposición solar al usar protección.

Matemáticamente,

FPS = (tiempo con protección) / (tiempo sin protección)

variando entre un número mayor que 1 y 100 o más.

Así, si una persona sin protección que posea un tipo de piel para el cual en 15 minutos puede comenzar a iniciar un eritema, con FPS de 10 (que puede lograrse con productos químicos aplicados sobre la piel o protecciones externas como ropa adecuada, sombras artificiales o naturales, etc) estará protegido por 10 veces más, es decir unos 150 minutos (dos horas y media).

Al presente la Asociación Americana de Dermatología (ADS), propone usar elementos protectores con FPS igual o mayor a 30. Para lograr estas protecciones, pueden usarse tanto cremas y filtros solares que se aplican directamente sobre la piel, como elementos que reducen la incidencia de la radiación solar UV, tales como: ropa de trama compacta, sombreros, sombras naturales y artificiales de árboles, aleros, etc. En estos casos, el factor se denomina FPU (factor de protección UV, el cual ya comienza a ser incorporado en vestimentas, materiales protectores solares, etc). Cada vez la sociedad tiene más conciencia sobre la necesidad de protegerse de la exposición al Sol intenso y hasta existen leyes que protegen a los trabajadores al exterior, como la existente en Chile.

Las ropas, sombreros y gorros dan una protección solar que se puede clasificar de la misma forma que las cremas/filtros solares. El FPU varía usualmente entre 5 y 7 para las ropas más livianas y de tramas poco compactas, a varias decenas y aún cientos para tramas muy compactas como los "jeans". Los árboles dan protecciones con FPU en el rango 5 a 15. Estos resultados han sido obtenidos por autores del presente capítulo, empleando instrumentos de medición de intensidad eritémica solar y midiendo las intensidades, transmitida e incidente.

4.2 Filtros solares

La fotoprotección de una persona se da por mecanismos naturales como la formación de melanima (bronceado); la secreción de sudor conteniendo ácido urocánico y el aumento del grosor de la capa córnea (hiperqueratinización).

Frecuentemente, la cantidad de radiación que incide en la piel, supera la capacidad defensiva de la misma, por lo que necesita de una protección adicional. Esta protección, la proporcionan los filtros solares y están, por lo tanto, indicados en la prevención de quemaduras solares y de los cambios degenerativos de la piel causados por la radiación UV. Los filtros solares al dejar pasar una cierta proporción de UV, permiten un ligero bronceado. Atendiendo a su modo de acción, se clasifican en:

Físicos: son altamente atenuadores de la radiación solar y actúan reflejando la luz. Son de amplio espectro controlando, no sólo el ultravioleta sino también, el visible y el infrarrojo. En muchos lugares se les denomina "Ecran" (pantalla) y se utilizan para evitar tanto el eritema como el bronceado. Los más utilizados, son el óxido de zinc y el dióxido de titanio.

Químicos: actúan por absorción de la radiación solar ultravioleta. Captan la energía incidente y la transforman en otro tipo de energía de longitud de onda diferente, e inocua para la piel. Los más conocidos son derivados de: ácido para-amino benzoico (PABA); ácido cinámico; ácido sulfónico; alcanfor; benzofenona; dibenzoilmetano; etc. Los cuatro primeramente citados actúan frente al UVB y los dos últimos, frente al UVA.

Biológicos: son antioxidantes que evitan la formación de radicales libres y, por lo tanto, potencian el subsistema inmunológico cutáneo. Se están empleando cada vez con más profusión, siendo las vitaminas A y E las más utilizadas en forma de acetato o palmitato.

Un filtro solar debe cumplir las siguientes condiciones para ser considerado apto para proteger a una persona: seguridad, eficacia y versatilidad.

4.3 Recomendaciones para la fotoprotección

Se proponen a continuación recomendaciones para que las personas se eduquen y protejan en relación a la exposición al Sol:

1.- La fotoeducación de la población, con énfasis en niños y jóvenes es fundamental.

2.- Las radiaciones ultravioletas del Sol pueden atenuarse sensiblemente, minimizando sus efectos nocivos mediante el uso de prendas de vestir adecuadas, sombreros y anteojos con filtro UV.

3.- Se debe proteger la piel, empleando protecciones naturales (ropa, sombreros, sombras de árboles, aleros, etc) o artificiales (cremas y filtros), tanto de la componente UVB como UVA.

4.- Una regla simple para evitar las horas de mayor intensidad solar, en cualquier lugar del planeta y a cualquier hora del día, es la inventada por uno los autores del presente capítulo (Piacentini, 1993, 1994, 1995): *"Sombra corta es riesgo alto"*. Se basa en los estudios científicos que demuestran que la atmósfera atenúa significativamente la radiación solar UV desde la salida del Sol hasta que alcanza una altura angular por sobre el horizonte de unos 45° o desde esta posición hasta la puesta del Sol. Cuando está más alto en el Cielo, sus fotones (esos flechazos energéticos que envía hacia la Tierra) tienen mayor probabilidad de atravesar la atmósfera, porque recorren un camino menor que cuando está bajo en el horizonte. La referencia básica de esta regla, es la similitud entre la altura de una persona (cualesquiera sea la misma en metros) y su sombra proyectada por el Sol en el suelo, cuando el astro se encuentra a 45° de altura. Para una altura angular mayor, proyectará una sombra más corta, indicando mayor riesgo y viceversa para una altura menor a 45° (cuando está más cerca del horizonte). Una generalización de esta regla para días

nublados indica que también es válida, hasta que la sombra pueda ser observada en el suelo, indicando que llega radiación solar. Sólo en el caso en que no se observe la sombra, el riesgo es mínimo, porque la nube es tan densa que sirve de protectora de las radiaciones solares UV. Entonces, ampliando la regla, debería indicarse lo siguiente: *"Si el Sol está cubierto por nubes, también sombra corta es riesgo alto, salvo que no pueda verse la sombra por ser la nube muy densa. En este caso, el riesgo es mínimo".*

5. Indice Ultravioleta

5.1 Espectros de acción

Los efectos biológicos de la irradiancia UV se representan cuantitativamente por el espectro de acción. Un *espectro de acción* refleja la efectividad de una reacción específica a una longitud de onda específica, con su máxima efectividad normalizada en 100% (Ambach y Blumthaler, 1994).

Un espectro de acción puede informar respecto de un grupo de moléculas involucradas en un efecto, si ellas absorben la radiación directamente o indirectamente, cómo actúan, como promueven o evitan mejor una reacción que las involucra, y qué cambios ocurrirán cuando sean irradiadas. Además, permite la identificación del *cromóforo* (moléculas que absorben radiación de una longitud de onda determinada) más importante de una molécula que causa dicho efecto (CIE, 1998).

La figura 6 da algunos ejemplos de espectros de acción obtenidos del trabajo de Ambach y Blumthaler (1994). Ellos son de: a) eritema según McKinlay y Diffey (1987), b) bronceado inmediato según DIN5031 (1979), c) cataratas según Hoover (1987) y d) daño al ADN según Setlow (1979).

Cabe señalar que DIN 5031 es una norma relacionada con la física de radiación óptica e ingeniería de iluminación. Da los símbolos, acciones y cantidades de radiación fotobiológicamente efectiva. DIN es el acrónimo de Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización).

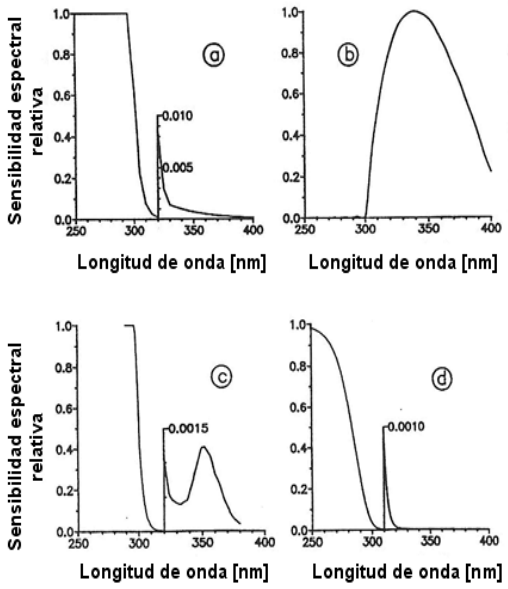

Figura 6. Espectros de acción de: a) eritema según McKinlay y Diffey (1987), b) bronceado inmediato según DIN5031, c) cataratas según Hoover y d) daño al ADN según Setlow. Nota: Mas allá de 300 nm en las gráficas a, c y d se ha cambiado de escala para una mejor visualización de la dependencia espectral de la acción correspondiente (Ambach y Blumthaler, 1994).

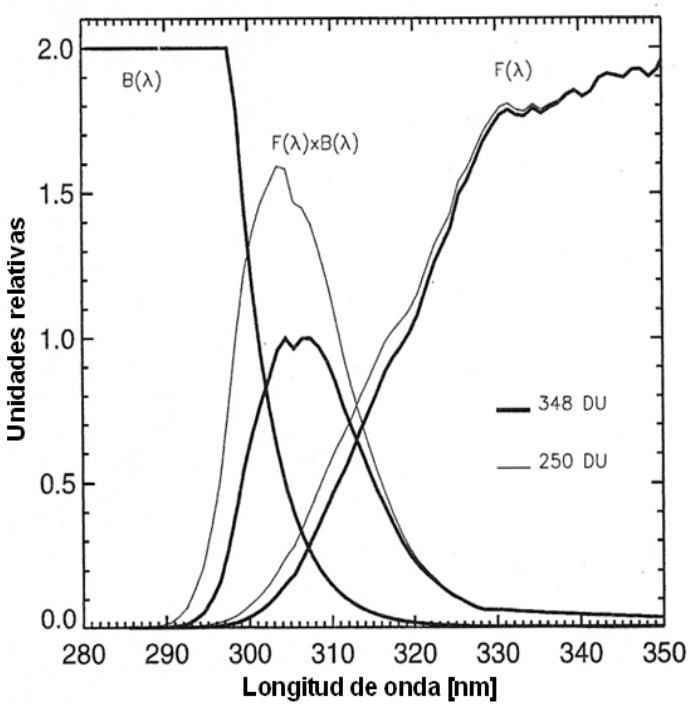

Figura 7. Gráfica de la irradiancia espectral solar, F(λ), el espectro de acción del eritema, B(λ), Mc Kinley y Diffey, 1987, y el espectro de radiación eritémica, BxF. Las líneas gruesas son para 348 UD y las finas para 250 UD.

La "International Lighting Commission" (CIE), reconoce como espectro de acción eritémico al obtenido por Mc Kinley y Diffey en 1987. En la figura 7 puede observarse con mayor grado de detalle el espectro de

acción eritémico (B(λ)), la irradiancia espectral solar (F(λ)) y la multiplicación de ambas con la que se obtiene la radiación biológica eritémica espectral: B(λ) x F(λ).

En la misma figura 7, se representa además la irradiancia espectral solar y el espectro de radiación biológica efectiva para dos valores diferentes de ozono, mostrando la influencia de este gas sobre ellas.

En esta figura se confirma que la efectividad carcinogénica (relacionada con la eritémica) del UVB es mucho más alta que la del UVA: 100% de efectividad para longitudes de onda menores a 297 nm y una baja efectividad que disminuye de 1 a 0,1% en el rango UVA (Ambach y Blumthaler, 1993).

La variabilidad de las irradiancias es muy pequeña en el rango UVA del espectro, mientras que en el rango UVB hay cambios en la irradiancia en varios órdenes de magnitud (Long, 2003).

Si se observa la figura 7 se puede notar que la irradiancia biológica efectiva tiene su mayor contribución cerca de los 310 nm, y el pico varía en el rango de 305 a 310 nm, para diferentes condiciones de ozono y ángulo cenital solar. A medida que disminuyen (o aumentan) el ozono total y el ángulo cenital solar, el pico se mueve hacia longitudes de onda más pequeñas (o más grandes).

Ahora bien, el área bajo la gráfica de la la irradiancia biológica efectiva UV espectral (integrada en el rango de longitudes de onda) desde 290 a 400 nm es la la irradiancia UV eritémica.

El *índice ultravioleta* (IUV) se determina multiplicando la irradiancia eritémica, expresada en W/m^2, por el factor 40 m^2/W para obtener un valor adimensional en el rango de 0, durante la noche, hasta 15-20 o aún más, en el tope de las montañas en los trópicos al mediodía solar. A medida que los valores de IUV son más grandes, los períodos de tiempo, antes de que ocurra el daño en la piel, serán más cortos. El tiempo de exposición al Sol depende de cuánta melanina hay en la piel y de otros factores genéticos.

El IUV fue desarrollado por el organismo público Environment Canadá y adoptado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en colaboración con la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Meteorológica Mundial.

Es así como se introduce a la vida de las personas el IUV, que es una expresión internacionalmente acordada y estandarizada de los niveles de radiación ultravioleta eritémica. Se informa a la comunidad con fines de prevención, debido a que el cáncer de piel está aumentando a nivel mundial, creando conciencia y alertando al público en general sobre los peligros de la exposición excesiva a la radiación ultravioleta, en especial en épocas de vacaciones.

El IUV indica los niveles de radiación ultravioleta en una escala de 1 (que es bajo, es decir que ese día podemos exponernos sin protección y no correr mucho riesgo) a más de 11 (que es peligrosamente alto, es decir, que ese día, debemos protegernos más, buscar sombra, usar protector solar, etc.). Existen dos clasificaciones del riesgo solar según el nivel de IUV actualmente utilizadas.

La calificación del IUV, según la OMS, en orden creciente de riesgo se presenta en la tabla 3.

Valores del IUV	***Categoría de exposición***
0 – 2	Mínimo
3 – 4	Bajo
5 – 6	Moderado
7 – 9	Alto
> 11	Muy Alto

Tabla 3. Clasificación del IUV según la OMS.

Valores del IUV	***Categoría de exposición***
1 – 3	Muy Bajo
4 – 5	Bajo
6 – 7	Moderado
8 – 10	Alto
11 – 15	Muy Alto
> 16	Extremo

Tabla 4. Clasificación del IUV según el SMN de Argentina y el IFIR.

Sin embargo, para países con regiones de latitudes bajas e intermedias, la radiación solar es más intensa y los habitantes poseen fototipos más altos (y por consiguiente con mayor protección). Por ello, se propone

otra calificación, con valores en un rango más extenso, tal como la empleada por el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina y propuesta por el Instituto de Física Rosario, IFIR, (presentada en la tabla 4).

Esta clasificación fue analizada y sugerida para su uso en América Latina en el marco de los Consensos de Santiago de Chile (2006) y Porto Alegre (2008), como parte de los 3ros y 4tos Congresos Latinoamericamos de Fotomedicina y Fotobiología y del Consenso de Quito, en la Jornada sobre Indice UV organizada en Quito, Ecuador, en 2009 por la Corporación CORPAIRE que mide la calidad de aire en dicha ciudad.

El índice UV se informa normalmente para días de cielo claro, porque es importante informar el mayor riesgo posible. Sin embargo, en muchos lugares de la Tierra, y en especial Ecuador, en la zona tropical, la cubierta de nubes tipo cúmulos es usualmente alta, por lo que deberá informarse el índice UV con valores más bajos. Si por ejemplo, para un día de cielo claro, el IUV en Quito es de 10 (alto) para cielo claro, se deberá informar también el índice 4 (moderado), en el caso de que el cielo esté completamente nublado.

5.2 Metodología para la caracterización del Indice UV

Para caracterizar la evolución anual del Indice UV se utilizó el modelo TUV (Tropospheric UV and Visible) desarrollado por Madronich (www.acd.ucar.edu/TUV). Este modelo permite obtener la evolución diaria del IUV mediante el ingreso de los valores característicos de parámetros atmosféricos, tales como columna total de ozono, concentración y tipos de aerosoles y presencia de nubes, y parámetros superficiales, tales como la reflectividad del suelo. Dado que se trata de obtener el IUV para poder hacer una recomendación de protección, es importante calcularlo con valores medios y para días de cielo claro, es decir, sin nubes. Se obtiene así, un IUV máximo que corresponde al riesgo solar máximo.

5.3 Indice UV Ecuador

Por su posición geográfica especial, Ecuador recibe una gran intensidad de radiación solar ultravioleta de acción biológica eritémica, durante prácticamente todo el año. Desde el año 2005 hasta la fecha y mediante la colaboración entre el Instituto de Física Rosario (CONICET-Universidad Nacional de Rosario) de Argentina y la Fundación Ecuatoriana de Psoriasis (FEPSO), se ha desarrollado el IUV en los siguientes lugares geográficos:

- ✓ Cuenca (-2,88°; 78,98°; 2530 m snm),
- ✓ Guayaquil (-2,15°;-79,88; 4 m snm),
- ✓ Galápagos (-0,9°; -89,6°; 6 m snm),
- ✓ Manta (-0,95°;-80,72°; 6 m snm) y
- ✓ Quito (-0,18°; -78,53°; 2811 m snm).

El índice UV está en una etapa experimental y, para Quito y Guayaquil, ha sido verificado con mediciones realizadas con el sensor solar UV de irradiancia eritémica Modelo 3D de Solar Light (contrastado con los medidores similares del IFIR en Rosario). Además, los datos fueron controlados con mediciones satelitales efectuadas por el equipo satelital TOMS/NASA y el del satélite SCIAMACHY de la Agencia Espacial Europea. Esto permitió verificar y perfeccionar los pronósticos.

Los datos obtenidos son emitidos mensualmente en la página web de FEPSO (www.fepso.org.ec).

En la siguiente figura 8 se muestran estos valores para días de cielo claro en los lugares antes indicados y en otras ciudades como Caracas, Venezuela y Recife, Brasil a modo de referencia. Además pueden observarse zonas sombreadas con diferentes colores indicando la clasificación del riesgo solar empleada por el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina y adoptada también por FEPSO.

El índice UV está en una etapa experimental y, para Quito y Guayaquil, ha sido verificado con mediciones realizadas con el sensor solar UV de irradiancia eritémica Modelo 3D de Solar Light (contrastado con los medidores similares del IFIR en Rosario). Además, los datos fueron controlados con

mediciones satelitales efectuadas por el equipo satelital TOMS/NASA y el del satélite SCIAMACHY de la Agencia Espacial Europea. Esto permitió verificar y perfeccionar los pronósticos.

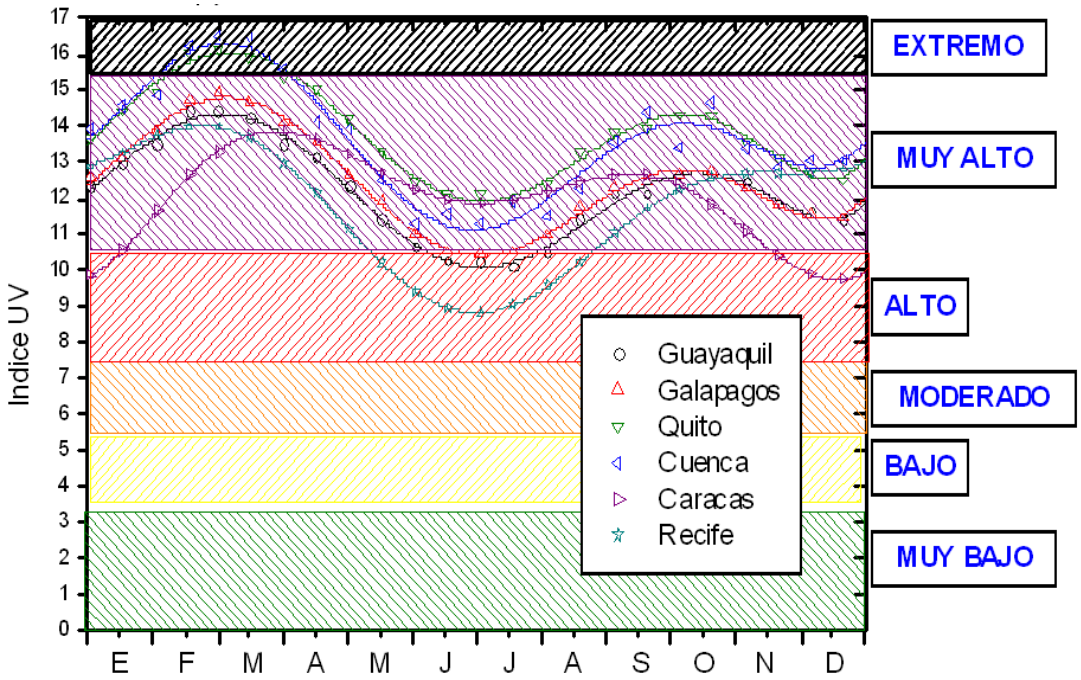

Figura 8. IUV calculados para los distintos meses del año en las siguientes ciudades de Ecuador: Cuenca, Galápagos, Guayaquil, Manta y Quito; Venezuela: Caracas y Brasil: Recife. Se indican las calificaciones según el criterio adoptado por el SMN de Argentina y FEPSO (Ecuador) (Salum, 2009).

Los datos obtenidos son emitidos mensualmente en la página web de FEPSO (www.fepso.org.ec).

En la figura 8 se muestran estos valores para días de cielo claro en los lugares antes indicados y en otras ciudades como Caracas, Venezuela y Recife, Brasil a modo de referencia. Además pueden observarse zonas sombreadas con diferentes colores indicando la clasificación del riesgo solar empleada por el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina y adoptada también por FEPSO.

5.4 Indice UV Argentina

El Indice UV fue desarrollado en Argentina en el IFIR, por Piacentini y colaboradores (Cede et al, 2002a, 2002b) en base a datos medidos de la irradiancia eritémica, en estaciones distribuidas por todo el país y aún en la Base Antártica Argentina Marambio, pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional. Fue probablemente el primero a nivel mundial que presentó el riesgo de exposición al Sol en mapas completos de toda la geografía nacional, ya que anteriormente se detallaban estos índices en algunos países en forma limitada a ciudades o puntos geográficos de interés, como regiones turísticas.

Este índice es diariamente pronosticado por el SMN e incorporado en su página web www.smn.gov.ar → Pronósticos y Alertas → Indice Solar Ultravioleta. Un ejemplo de los mapas del Indice UV se describe en la Figura 9, tanto para situación de Sol descubierto, como con nubes pronosticadas para el día considerado (27 de Octubre de 2005). Los valores varían desde relativamente bajos/moderados en la región sur (Patagonia y Tierra del Fuego con índice entre 5 y 8) a intermedios en la Pampa Húmeda densamente poblada (valroes 8-10) y extremos en la región de altura del desierto Puna de Atacama, en el Noroeste argentino (18 o más).

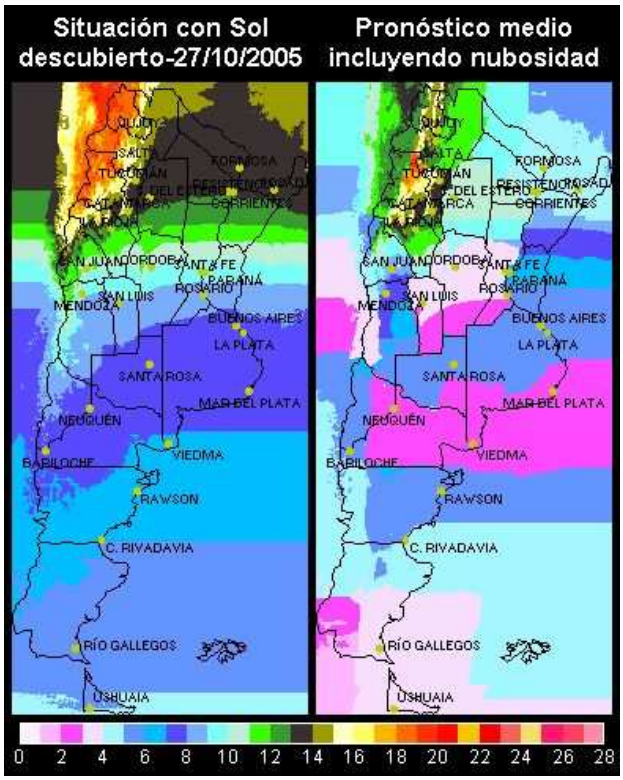

Figura 9. Indice ultravioleta pronosticado para Argentina, el día 27 de Octubre de 2005, para cielo despejado (mapa izquierdo) y con nubosidad (mapa derecho). Se observan valores extremos en la zona del desierto de altura Puna de Atacama en situación de cielo claro, en el Noroeste del país, que superan el valor 18.

5.5 Programa de computación para dermatólogos (UVArg) destinado a determinar el riesgo solar en Argentina

Con el fin de brindar a los dermatólogos y autoridades de salud de Argentina, la posibilidad de determinar con rigor científico, el riesgo de exposición al Sol en cualquier época del año y lugar geográfico del país, integrantes del IFIR (CONICET – Universidad Nacional de Rosario) y de la Fundación del Cáncer de Piel de Argentina, desarrollaron un Programa de computación a estos fines (Piacentini et al, 2004).

El programa denominado UVArg (Cede et al, 2003) permite determinar la intensidad solar UV de acción eritémica (o su equivalente el Indice UV), para un dado día del año, en un lugar determinado y bajo condiciones de ozono bajo, normal o alto, en el caso que sea necesario considerar en el Sur Argentino, situación de pasaje de Agujero de Ozono o se tenga conocimiento de una modificación muy importante de la capa de ozono en una dada región del país. Modificando la fecha, es posible estimar si el Indice UV se mantendrá aproximadamente constante o bien si variará en dicho período. Así, el dermatólogo o las autoridades sanitarias podrán aconsejar medidas adecuadas de protección. En particular es posible incorporar el Factor de Protección Solar (FPS) sugerido y así observar cuanto se reduce el riesgo solar.

En la figura 10, se detalla un ejemplo de salida del programa, que el dermatólogo puede entregar al paciente, donde se le informa sobre: lugar geográfico donde se determina el riesgo solar, fecha, si la cantidad informada es radiación eritémica (consignando el valor máximo al mediodía solar para cielo claro y la dosis diaria) o bien el Indice UV, el tipo de piel, si los datos suministrados han sido calculados para la situación "sin protección solar" o considerando un valor del Factor de Protección Solar (FPS) sugerido por el dermatólogo. Además, se dan gráficas de la variación a lo largo de las horas del día, de la radiación eritémica o Indice UV, que determinan si el riesgo solar es Muy bajo, Bajo, Moderado, Alto, Muy Alto o Extremo y del tiempo máximo de exposición al Sol. Esta última información, también es presentada en forma numérica en una tabla, para mayor precisión.

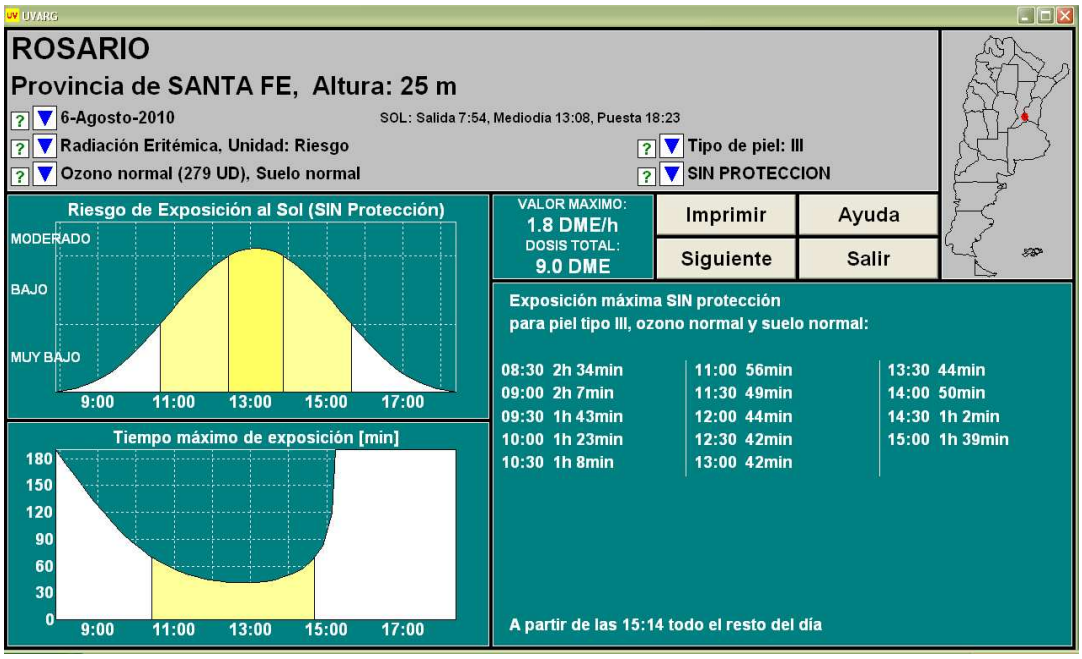

Figura 10. Mapa del riesgo de exposición al Sol en Argentina, generado por el programa UVArg, para un día determinado.

Es de señalar que, de este modo, la persona que realiza la consulta al dermatólogo, o la autoridad de salud que desea conocer como varía el riesgo solar en un dado lugar geográfico de Argentina, tiene la posibilidad de organizar su estada al exterior con gran detalle, tanto en relación a las horas que estará expuesto al Sol, como a los días de un dado mes. El programa permite también introducir recomendaciones que realice eventualmente el dermatólogo, tal como la necesidad de tomar precauciones especiales durante determinadas horas, en la ingesta de medicamentos fotosensibles, entre otras.

5.6 Indice UV y su relación con las intensidades solares UVA, UVB e Indice del daño al ADN incidentes sobre Latinoamérica y Caribe

Como se explicó anteriormente, la radiación solar UV se distribuye de manera no uniforme en la superficie terrestre, dependiendo de factores como: a) localización geográfica, b) altura sobre el nivel del mar, c) época del año, d) cubierta de ozono, e) partículas en suspensión atmosférica comúnmente llamadas aerosoles y f) reflectividad del suelo.

Dada la importancia de los efectos de la radiación solar UV y su relación con la salud humana, especialmente en la piel, presentamos en este capítulo resultados relativos a las intensidades (también llamadas irradiancias) de radiación solar UVA y UVB de acciones biológicas eritémica y de daño al ADN (DNA en inglés). Los estudios fueron llevados a cabo mediante modelización matemática empleando el algoritmo TUV (http://cprm.acd.ucar.edu/Models/TUV/), considerando los parámetros anteriormente descritos para calcular las componentes UVA (320-400 nm) y UVB (290-320 nm) de la radiación solar, que inciden en lugares específicos de Latinoamérica y el Caribe.

Teniendo en cuenta la alta densidad de población en grandes conglomerados urbanos de estas regiones, presentamos el comportamiento del índice UV en las ciudades de: México, La Habana, San Pablo y Buenos Aires, para las distintas horas de días de cielo claro y los meses del año, considerando el año típico 2007, aunque estos resultados pueden aplicarse a años siguientes por la estabilidad del ozono (ver figuras 11 a 14 en 3D).

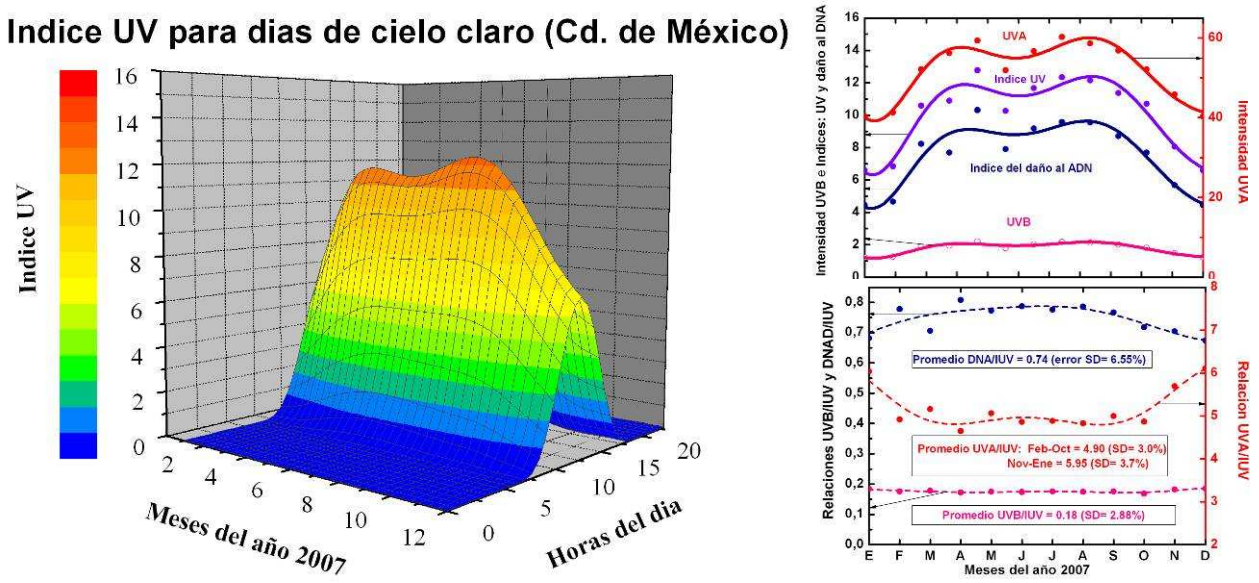

Figura 11. Indice UV y su relación con las intensidades UVA y UVB y el Indice de daño al ADN, para días de cielo claro calculados en valores promedio mensuales, para la ciudad de México. a) Izquierda: Variación del Indice UV a lo largo de las horas del día y de los días del mes para un año característico (2007): b) Superior derecha: Valores mensuales del Indice UV (correspondientes a la máxima curva de la figura 3D, alrededor del medio al mediodía solar), el Indice de daño al ADN (definido en forma similar al Indice UV) y las intensidades solares UVA y UVB; c) Inferior derecha: Relaciones, respecto del Indice UV, del Indice del daño al ADN y de las intensidades solares UVA y UVB.

Las intensidades solares UVA, UVB y los índices UV y de daño al ADN, están representadas por las curvas superior derecha correspondientes a los mediodías de cielo claro. Teniendo en cuenta que el Indice UV es una cantidad que se informa diariamente en diversos países y regiones y que está disponible en diferentes organismos de estudios del clima y el medio ambiente, en las curvas inferior derecha indicamos las relaciones respecto a dicho índice con UVA, UVB y el índice de daño al ADN.

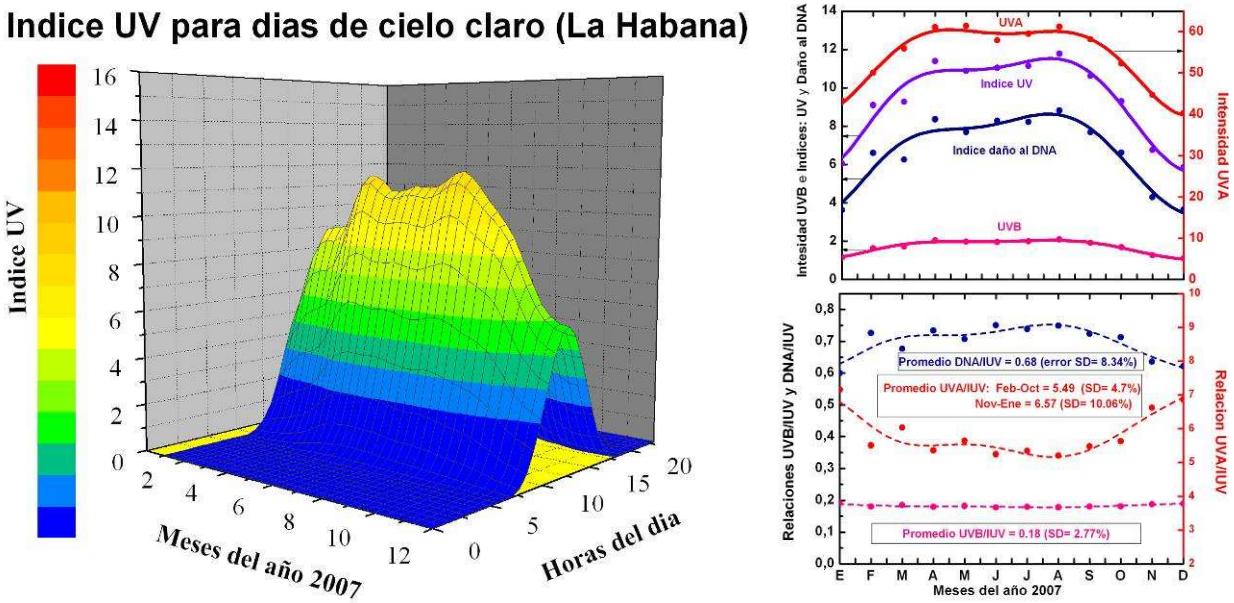

Figura 12. Indice UV y su relación con las intensidades UVA y UVB y el Indice de daño al ADN, para días de cielo claro, calculados para la ciudad de La Habana, en forma similar a lo realizado en la 11 para la Ciudad de México.

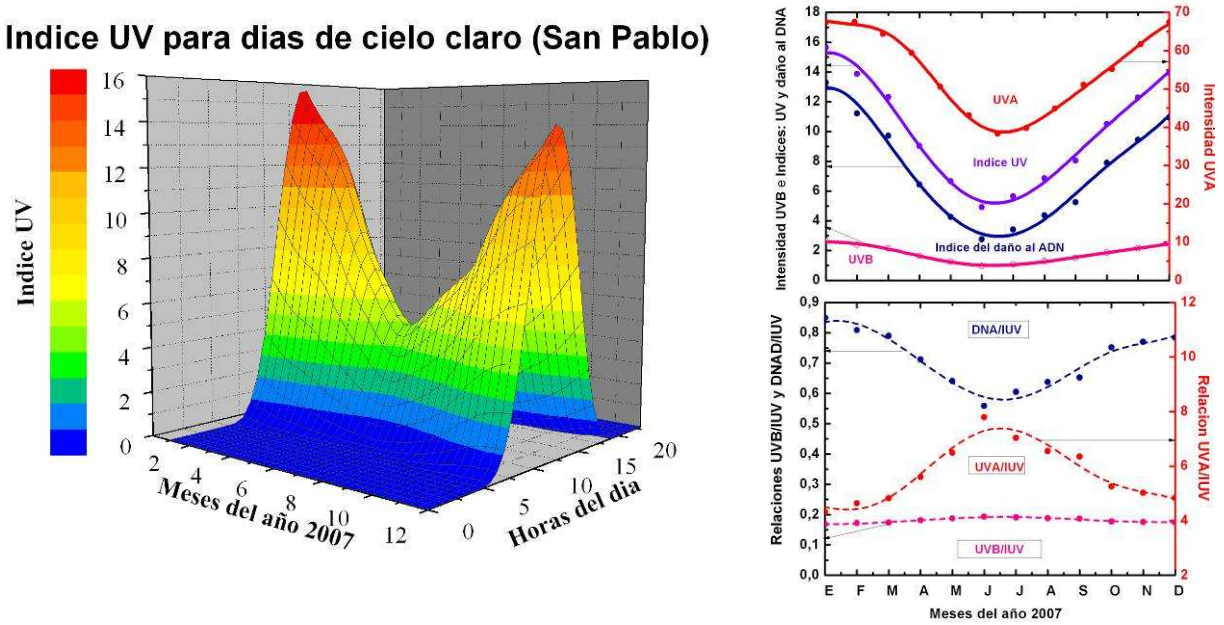

Figura 13. Indice UV y su relación con las intensidades UVA y UVB y el Indice de daño al ADN, para días de cielo claro, calculados para la ciudad de San Pablo, en forma similar a lo realizado en la figura 11 para la Ciudad de México.

Observamos que el comportamiento del Indice UV en las ciudades ubicadas en la zona intertropical (México y La Habana) muestra una variación poco pronunciada a lo largo del año, lo que significa que pueden representarse razonablemente bien las relaciones referidas al Indice UV por valores constantes. De ese modo calculamos las relaciones para los meses de Febrero a Octubre: UVA/IndiceUV$_{(México)}$ = 4.90 (SD = 3.0%, desviación estándar indicadora del error porcentual) y UVA/IndiceUV$_{(La\ Habana)}$ = 5.49 (SD = 4.7%) y por otro valor también constante en los meses restantes de Noviembre a Enero: UVA/IndiceUV$_{(México)}$ = 5.95 (SD = 3.7%) y UVA/IndiceUV$_{(La\ Habana)}$ = 6.57 (SD = 10.1%) Además hemos obtenido un valor constante para todo el año para las relaciones de UVB y del Indice del daño al ADN, ambos referidos al Indice UV: UVB/IndiceUV$_{(México)}$= 0.18 (SD = 2.88%), UVB/IndiceUV$_{(La\ Habana)}$= 0.18 (SD = 2.77%), Indice daño al ADN/IndiceUV$_{(México)}$= 0.74 (SD = 6.55%) e Indice daño al ADN/Indice UV$_{(La\ Habana)}$= 0.68 (SD = 8.34%). Este resultado es de sumo interés, dado que indica que con el simple conocimiento del Indice UV en la ciudad de México y la Habana, puede conocerse con razonable precisión la intensidad UVA, UVB y el índice del daño al ADN.

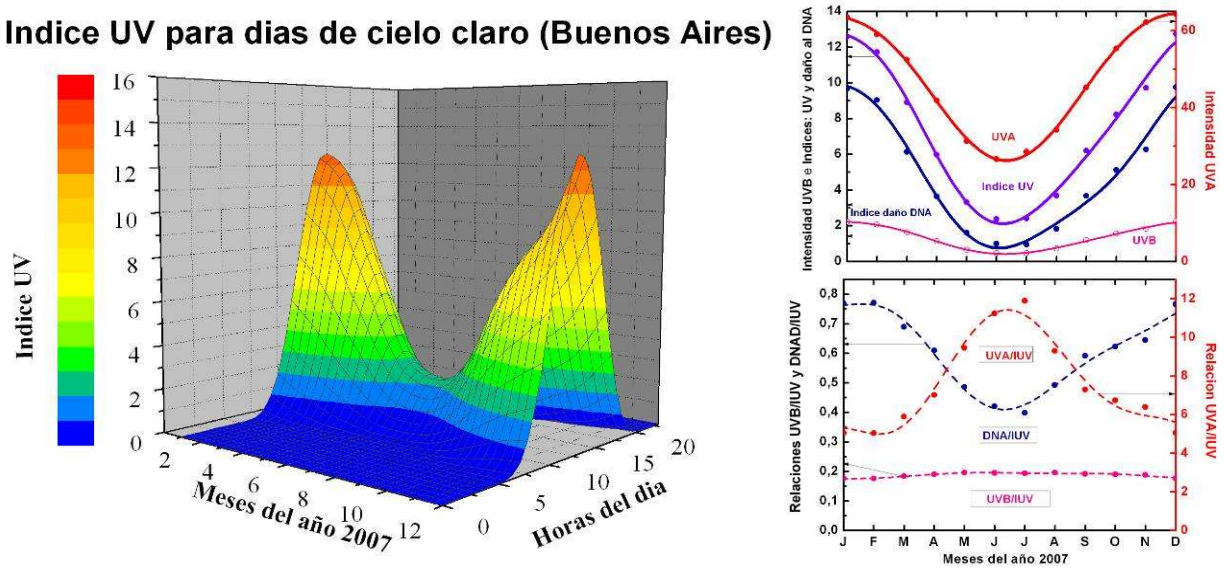

Figura 14. Indice UV y su relación con las intensidades UVA y UVB y el Indice de daño al ADN, para días de cielo claro, calculados para la ciudad de Buenos Aires, en forma similar a lo realizado en la figura 11 para la Ciudad de México.

Por otra parte, los valores absolutos del Indice UV cerca del mediodía solar (que es el dato que normalmente se informa a la población por medida de precaución), que corresponden a los máximos de la figuras 3D, o las curvas de las figuras a la derecha arriba, para México y La Habana, son relativamente elevados en gran parte del año (cercanos a 12 entre Abril y Setiembre para México y cercanos a 11 en La Habana, en el mismo período), lo que implica que el riesgo de exposición al Sol es relativamente elevado en estos meses del año. Los valores del Indice UV decrecen en los meses restantes, llegando a mínimos promedio mensuales de 6-7 en ambas ciudades hacia Diciembre-Enero. Por el contrario las megaciudades de San Pablo y Buenos Aires ubicadas fuera de la zona intertropical muestran una variación abrupta del Indice UV con máximo pronunciado al final de primavera y comienzo del verano austral (de valores 14-15 para la primera ciudad y 12-13 para la segunda) y mínimo al final del otoño y el comienzo del invierno (de valores 5-6 y 2, respectivamente para cada ciudad). En particular, los valores del Indice UV son significativos para San Pablo desde Julio a Mayo de cada año y para Buenos Aires desde Septiembre a Marzo.

Con el objetivo de tratar de comprender el comportamiento de las radiaciones solares UU y sus acciones biológicas asociadas, para diferentes regiones de América Latina y Caribe, hemos incluido en las figuras 15 a 17 un análisis detallado en su dependencia latitudinal de los resultados obtenidos para el mediodía solar en distintas ciudades del Hemisferio Norte: Tijuana, México y La Habana, los cuales muestran una variación similar para los distintos meses del año. También incluimos datos de las ciudades del Hemisferio Sur: San Pablo, Buenos Aires y Ushuaia (en este último caso, en situación de capa de ozono normal, sin pasaje del Agujero de ozono por encima de dicha ciudad, ya que tal situación se realiza eventualmente sólo algunos días al año). Ciudades y lugares intermedios tendrán en general también valores intermedios, dependiendo de la altura y distancia a dichas ciudades, así como el nivel de contaminación. Debido a que el Indice UV contiene alrededor de un 90% de UVB y sólo un 10% de UVA, es lógico esperar que las curvas correspondientes a este índice y a UVB (presentadas en las figuras 11 a 14, derechas inferiores) sean similares en su variación temporal, aunque difieran en sus valores absolutos. Estos resultados muestran que a latitudes intertropicales (banda latitudinal de 25º S a 25º N, que incluye la parte Sur de Norteamérica, Centro-América, el Norte de América del Sur y el Caribe), la intensidad UVA puede describirse razonablemente bien considerando un valor constante de su relación con el Indice UV, ya que el ozono si bien afecta al UVB mucho más que al UVA, en especial en esta zona intertropical no varía significativamente. En cambio, en la regiones de América del Sur de latitudes medias (25.1º a 55º S), dada la mayor variación del ozono, la relación puede llegar a variar más de un 100%, respecto de UVA, así como también del Indice de daño al ADN.

Es de destacar que las predicciones del Indice UV han sido comparadas con las realizadas por la Agencia Espacial Europea a través de los datos adquiridos por su equipo satelital SCHIAMACHY (http://www.temis.nl/index.php). Hemos encontrado un muy buen acuerdo dentro del 10%, salvo para la ciudad de México, muy probablemente debido a que en los cálculos efectuados por esta Agencia, no incluyan la atenuación producida por la alta contaminación por aerosoles, por lo que estos resultados son más altos de lo previsto.

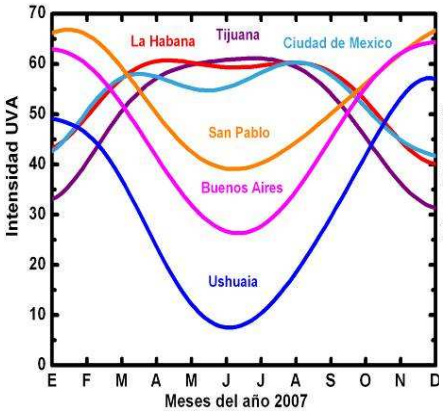

Figura 15. Intensidad UVA solar, en valor promedio mensual para el año 2007, en distintos lugares geográficos de América Latina y Caribe, en función de los meses del año.

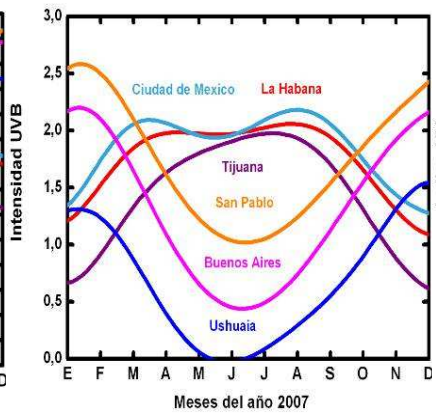

Figura 16. Intensidad UVB solar, en valor promedio mensual para el año 2007, en distintos lugares geográficos de América latina y Caribe, en función de los meses del año.

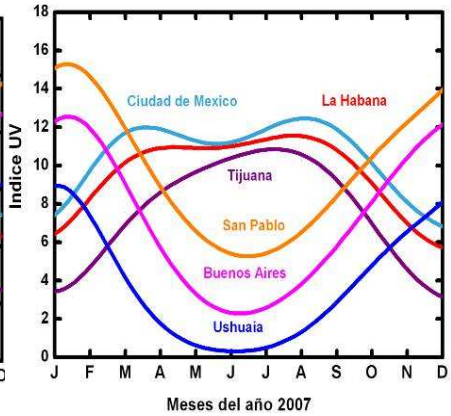

Figura 17. Indice UV solar, en valor promedio mensual para el año 2007, en distintos lugares geográficos de América latina y Caribe, en función de los meses del año.

De lo anterior se pudo concluir que:

• A partir de los datos del índice UV, es factible determinar las componentes UVA y UVB y el índice de daño al ADN.

• El ozono a latitudes medias y altas y los aerosoles atmosféricos en regiones contaminadas (como la ciudad de México), afectan significativamente el índice UV y por lo tanto sus efectos indirectos sobre la piel.

• A latitudes medias, existe una mayor variación de la componente UVA (y más aún de la UVB), que a latitudes intertropicales (bajas).

• En América Latina y Caribe se dan altos valores de las intensidades UVA, UVB e Indice UV en gran parte del año, en zona intertropical o bien en primavera-verano en zonas de latitudes medias.

• Los resultados presentados en este ítem son de interés para relacionarlos con los efectos de las radiaciones UVA y UVB sobre la piel, así como en la determinación de la proporción en la que deben incorporarse en las protecciones (cremas, filtros) solares, las moléculas (cromósforos) que atenúan las radiaciones antes mencionadas.

5.7 Estudio angular de la intensidad (o irradiancia) eritémica

En el trabajo de Piacentini et al (2009) se obtuvo la distribución angular de la intensidad solar eritémica incidente sobre la piel de humanos expuestos al Sol intenso del verano, en la región de Rosario. Se determinaron las zonas de la piel de mayor incidencia según la hora del día y el día del año. La radiación UV solar es el factor natural que juega el mayor rol en inducir cambios normales y anormales en la piel.

Se encontró que la mayor parte de las personas se ubica en posición vertical y

La metodología implementada consistió en medir la irradiancia solar eritémica con el cuerpo en dos posiciones (vertical y horizontal) recorriéndolo con un biómetro portátil (International Light IL 1400A), contrastado con respecto al biómetro YES de alta calidad, perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional. Con este instrumento se determinó la irradiancia eritémica de una persona en los planos que pasan por el centro del cuerpo y por el costado, dividiéndolo en cada caso en dos partes.

En las figuras 18 y 19, se presenta la distribución de la irradiancia eritémica sobre el cuerpo de personas ubicadas horizontal y verticalmente, en los planos arriba indicados.

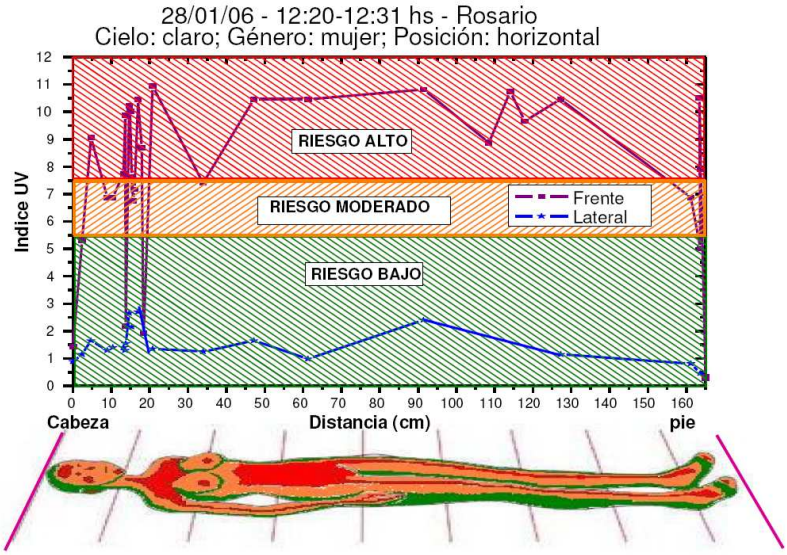

Figura 18. Distribución de la intensidad eritémica en una persona en posición horizontal (parte frontal expuesta al Sol). Arriba: IUV para el medio superior de su cuerpo (línea roja) y para su parte lateral (línea azul). Nota: se indican las bandas de valores del índice UV que corresponden a riesgos bajo (0 a 5), moderado (6 y 7) y alto (superior a 7).

En el primer caso (persona de sexo femenino), las mediciones fueron obtenidas durante el verano del hemisferio Sur, en la ciudad de Rosario, el día de cielo claro 28 de enero de 2006 a la hora local 12:25, en un intervalo de tiempo de unos 11 minutos. Se puede observar que las zonas que reciben más intensidad de radiación solar eritémica son las que se encuentran indicadas en la imagen femenina en color rojo y que llegan a valores que superan un índice de valor 7 (riesgo alto).

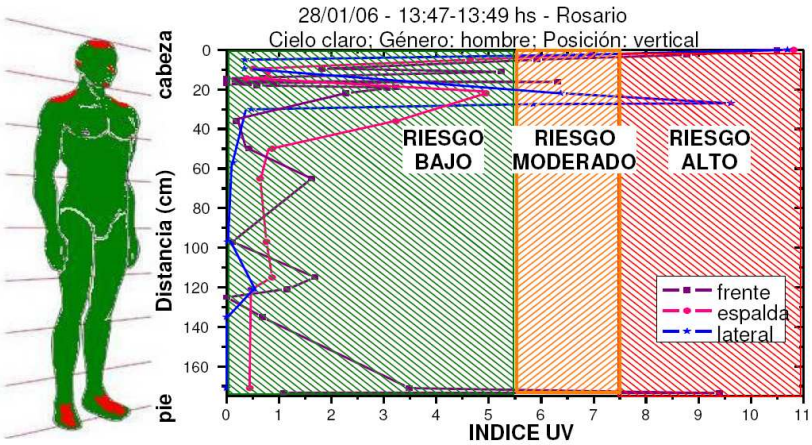

Figura 19. Idem figura 18, para un humano masculino en posición vertical frente al Sol que se encuentra cerca de la vertical del lugar, incluyendo mediciones en la zona posterior, respecto de la posición del Sol.

El máximo, de valor cercano a 11, se registra en gran parte del cuerpo. Por otro lado, las mediciones en el plano lateral no superan el IUV = 3 que corresponde a un riesgo solar bajo.

En el segundo caso (persona de sexo masculino frente al Sol), las mediciones fueron realizadas el mismo día a la hora local 13:48, en un intervalo de tiempo de unos 2 minutos. En este caso, la incidencia de la radiación con valor mayor a 7 se concentra en áreas de la piel que tienen una posición relativamente horizontal, como la parte superior de la cabeza y las orejas, la nariz, los hombros y la parte superior del pie. En este caso, la intensidad en las zonas laterales del cuerpo proporciona valores que se encuentran en un rango intermedio.

En consecuencia, los resultados presentados indican que si bien debe protegerse todo el cuerpo de las altas intensidades solares UV, existen zonas de la piel para las cuales deben extremarse dichas medidas, según la posición que adopte mayoritariamente la persona. Una sugerencia para los dermatólogos y autoridades de salud, es aconsejar duplicar la aplicación de protectores solares tipo cremas o filtros, o usar ropa con doble capa en estas zonas particulares.

6. Conclusiones

En este Capítulo, hemos presentado las propiedades de la piel frente a la radiación solar UV, sus acciones biológicas y patologías asociadas. Nos hemos concentrado principalmente en la acción biológica eritémica, porque es una señal de alarma internacionalmente reconocida como indicadora de posible daño solar al ADN y consecuente desarrollo de cáncer de piel. Para informar al público en general, se transforma dicha intensidad en el Indice UV.

Valores de este índice a latitudes medias de Latinoamérica y nivel del mar, van desde un mínimo cercano a 2-3 a finales del otoño y principios del invierno, hasta 12-13 a finales de la primavera y comienzos del verano. En la vasta zona intertropical, que incluye el Caribe, se tienen valores más uniformes entre alrededor de 5-7 (moderado) y 15-17 (extremo). Con la altura, el índice aumenta aproximadamente un 10% por kilómetro, pudiendo llegar a valores de dicho índice que superen 20 o aún 25 en las grandes alturas de los Andes tropicales (Piacentini et al, 2000).

Introducimos algunos efectos biológicos sobre la piel, tanto instantáneos como tardíos, producidos por la exposición a la radiación UV, explicando cómo influyen en esta interacción el fototipo y la dosis solar. También mencionamos efectos benéficos como la síntesis de vitamina D en piel.

Describimos el índice UV para diferentes lugares de Latinoamérica y del Caribe, de importancia por la cantidad de población que vive en dichos lugares o bien porque son muy frecuentados por sus atractivos naturales.

Detallamos recomendaciones a tener en cuenta al exponerse al Sol intenso, para evitar enfermedades de la piel, pero también sugerimos una exposición moderada, sobre todo cuando el índice UV tiene un valor bajo, para ayudar a incorporar vitamina D en el organismo.

Realizamos una breve presentación de la relación entre temperatura ambiente y cáncer de piel, a través de los resultados obtenidos a partir del US Skin Cancer Survey analizado por Scotto y colaboradores (1981), quienes mostraron que en primera medida el cáncer de piel está relacionado con la radiación solar UV. Así, las personas que viven en lugares geográficos con mayor Indice UV, muestran mayor incidencia de este tipo de cánceres. Sin embargo, los datos presentaban grandes dispersiones respecto del comportamiento promedio decreciente con la latitud. Estas dispersiones fueron analizadas por van der Leun, Piacentini y de Grujil (2008) pudiendo ser explicadas al incluir la variable temperatura ambiente, ya que se obtuvo que a mayor temperatura ambiente de la región, resultaba una mayor incidencia de cánceres de piel no-melanoma. Estos resultados indican que el Calentamiento global del planeta (también llamado Cambio climático), aumentará el riesgo de contraer esta enfermedad de la piel, por lo que deben extremarse las medidas para que se minimice el crecimiento de dicha temperatura, en gran medida debido a la actividad humana que produce e inyecta a la atmósfera, gases de efecto invernadero (anhídrido carbónico, metano, dióxido nitroso, entre otros).

En suma, hemos tratado de demostrar la importancia fundamental que tiene el conocimiento científico del Indice UV en distintas regiones de América Latina y Caribe, para una mayor atención de la salud, en personas que se exponen al Sol.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a: Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y a CONICET de Argentina, a la Universidad Nacional de Rosario, a la Universidad Tecnológica nacional/Facultad Regional Concepción del Uruguay, a la Fundación Ecuatoriana de Psoriasis (FEPSO), Quito, Ecuador y a Laboratorios Deutsche Pharma, Ecuador, por el apoyo brindado para la realización de las extensas investigaciones contenidas en el presente Capitulo. Además, al Dr Antonio Rondón Lugo, por la invitación a publicar este Capítulo, en la muy amplia obra Dermatología Ibero-Americana-Online.

Referencias

Ambach W y Blumthaler M, 1993. Biological effectiveness of solar UV radiation in humans – Birkhäuser Verlag Basel

Ambach W y Blumthaler M, 1994. Characteristics of solar UV irradiance – Meteorol. Zeitschrift

Anderson RR y Parrih JA, 1981. The optics of human skin. The Journal of Investigative Dermatology, 77:13-19

Astner S y Anderson RR, 2003. Skin Phototypes 2003. Wellman Laboratories of Photomedicine, Massachusetts General Hospital, Boston, Massachusetts, USA

Blumthaler M. y Ambach W, 1988. Solar UVB-Albedo of various surfaces. Photochem. Photobiol., 48(1) 85-88

Bruls WA, Slaper H, van der Leun JC, Berrens L, 1984. Transmission of human epidermis and stratum corneum as a function of thickness in the ultraviolet and visible wavelengths. Photochem Photobiol 40:485–494

Castro de Castro A. Capítulo 90: Sol y Piel – libro digital: Dermatología. Rondón Lugo - http://www.cilad.org/archivos/Rondon/Rondon.htm - en página web del Colégio Ibero-Latinoamericano de Dermatologia -http://www.cilad.org/

Cede A, Luccini E, Nuñez L, Piacentini R D y Blumthaler M, 2002a. Monitoring of Erythemal Irradiance in the Argentina Ultraviolet Network. Journal of Geophysical Research, D13-20022001JD001206

Cede A, Luccini E, Piacentini R D, Nuñez L y Blumthaler M, 2002b. The Argentina Ultraviolet Network: Calibration and uncertainty estimation". Applied Optics. 41 (30) 6341-6350

Cede A, Luccini E, Piacentini R D y Stengel F, 2003. "Programa de computación UVARG" Registro de derecho de autor No 270168

CIE, 1998 – Measurements of Optical Radiation Hazards: A reference book – ICNIRP (International Commision on Non-Ionizing Radiation Protection)

Costanzo PR, Elías NO, Rubinstein JK, García Basavilbaso NX, Salerni HH y Piacentini RD, 2010. Impacto de la radiación ultravioleta en las variaciones estacionales de 25 OH vitamina D en jóvenes sanos de Buenos Aires. Revista Medicina (enviado a publicación)

de Paula Correa M y Ceballos JC, 2008. UVB surface albedo measurements using biometers. Rev. Bras. Geof. vol.26 No.4, São Paulo

Freedberg IM, Eisen AZ, Wolff K, Austen KF, Goldsmith LA, Katz SI y Fitzpatrick TB editores, 1999. Fitzpatrick's Dermatology in General Medicine, 5ta edición, New York, McGraw-Hill

Herman J, 2009. University of Mariland, EUA, Comunicación privada

Gilchrest BA, Eller MS, Geller AC, Yaar M, 1999. The pathogenesis of melanoma induced by ultraviolet radiation. N Eng J Med, 340: 1341-8.

Jagger J, 1978. Solar-UV actions on living cells. Praeger Scientific

Ledo E, 1983. Photodermatosis. Part I: Photobiology, Photoimmunology, and idiopathic photodermatoses. Int J Dermatol, 32: 387-96.

Long CS, 2003. UV Index Forecasting Practices around the World – SPARC Newsletter 21 – ISSN 1297-9961 – www.atmosp.physics.utoronto.ca/SPARC/News21/21_Long.html

Mulero Abellán M., 2004. Efecto de la radiación ultravioleta (RUV) sobre los procesos de estrés oxidativo e inmunodepresión cutánea. Efecto protector de los filtros solares. Tesis Doctoral Facultad de Medicina Universidad "Rovira I Virgili"

Nielsen KP, Zhao L, Stamnes JJ, Stamnes K y Moan J, 2008. The optics of human skin: Aspects important for human health. Solar Radiation and Human Health

NRPB: Volume 13, No. 1, 2002

Piacentini RD, 1993. Radiación ultravioleta solar y su incidencia sobre la piel en periodo estival - Actualizaciones Terapéuticas Dermatológicas (Revista del Colegio Iberoamericano de Dermatología) 16 11

Piacentini R D, A Cede, E Luccini y F Stengel, 2004. Determination of the UV solar risk in Argentina with high-resolution maps calculated using TOMS ozone climatology. Advances in Space Research, 34 (10),2215-2220

Piacentini RD, Margasin SM, Salum GM, Cabrini JM, Maciá A y Gómez F, 2009. "Incidencia en la radiación eritémica en todo el cuerpo, medida durante el verano en la región de Rosario, Argentina". Medicina Cutánea Ibero-Latino-Americana, 37 (3) 130-134

Piacentini RD, 1994. La radiación solar y la atmósfera. Revista Dermatología Uruguaya. Edición Especial: Fotobiología. N° 4, 3-14

Piacentini RD, 1995. Las radiaciones ultravioletas B (UVB) y sus acciones sobre la piel en primavera - verano. Actualizaciones Terapéuticas Dermatológicas (Revista del Colegio Iberoamericano de Dermatología) 18 449

Piacentini R D y Mujumdar A, 2009. "Climate change and the drying of agricultural products". Drying Technology, An International Journal, 27 (5) 629-635

Piacentini RD, 2010. Adelgazamiento de la capa de ozono y cambio climático: relaciones con la radiación solar UV incidente sobre piel - Sister Society Conference : Cambio Climático y Dermatología – Conferencia invitada Presentada en la Reunión organizada por la Sociedad Argentina de Dermatología y la International Society of Dermatology, Buenos Aires

Salum, GM, 2009. Sistema de detección de eventos atmosféricos significativos – Tesis Doctoral 2009 – Universidad Nacional de Rosario, Argentina

Scotto et al. National skin cancer survey. NIH Report 1981

Trautinger F, 2001. Mechanisms of photodamage of the skin and its functional consequences for skin aging. Clin Exp Dermatol 2001; 26:573-577

van der Leun J, Piacentini R D and de Gruijl F, 1981. "Climate change and human skin cancer". Photochemical and Photobiological Sciences. 7, 730-733, 2008. DOI: 10.1039/b719302e.

Zittermann A, Schleithoff SS y Koerfer R, 2008. Sun deprivation, vitamin D insufficiency, coronary heart disease, and diabetes mellitus: A point of concern – Solar Radiation and Human Health – Pág 92-210