

Análisis de la radiación solar ultravioleta acumulada en México

Juan Pablo Castanedo-Cázares,^a Bertha Torres-Álvarez,^a
Bárbara Portales-González,^a Karla Martínez-Rosales,^a
Diana Hernández-Blanco^a

Analysis of the cumulative solar ultraviolet radiation in Mexico

Background: The incidence of skin cancer has increased in Mexico in recent years. Ultraviolet radiation is the main risk factor associated. Due to the need to develop strategies to prevent skin cancer, the aim of the study was to estimate the UV intensity in several representative regions of Mexico, the average annual UV dose of these populations, and the potential benefit of applying sunscreen at different ages.

Methods: The intensity of UV radiation was quantified by remote and terrestrial radiometry. The dose of UV exposure was measured in minimal erythema doses using validated models for face and arms. The benefit of using a sunscreen was calculated with the use of a sunscreen with SPF 15 from birth to age 70.

Results: The UV radiation is lower in December and greater in the period from May to July. The region with a lower annual dose is Tijuana; and the higher annual dose is in the Mexico City area. The annual difference between these regions was 58 %. Through life, a low SPF sunscreen can reduce up to 66 % of the received UV dose.

Conclusions: The geographical location is a risk factor for accumulation of UV radiation in Mexico. Since childhood, people receive high amounts of it; however, most of this dose can be reduced using any commercially available sunscreen, if applied strategically.

Keywords Palabras clave

| | |
|-----------------------|----------------------------|
| Solar radiation | Radiación solar |
| Ultraviolet rays | Rayos ultravioleta |
| Sun protection factor | Factor de protección solar |
| Radiation dosage | Dosificación de radiación |

La exposición cutánea a la radiación solar ultravioleta (UV) es capaz de inducir fenómenos alérgicos,¹ degenerativos,² inmunosupresores³ y carcinogénicos.⁴ Se estima que la radiación UV ocasiona del 50 al 90 % de las neoplasias cutáneas.^{5,6} En México, las variantes epiteliales de estos tumores son las más frecuentes, ya que el carcinoma basocelular representa aproximadamente el 63 % y el espinocelular el 25 %.^{7,8} Aunque el melanoma es menos frecuente (10 %), la mayoría de las defunciones (90 %) se relacionan con este tipo de cáncer.⁷⁻⁹ Estudios epidemiológicos muestran que la exposición crónica induce predominantemente el desarrollo de carcinomas espinocelulares.¹⁰ El melanoma se asocia a la exposición solar intermitente,⁹ mientras que la exposición tanto aguda como acumulada se relacionan con la aparición de carcinomas basocelulares.¹¹ En nuestro país, el incremento del cáncer en piel en años recientes coincide con modificaciones socioculturales en el uso de vestimenta, tiempos y situaciones de exposición solar, el aumento en la expectativa de vida, así como con una detección más oportuna.^{8,12,13} El aumento progresivo en su incidencia, incluso en personas jóvenes, resalta la necesidad de prevenir la radiación UV solar.^{7,8,14} No obstante, la información con respecto a la cantidad de radiación ambiental, la dosis de exposición y la relación dosis-respuesta en la aparición de estas neoplasias es escasa, ya que la mayoría de la radiación UV incide sobre la piel mediante dosis continuas o intermitentes (suberitematosas) que no exceden su umbral perceptivo (quemadura solar).^{13,15,16} Por lo tanto, la intención del presente estudio fue estimar: a) la intensidad de la radiación UV en regiones representativas de nuestro país, b) la dosis promedio crónica de exposición UV de esas poblaciones, c) el beneficio de la aplicación de un filtro solar a diferentes edades, y d) proponer estrategias para reducir la exposición solar.

Métodos

Medición terrestre de radiación UV

La cuantificación de los niveles de radiación UV ambiental se llevó a cabo en la ciudad de San Luis

^aDepartamento de Dermatología, Hospital Central "Dr. Ignacio Morones Prieto", Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México

Comunicación con: Bertha Torres-Álvarez
Teléfono: (444) 834 2795
Correo electrónico: torresmab@yahoo.com.mx

Introducción: La incidencia del cáncer de piel en México se ha incrementado en los últimos años. La radiación UV es el principal factor de riesgo asociado. Debido a la necesidad de desarrollar estrategias para evitarla, el objetivo del estudio fue estimar la intensidad UV en diversas regiones representativas del país, la dosis UV promedio anual de esas poblaciones y el beneficio potencial de la aplicación de un filtro solar a diferentes edades.

Métodos: se cuantificó la intensidad de la radiación UV mediante radiometría terrestre y remota. La dosis de exposición UV se midió en dosis mínimas eritematogénas utilizando modelos validados para cara y brazos. El beneficio de realizar fotoprotección se calculó para el

uso de un filtro con FPS 15 desde el nacimiento hasta los 70 años.

Resultados: la radiación UV es menor en diciembre y máxima de mayo a julio. La localidad con menor dosis anual es Tijuana y la máxima el Distrito Federal. La diferencia anual entre estas regiones es de 58 %. Durante la vida, un filtro solar de baja potencia puede reducir hasta 66 % la dosis recibida.

Conclusiones: la localización geográfica es un factor de riesgo para la acumulación de radiación UV en México. Desde la infancia, la población recibe dosis elevadas de radiación UV. La mayoría de esas dosis puede reducirse mediante cualquier filtro solar disponible en el comercio, si es aplicado de forma estratégica.

Resumen

Potosí, México (22° 09' latitud norte, 100° 58' longitud oeste, 1877 m altitud). Se utilizó un radiómetro meteorológico (Biometer 501, Solar Light, Glensville, Pennsylvania, EUA), programado para realizar registros diarios de 6 AM a 6 PM con intervalos de 15 min. La intensidad fue cuantificada según el espectro de acción eritematogénico.¹⁷ Esta medida observa la capacidad de las longitudes de onda de la radiación UV para causar quemadura solar, las cuales también corresponden a las que originan carcinogénesis.^{17,18} El 80 % del valor de este espectro lo determinan longitudes de 290 a 320 nm y el 20 % las de 321 a 340 nm.¹⁷ La intensidad se cuantificó en joules por metro cuadrado, los cuales se convirtieron a dosis mínima eritematogénica (DME). Una DME equivale a 21 mJ/cm² y corresponde a la radiación UV que suele originar quemadura perceptible en una persona caucásica de piel blanca, 24 horas después de su exposición.^{15,18}

Medición remota de la radiación UV sobre la República Mexicana

La dosis de radiación UV eritematogénica fue obtenida con el sistema gestor Giovanni, diseñado para el estudio de datos e información de ciencias de la tierra. Esta herramienta fue desarrollada y es mantenida por el Centro Espacial de Vuelos Goddard de la NASA (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, Greenbelt, MD, E.U.A.).¹⁹ Los parámetros se originan desde el sistema satelital Aura, los cuales son válidos para su uso científico.^{19,20} Los datos utilizados correspondieron a la ciudad de San Luis Potosí y otras 10 localidades representativas del país, cuyas características geográficas se describen en el cuadro I.

Cálculo de la dosis acumulada de exposición UV

La exposición individual a radiación UV solar fue estimada para cara y brazos mediante la irradiancia

local ambiental. Se escogieron estas regiones anatómicas, ya que allí se desarrollan la mayoría de las neoplasias cutáneas.^{7,8} El método utilizado fue el modelo de regresión polinomial para diversas posturas y áreas corporales de Vernez.¹⁶ Esta ecuación utiliza dos variables que predicen con exactitud de 98 % la dosis de radiación crónica UV recibida; una es el coseno de la irradiación máxima durante el cenit solar (cosSZA), y la otra la fracción visible del cielo desde la región anatómica (70 % para cara y brazos). La fracción de exposición (FE) en posición erecta se calculó mediante la fórmula: $FE = -3.396 * (\ln(7) - 1.758) + 10.714 * 7 - 5.8 + 9.199 * (\cos SZA - 0.315) + 56.991$.

La dosis acumulada para las once ciudades se estimó considerando una hora de exposición solar diaria, ya que estudios en México muestran que aproximadamente un tercio de la población permanece al exterior durante este intervalo.^{12,13,15}

Cálculo del beneficio de realizar fotoprotección

El factor de protección solar (FPS) define la relación de la dosis UV requerida para producir una DEM en piel protegida y la requerida para producirla en piel sin protección.²¹⁻²³ Por lo tanto, el valor del FPS es inversamente proporcional a la cantidad de radiación UV transmitida a la piel.^{22,24} Sin embargo, esta relación no es lineal, ya que un FPS 5 transmite 20 % y absorbe o refleja el 80 % de la radiación UV, mientras que un FPS 30 transmite 5 % y elimina el 95 % de esta.²² En consecuencia, existe mayor beneficio al elevar el FPS de 2 a 4 (25 % mayor protección), que su incremento de 20 a 40 (2.5 % más).²⁴ Dado que el usuario común de un filtro solar recibe un tercio de la eficacia del producto debido a su aplicación insuficiente,²³ el beneficio de la fotoprotección se calculó bajo la utilización de un producto FPS 15, el cual traduce un FPS en condiciones de uso de aproximadamente 5.^{21,22,25} Esta protección se proyectó hasta los

Cuadro I Características geográficas y demográficas de las ciudades mexicanas analizadas

| Ciudad | Latitud | Longitud | Altura* | Población† |
|------------------|-------------|--------------|---------|------------|
| Tijuana | 32° 31' 51" | 117° 1' 12" | 31 | 1 559 683 |
| Chihuahua | 28° 38' 7" | 106° 5' 20" | 3333 | 819 543 |
| Monterrey | 25° 40' 0" | 100° 18' 0" | 537 | 1 135 550 |
| Culiacán | 24° 48' 0" | 107° 23' 0" | 64 | 858 638 |
| Cancún | 21° 9' 38" | 86° 50' 51" | 10 | 661 176 |
| Villahermosa | 17° 50' 5" | 92° 55' 9" | 9 | 640 359 |
| San Luis Potosí | 22° 9' 2" | 100° 58' 30" | 1860 | 772 604 |
| Guadalajara | 20° 39' 58" | 103° 21' 7" | 1540 | 1 495 189 |
| Tuxtla Gutiérrez | 16° 45' 11" | 93° 6' 56" | 600 | 553 374 |
| Acapulco | 16° 51' 6" | 99° 54' 35" | 20 | 789 971 |
| México, DF | 19° 25' 10" | 99° 8' 44" | 2240 | 8 851 080 |

*Metros sobre el nivel del mar

†Número de habitantes

Fuente: censo de población 2010, Instituto Nacional de Geografía e Informática: www.inegi.org.mx

70 años de edad, y se contrastó con la exposición sin protección, así como con su inicio por década de vida.

Análisis

Los parámetros fueron sometidos a análisis descriptivos univariados y de correlación. La variación de los promedios mensuales obtenidos fue valorada mediante el análisis de varianza de una y dos vías (ANOVA). El nivel de confianza se fijó en 95 % y se consideró una p significativa con valores iguales o menores al 5 %. El procedimiento fue realizado mediante el programa SPSS versión 16.0 para Windows (IBM, Armonk, NY, E.U.A.).

Resultados

Mediciones de radiación UV

La dosis diaria obtenida mediante radiometría terrestre fue comparada con los valores satelitales que proporcionó la NASA para las coordenadas de la ciudad de San Luis Potosí. Durante el lapso de observación, el coeficiente de correlación fue cercano a la unidad ($r = 0.92$, $p < 0.001$). Por lo tanto, se confirmó que las mediciones remotas son equiparables a las cuantificaciones terrestres. Existió variación significativa entre las dosis de radiación UV en el transcurso del año, y entre ciudades (ANOVA, $p < 0.001$). La dosis mínima de radiación UV se observó en diciembre para todos los sitios y la máxima durante los meses

de mayo a julio. La localidad con menor radiación anual fue Tijuana y la de máxima radiación el Distrito Federal. Estas cuantificaciones se resumen en el cuadro II.

Dosis acumulada de exposición UV

El promedio diario de DME que incide de forma efectiva sobre cara y brazos difiere entre meses y entre ciudades (ANOVA, $p < 0.001$). La menor acumulación diurna ambiental anual disponible es de 85 DME para Tijuana, y la mayor de 146 DME para el Distrito Federal. La diferencia entre estas dos ciudades fue de 58 %. El 50 % de las DME anuales se acumula de abril a agosto. Estos datos se presentan en el cuadro III. El análisis de la acumulación personal de DME durante una hora de exposición solar, durante el horario de máxima irradiación por década, mostró que la dosis acumulada en la ciudad de Tijuana a los 80 años de edad equivale a la acumulada a los 49 años en el Distrito Federal (1224 DME). Esta información se muestra en el cuadro IV.

Beneficio de realizar fotoprotección

Desde el nacimiento hasta los 70 años de edad, el uso de un filtro solar que brinde una protección de 5 antes de la hora de exposición diaria, reduce de 1421 ± 191 a 284 ± 38 DME en promedio para el conjunto de ciudades analizadas. Por lo tanto, como se aprecia en la figura 1, la aplicación de un FPS de 10 reduce al doble la DME acumulada (142 ± 19). Por otra parte, y bajo este mismo escenario, la fotoprotección tardía también reduce de forma significativa la dosis acumulada, ya

Cuadro II Promedio diario de la dosis total de radiación UV ambiental ajustada al espectro eritematígeno (J/m^2), según el mes. Periodo 2009-2013 para las 11 ciudades de México estudiadas

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tijuana | 1432 | 2042 | 3238 | 4160 | 5011 | 5416 | 5448 | 5170 | 4200 | 2724 | 1795 | 1211 |
| Chihuahua | 2136 | 3152 | 4330 | 5407 | 5876 | 6077 | 5395 | 5790 | 4541 | 3772 | 2508 | 1906 |
| Monterrey | 2510 | 3288 | 4396 | 5195 | 5379 | 5989 | 5577 | 5777 | 4425 | 4006 | 2657 | 2230 |
| Culiacán | 2511 | 3469 | 4490 | 5727 | 6004 | 6053 | 5702 | 5423 | 4918 | 4055 | 2936 | 2252 |
| Cancún | 2828 | 3828 | 4799 | 5673 | 5814 | 5694 | 5986 | 5849 | 5035 | 4199 | 3019 | 2663 |
| Villahermosa | 2968 | 3898 | 4608 | 5283 | 5552 | 5683 | 5712 | 5556 | 5127 | 4453 | 3269 | 2848 |
| San Luis Potosí | 3013 | 4075 | 5159 | 6011 | 5985 | 6360 | 6075 | 6125 | 5092 | 4755 | 3365 | 2770 |
| Guadalajara | 3234 | 4299 | 5581 | 6214 | 6146 | 6337 | 5807 | 5952 | 5235 | 4886 | 3664 | 3088 |
| Tuxtla Gutiérrez | 3602 | 4723 | 5275 | 5814 | 5520 | 5383 | 5847 | 5525 | 5022 | 4828 | 3746 | 3420 |
| Acapulco | 3781 | 4830 | 5703 | 6211 | 6240 | 5961 | 5899 | 5611 | 5183 | 4879 | 4167 | 3692 |
| México, DF | 4080 | 5305 | 6257 | 6895 | 7023 | 7751 | 7467 | 7441 | 6793 | 5849 | 4509 | 3925 |

que el uso de un FPS 5 desde los 60 años reduce de 1071 a 971 las DME recibidas, es decir, 9 % menos del total adquirido sin fotoprotección (ANOVA, $p < 0.001$).

Discusión

La población de México se expone de forma continua a la radiación UV solar desde la infancia.¹³ Las zonas más vulnerables de la piel son las áreas sin protección como cara, cuello, antebrazos y manos.^{7,8,10} Debido a que la mayoría de las neoplasias cutáneas son inducidas por la radiación UV, limitar esta exposición previene sustancialmente su aparición.^{5,6,10} Nuestro estudio demuestra que existen diferencias en la intensidad solar entre las distintas regiones geográficas del país; esto significa que vivir en localidades con mayor

radiación solar influye de manera crónica en la dosis acumulada. Por ejemplo, el Distrito Federal es la ciudad con mayor irradiación UV anual, en contraste con Tijuana que recibe una intensidad 47 % menor. Esto se debe primordialmente a que la radiación UV terrestre se reduce aproximadamente 3 % por cada grado de latitud norte y se incrementa 10 % por cada 1000 metros sobre el nivel del mar.²⁶

Aunque el estilo de vida y los hábitos personales determinan en gran medida esta dosis, nuestro análisis hace evidente que la exposición ambiental durante una hora diaria tendrá mayor repercusión en el centro y sur del país, donde existe una mayor densidad de habitantes, y de forma particular entre la población de piel clara.¹⁵ No existe una relación precisa entre la dosis acumulada y el desarrollo de neoplasias; sin embargo, la exposición solar durante una hora en localidades del norte y centro es muy distinta; por ejemplo, la dosis acumulada durante

Cuadro III Promedio diario de radiación ultravioleta ambiental total que incide sobre la cara y brazos, expresada en dosis mínima eritematígena. Se muestran por periodos mensuales en 11 ciudades de México

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| Tijuana | 3.2 | 4.5 | 7.0 | 8.5 | 9.8 | 10.4 | 10.5 | 10.1 | 8.5 | 5.8 | 4.0 | 2.7 |
| Chihuahua | 4.8 | 6.9 | 9.1 | 10.9 | 11.4 | 11.6 | 10.3 | 11.2 | 9.0 | 7.8 | 5.5 | 4.3 |
| Monterrey | 5.6 | 7.5 | 9.3 | 11.3 | 11.6 | 11.6 | 10.9 | 10.4 | 9.6 | 8.3 | 6.3 | 5.0 |
| Culiacán | 5.6 | 7.1 | 9.2 | 10.3 | 10.4 | 11.4 | 10.6 | 11.1 | 8.7 | 8.2 | 5.7 | 4.9 |
| Cancún | 6.2 | 8.2 | 9.8 | 11.1 | 11.1 | 10.9 | 11.4 | 11.2 | 9.8 | 8.5 | 6.4 | 5.8 |
| Villahermosa | 6.4 | 8.2 | 9.3 | 10.3 | 10.6 | 10.9 | 10.9 | 10.6 | 9.9 | 8.9 | 6.8 | 6.1 |
| San Luis Potosí | 6.6 | 8.7 | 10.6 | 11.8 | 11.5 | 12.1 | 11.6 | 11.7 | 9.9 | 9.6 | 7.1 | 6.0 |
| Guadalajara | 7.0 | 9.1 | 11.4 | 12.1 | 11.8 | 12.1 | 11.1 | 11.4 | 10.1 | 9.8 | 7.7 | 6.7 |
| Tuxtla Gutiérrez | 7.7 | 9.9 | 10.6 | 11.3 | 10.5 | 10.3 | 11.2 | 10.5 | 9.6 | 9.6 | 7.8 | 7.4 |
| Acapulco | 8.1 | 10.1 | 11.5 | 12.0 | 11.9 | 11.4 | 11.3 | 10.7 | 10.0 | 9.7 | 8.6 | 7.9 |
| México, DF | 8.8 | 11.2 | 12.7 | 13.4 | 13.4 | 14.8 | 14.3 | 14.2 | 13.1 | 11.7 | 9.4 | 8.5 |

Una dosis mínima eritematígena: 21 mJ/cm²

Cuadro IV Acumulación por década de vida de dosis mínimas eritematógenas correspondientes a una hora de exposición solar. La estimación es para cara y brazos durante el horario de máxima irradiación para cada ciudad analizada

| | Años de vida | | | | | | | |
|------------------|--------------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| Tijuana | 153 | 306 | 459 | 612 | 765 | 918 | 1071 | 1224 |
| Chihuahua | 185 | 370 | 555 | 740 | 925 | 1110 | 1295 | 1481 |
| Monterrey | 193 | 386 | 579 | 773 | 966 | 1159 | 1352 | 1545 |
| Culiacán | 186 | 372 | 558 | 744 | 930 | 1116 | 1302 | 1487 |
| Cancún | 198 | 397 | 595 | 794 | 992 | 1190 | 1389 | 1587 |
| Villahermosa | 196 | 392 | 587 | 783 | 979 | 1175 | 1371 | 1567 |
| San Luis Potosí | 211 | 422 | 634 | 845 | 1056 | 1267 | 1478 | 1689 |
| Guadalajara | 217 | 433 | 650 | 867 | 1084 | 1300 | 1517 | 1734 |
| Tuxtla Gutiérrez | 209 | 419 | 628 | 838 | 1047 | 1257 | 1466 | 1676 |
| Acapulco | 222 | 443 | 665 | 887 | 1109 | 1330 | 1552 | 1774 |
| México, DF | 262 | 524 | 786 | 1049 | 1311 | 1573 | 1835 | 2097 |

El horario de máxima irradiación solar es ± 2 horas del cenit solar local
Una dosis mínima eritematógena: 21 mJ/cm²

40 años en el Distrito Federal equivale a la que se obtiene en Tijuana hasta los 70 años. En nuestro entorno, la protección constante de baja intensidad (FPS 5) desde

la infancia es capaz de reducir más de la mitad de la exposición solar durante la vida de una persona. Por lo tanto, más que recomendar un filtro solar por su potencia u otros atributos, es más relevante educar al público en relación con su beneficio crónico, ya que este tipo de filtros suele utilizarse de forma contingente durante la exposición solar intensa y no de forma continua debido al desconocimiento de sus ventajas a largo plazo.^{12,22,25}

Por otra parte, es importante reconocer que las dosis UV son relativamente uniformes durante marzo y noviembre, y que de abril a agosto se recibe la mitad de la dosis UV anual. En consecuencia, la fotoprotección debe seguirse aplicando durante el invierno, ya que, pese a que la intensidad se reduce, los meses de diciembre y enero representan el 11 % de la dosis anual. Nuestro trabajo demuestra que la aplicación cotidiana de un filtro solar comercial con un FPS igual o mayor de 15, al menos en una ocasión durante el horario de máxima irradiación solar (medio día), es suficiente para lograr este objetivo. Sin embargo, hay que considerar que aunque el filtro solar es un recurso eficiente, su combinación con sombreros y vestimenta apropiada sobre las áreas expuestas aumentará notablemente su beneficio.²² Asimismo, no solo las acciones preventivas desde edades tempranas ofrecen beneficios sustanciales. El inicio de la fotoprotección desde la quinta o sexta década de la vida también es capaz de reducir de forma significativa la dosis acumulada. Esta intervención relativamente tardía puede eliminar el 19 % de la exposición UV si se realiza desde los 50 hasta los 70 años, periodo de la vida en el que suele diagnosticarse el cáncer de piel.^{7,8}

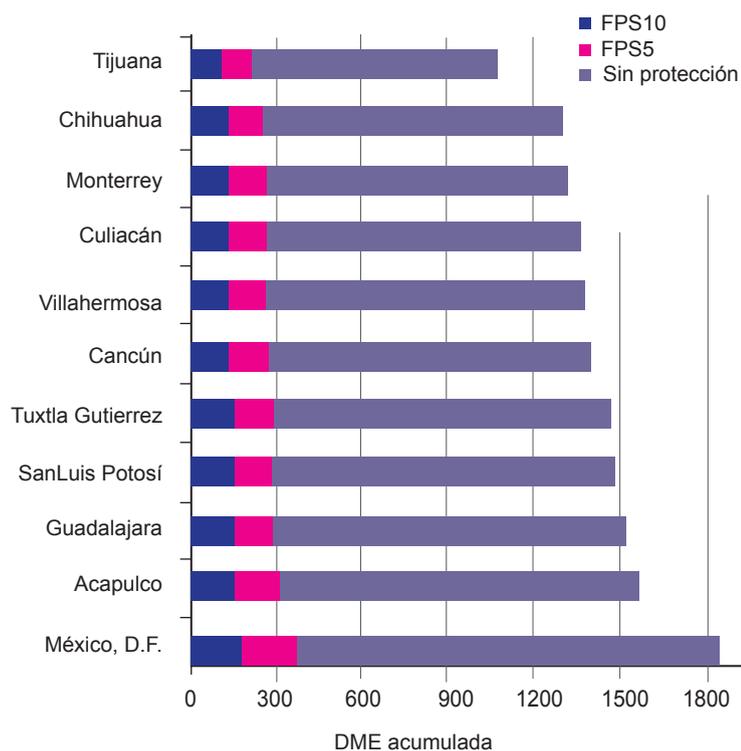


Figura 1 Radiación ultravioleta acumulada a los 70 años de edad en cara y brazos. Se estimó la acumulación tras una hora de exposición solar diaria, expresada en dosis mínima eritematógena (DME). Se muestra el beneficio de un factor de protección solar (FPS) 5 (20 % exposición) y un FPS 10 (10 % exposición), en contraste con la ausencia de protección (100 % exposición)

En conclusión, la exposición solar y la localización geográfica son factores de riesgo para la acumulación de radiación UV y para el desarrollo de las neoplasias cutáneas más frecuentes. La exposición intensa a edades precoces condiciona su incremento durante la vida adulta. Desde su nacimiento la población de nuestro país recibe dosis elevadas de radiación UV. La reducción de la mayoría de estas dosis puede lograrse

mediante cualquiera de los filtros solares disponibles en el comercio nacional, si se aplican de forma estratégica.

Declaración de conflicto de interés: los autores han completado y enviado la forma traducida al español de la declaración de conflictos potenciales de interés del Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas, y no fue reportado alguno en relación con este artículo.

Referencias

- Kutlubay Z, Sevim A, Engin B, Tüzün Y. Photodermatoses, including phototoxic and photoallergic reactions (internal and external). *Clin Dermatol.* 2014;32(1):73-9.
- Yaar M, Gilchrist BA. Photoageing: mechanism, prevention and therapy. *Br J Dermatol.* 2007;157(5):874-7.
- Damian DL, Matthews YJ, Phan TA, Halliday GM. An action spectrum for ultraviolet radiation-induced immunosuppression in humans. *Br J Dermatol.* 2011;164(3):657-9.
- Kozma B, Eide MJ. Photocarcinogenesis: an epidemiologic perspective on ultraviolet light and skin cancer. *Dermatol Clin.* 2014;32(3):301-13, viii.
- Wu S, Han J, Vleugels RA, Puett R, Laden F, Hunter DJ, et al. Cumulative ultraviolet radiation flux in adulthood and risk of incident skin cancers in women. *Br J Cancer.* 2014;110(7):1855-61.
- Young C. Solar ultraviolet radiation and skin cancer. *Occup Med (Lond).* 2009;59(2):82-8.
- Jurado-Santa Cruz F, Medina-Bojórquez A, Gutiérrez-Vidrio RM, Ruiz-Rosillo JM. Prevalencia del cáncer de piel en tres ciudades de México. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc.* 2011;49(3):253-8.
- Pinedo-Vega JL, Castañeda-López R, Dávila-Rangel JI, Mireles-García F, Ríos-Martínez C, López-Saucedo A. Incidencia de cancer de piel en Zacatecas. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc.* 2014;52(3):282-9.
- Elwood JM, Jopson J. Melanoma and sun exposure: an overview of published studies. *Int J Cancer.* 1997;73(2):198-203.
- Armstrong BK, Kricger A. The epidemiology of UV induced skin cancer. *J Photochem Photobiol B.* 2001;63(1-3):8-18.
- Bauer A, Diepgen TL, Schmitt J. Is occupational solar ultraviolet irradiation a relevant risk factor for basal cell carcinoma? A systematic review and meta-analysis of the epidemiological literature. *Br J Dermatol.* 2011;165(3):612-25.
- Castanedo-Cázares JP, Torres-Alvarez B, Medellín-Pérez ME, Aguilar-Hernández GA, Moncada B. Conocimientos y actitudes de la población mexicana con respecto a la radiación solar. *Gac Med Mex.* 2006;142(6):451-5.
- Castanedo-Cázares JP, Lepe V, Gordillo-Moscoco A, Moncada B. Dosis de radiación ultravioleta en escolares mexicanos. *Salud Publica Mex.* 2003;45(6):439-44.
- Díaz-González JM, Peniche-Castellanos A, Fierro-Arias L, Ponce-Olivera RM. Cáncer de piel en pacientes menores de 40 años. Experiencia de cuatro años en el Hospital General de México. *Gac Med Mex.* 2011;147(1):17-21.
- Castanedo Cázares JP, Torres Álvarez B, Sobrevilla Ondarza S, Ehnis Pérez A, Gordillo Moscoco A. Estimación del tiempo de exposición solar para quemadura en población mexicana. *Gac Med Mex.* 2012;148(3):243-7.
- Vernez D, Milon A, Vuilleumier L, Bulliard JL, Koehlin A, Boniol M, et al. A general model to predict individual exposure to solar UV by using ambient irradiance data. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2015;25(1):113-8. Epub 2014 Feb 5.
- McKinlay AF, Diffey BL. A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. *CIE J.* 1987;6:17-22 .
- Harrison GI, Young AR. Ultraviolet radiation-induced erythema in human skin. *Methods.* 2002;28(1):14-9.
- Berrick SW, Leptoukh G, Farley JD, Rui H, Giovanni: A web service workflow-based data visualization and analysis System. *IEEE Trans Geosci Remote Sens.* 2009;47(1):106-13.
- Krzyżściński JW, Jarosławski J, Rajewska-Więch B, Sobolewski PS, Narbutt J, Lesiak A, et al. Space-based estimation of the solar UV-B doses for psoriasis heliotherapy in Poland using OMI data for the period 2005-2011. *J Photochem Photobiol B.* 2012 Dec 5;117:240-6.
- Castanedo-Cazares JP, Torres-Alvarez B, Briones-Estevis S, Moncada B. La inconsistencia del factor de protección solar (FPS) en México. El caso de los filtros para piel oleosa. *Gac Med Mex.* 2005;141(2):111-4.
- Castanedo-Cázares JP, Martínez-Rosales K, Hernández-Blanco D, Valdés-Rodríguez G, Torres-Alvarez B. In vitro assessment of commercial sunscreens available in Latin America. *Invest Clin.* 2014 Jun;55(2):142-54.
- Petersen B, Wulf HC. Application of sunscreen—theory and reality. *Photodermatol Photoimmunol Photomed.* 2014 Apr Jun;30(2-3):96-101.
- Nole G, Johnson AW. An analysis of cumulative lifetime solar ultraviolet radiation exposure and the benefits of daily sun protection. *Dermatol Ther.* 2004;17 Suppl 1:57-62.
- Castanedo Cázares JP, Torres Álvarez B, Valdés González G, Ehnis Pérez A. Evaluación in vitro de la protección UVA de los filtros solares para prescripción en México. *Gac Med Mex.* 2013;149(3):292-8.
- Frederick JE, Snell HE, Haywood EK. Solar ultraviolet radiation at the earth's surface. *Photochem Photobiol.* 1989 Oct;50(4):443-50.