

## **ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN AL SOL NECESARIO PARA ASEGURAR LA PRODUCCIÓN DE VITAMINA D Y PREVENIR ERITEMA PARA LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN DEL URUGUAY**

G. M. Salum<sup>1</sup>, A. Ipiña<sup>2</sup> y M. J. Ernst<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad Regional Concepción del Uruguay / Universidad Tecnológica Nacional  
Ing. Pereira 676 - Concepción del Uruguay - Entre Ríos - Argentina  
(E3264BTD) - Tel/Fax: (+54 3442) 425541-423803  
email: [salumg@frcu.utn.edu.ar](mailto:salumg@frcu.utn.edu.ar)

<sup>2</sup> IFIR (CONICET - UNRosario), 27 de Febrero 210 bis, 2000 Rosario, Argentina.

**RESUMEN:** La vitamina D es responsable de regular el paso de calcio a los huesos y participa en el mantenimiento de órganos mediante la regulación de sus niveles adecuados. Su síntesis en la piel contribuye aproximadamente del 80 al 90 % del suministro de vitamina D humano. La exposición a radiación UVB es vital para la síntesis cutánea y por ello es importante la exposición diaria al Sol. Pero la cantidad de dosis recibida en cada exposición debe estar limitada por la dosis eritémica mínima de cada persona para que no se produzcan daños cutáneos. En este trabajo se presenta la cantidad de tiempo de exposición al Sol según el día del año, que garantiza ambas condiciones.

**Palabras clave:** tiempo de exposición, vitamina D, DEM, UVB, piel, Concepción del Uruguay

### **INTRODUCCION**

La radiación ultravioleta (UV) comprende el rango de longitudes de onda de aproximadamente 10 a 400 nm. Usualmente se lo divide en UVA, UVB y UVC. Las subdivisiones son arbitrarias y difieren algo dependiendo la disciplina que esté involucrada. En nuestras aplicaciones utilizamos los siguientes rangos: UVA, 400 a 320 nm; UVB, 320 a 280 nm; y UVC, 280 a 10 nm. La radiación solar por encima de 280 nm (UVB y UVA) puede alcanzar la superficie terrestre, mientras que, la radiación por debajo de los 280 nm es completamente absorbida en la atmósfera, principalmente por oxígeno molecular, nitrógeno y ozono. (Cede, 2001).

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 y colaboradores, 1984) y la radiación UV es absorbida por los tejidos oculares (principalmente la córnea y el cristalino) antes de alcanzar la retina. 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 D<sub>2</sub> y vitamina D<sub>3</sub>. La vitamina D<sub>2</sub> es sintetizada en las plantas y los hongos, mientras que la vitamina D<sub>3</sub> (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 D<sub>2</sub> y D<sub>3</sub>, pero es importante resaltar que cualquier vitamina D originada desde la síntesis cutánea es vitamina D<sub>3</sub>. 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 25-hidroxi-vitamina D (25OHD) es una pre-hormona en la sangre producida en el hígado desde el metabolismo de la vitamina D<sub>3</sub>. Cuando se desea determinar la deficiencia de la vitamina D, se debe testear el nivel de la 25OHD (Vitamine D Council web page).

La comida es una segunda fuente de vitamina D, pero sólo pocos alimentos tales como la anguila, el arenque y el salmón son buenas fuentes de vitamina D. Por tanto, la vitamina D cutáneamente sintetizada por lo general contribuye el 80-90 % al suministro de vitamina D humano.

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 irradiación con UVB, con longitudes de onda específicamente menores que 315 nm, y estrictamente UVB dado que la radiación UVA no contribuye a la producción de vitamina D como lo hace con el eritema.

La cantidad de luz 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 luz solar (especialmente la parte UVB del espectro) varían con la latitud, estación del año y hora del día. La vitamina D producida en la piel por  $J/m^2$  de radiación incidente efectiva 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. Así que no hay una guía simple que se aplique a cada situación, sino que cada una de las exposiciones debe ser valorada de una manera similar a la valoración del riesgo de eritema.

La gente con piel más pigmentada naturalmente requiere más radiación UVB para producir el mismo cambio en la circulación de la 25OHD que la gente con piel pálida. Sin embargo, si la radiación es expresada en términos de la dosis eritémica mínima (DEM) para cada tipo de piel, entonces la 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 no ocurrirá durante los meses de invierno dado que no hay suficiente UVB en la radiación solar que llega a la superficie terrestre para promover la formación del pre D, pero la exposición en el verano puede proveer suficiente almacenamiento de vitamina D para durar a través del invierno.

La exposición sólo cuando el Sol está bajo en el cielo es equivalente a restringir la exposición a condiciones de latitud alta. El largo camino atmosférico que debe cruzar la radiación solar para llegar a la superficie terrestre desplaza el espectro incidente a longitudes de onda más largas y reduce significativamente la radiación efectiva para síntesis de vitamina D. Sayre y colaboradores (1999) investigaron sobre este tema y encontraron que cuando el Sol está bajo en el cielo la reacción eritémica es un proceso más eficiente y la exposición favorecerá al eritema antes que a la adecuada síntesis de vitamina D. Por ello si bien es importante evitar las exposiciones excesivas al Sol, evitarlas por completo puede ir en detrimento del esqueleto.

En un trabajo de Mosekilde (2005) se comparan las variaciones estacionales de las horas de exposición solar y la concentración del 25OHD y se muestra que el máximo y mínimo en su concentración ocurren un mes y medio o dos meses luego del máximo y mínimo de radiación solar correspondientemente.

El DEM se usa para describir el potencial erimatogénico de la radiación UV y se define como la dosis efectiva de radiación UV que produce un enrojecimiento observable de la piel humana (eritema) sin exposición previa. Hay que tener en cuenta que el DEM depende de la sensibilidad a la radiación UV debido a la protección propia de la piel (pigmentación) de cada individuo. Esta sensibilidad de la piel fue muy estudiada por Fitzpatrick que, con un par de preguntas, creó una nueva clasificación de los tipos de piel (fototipos) basadas en la facilidad para quemarse o broncearse ante la primera exposición al Sol. A partir de sus estudios los fototipos dejaron de estar definidos por la raza o la identidad étnica, sino por la amplia gama de respuestas (Astner, 2004). Esto dio lugar a la clasificación de fototipos de Fitzpatrick que se presenta en la Tabla 1, donde además de dar sus características más relevantes, se da un rango de DEM para exposición a radiación UVB (Fitzpatrick, 2002).

Foto-tipo	Definición del fototipo	Oscurecimiento inmediato del pigmento	Bronceado retardado	Color constituyente (sin exposición)	DEM UVB ( $mJ/cm^2$ )
I	Se quema fácil, nunca se broncea	Nada (-)	Nada (-)	Blanco marfil	15 – 30
II	Se quema fácil, se broncea con dificultad	Débil ( $\pm$ )	Mínimo a débil ( $\pm$ )	Blanco	25 – 40
III	Se quema moderadamente, se broncea moderadamente	Definido (+)	Bajo (+)	Blanco	30 – 50
IV	Se quema mínimamente, broncea moderadamente a fácil	Moderado (++)	Moderado (++)	Beige – oliva Levemente bronceado	40 – 60
V	Rara vez se quema, se broncea profusamente	Intenso (marrón) (+++)	Fuerte, marrón intenso (+++)	Marrón moderado o bronceado	60 – 90
VI	Nunca se quema, se broncea profusamente	Intenso (marrón oscuro) (+++)	Fuerte, marrón intenso (+++)	Marrón oscuro o negro	90 – 150

Tabla 1. Los fototipos según la clasificación de Fitzpatrick donde se dan las características de cada uno y la dosis eritémica mínima (DEM).

Una breve exposición a la radiación solar que contenga el requisito de longitudes de onda cortas en su espectro es todo que lo que se necesita para iniciar la síntesis de la vitamina D. 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. 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 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 0.25 DEM con aproximadamente el 25 % de la superficie de cuerpo desnudo. En esta recomendación se basa el presente trabajo.

La deficiencia de vitamina D produce una enfermedad conocida como raquitismo, que afecta a niños en los primeros años de vida y hay evidencias de que bajos niveles de 25OHD están asociados a enfermedades tales como enfermedad cardiovascular, falla congestiva cardíaca y diabetes mellitus. Debido a que la síntesis cutánea contribuye aproximadamente el 80-90 % al

estado de vitamina D humano, una exposición insuficiente de la piel a la radiación UVB es la razón principal de un estado insuficiente de vitamina D.

Cabe agregar que ciertos estudios mostraron una relación clara entre la ocurrencia de eritema y alteraciones moleculares del ADN, sugiriendo una fuerte correlación fisiopatológica entre las quemaduras de piel y el riesgo de desarrollar neoplasia de piel maligna. Por lo tanto, la medición del DEM podría representar un índice confiable para la valoración de sensibilidad aguda de la piel a la radiación solar (Dornelles y colaboradores, 2004). Esta es la razón por la cuál no sólo se recomendará el tiempo de exposición mínimo para asegurar la síntesis de vitamina D sino además se dará un límite superior de exposición solar para evitar daños a la piel.

## METODOLOGÍA DE TRABAJO Y RESULTADOS

Se calcularon los intervalos de tiempo de exposición al Sol en función del día del año. El límite inferior de cada intervalo consiste en el tiempo mínimo de exposición que garantiza la producción de niveles adecuados del precursor de la vitamina D (Zittermann, 2008). El límite superior es el tiempo máximo de exposición que previene el eritema en la piel (Fitzpatrick, 2002).

La dosis no es más que la integral de la curva de irradiancia eritémica en un intervalo de tiempo (ver Figura 1). Por ello, el intervalo de tiempo se obtuvo calculando esta integral tantas veces hasta lograr la dosis deseada. Para determinar cuál es la cantidad de energía solar que corresponde a la dosis diaria se utilizará la relación entre los distintos fototipos y el DEM provista por Fitzpatrick (Fitzpatrick, 2002) que se presenta en la Tabla 1.

Para el cálculo de tiempo mínimo se consideró una dosis mínima de 0.25 DEM (Zittermann y colaboradores, 2006), mientras que para el tiempo máximo se consideró la dosis máxima de 1 DEM.

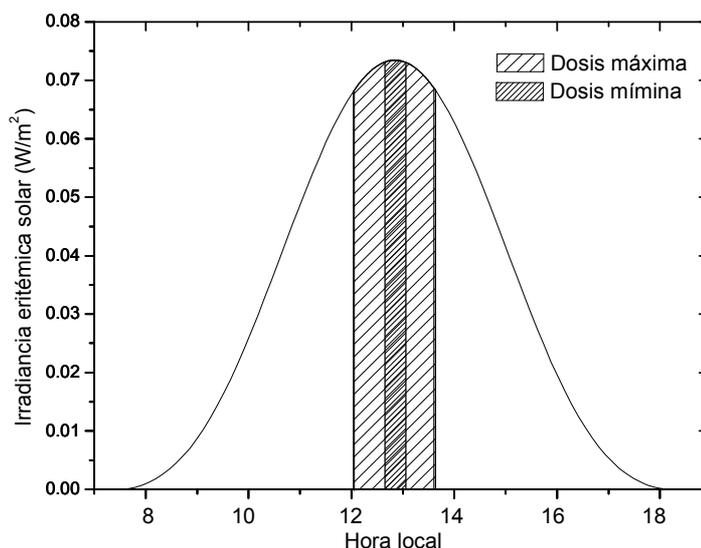


Figura 1. Gráfica de la irradiancia eritémica solar integrada alrededor del mediodía solar, expresada en  $W/m^2$ , en función de las horas del día. El área rayada corresponde a una dosis de  $100 J/m^2$  para este día. En el eje horizontal se aprecia el intervalo de tiempo correspondiente a esa dosis para ese día en particular.

El dato primordial para este cálculo es el dato de irradiancia eritémica solar en la ciudad de Concepción del Uruguay para días de cielo claro. Para ello, se utilizaron los cálculos ya realizados que fueron contrastados con datos satelitales TOMS/NASA (Salum y colaboradores, 2007). Estos cálculos cumplieron con el requisito de diferir con la irradiancia eritémica satelital en menos del 10%. Esta irradiancia fue obtenida para días de cielo claro, mediante el modelo TUV (Tropospheric Ultraviolet-Visible Model) desarrollado por Madronich (NCAR/ACD).

En cuanto al dato de DEM, se eligió el valor medio del intervalo dado por Fitzpatrick (ver Tabla 1, columna DEM UVB) para el fototipo III, es decir,  $400 J/m^2$ . De esto deriva que la dosis mínima es  $100 J/m^2$  y la dosis máxima es  $400 J/m^2$ .

Se integró la irradiancia eritémica alrededor del mediodía solar para los días 15 de cada mes de todo el año hasta obtener la dosis mínima para síntesis vitamina D. A los intervalos de tiempo correspondientes, en unidades de minutos, se los graficó en función del día del año y posteriormente se los interpoló con la curva de una función gaussiana. De la misma manera se realizaron los cálculos para la dosis máxima para prevenir la producción de eritema solar.

La justificación de realizar los cálculos alrededor del mediodía solar fue dada anteriormente cuando se explicó que cuando el Sol está bajo en el cielo la reacción eritémica es un proceso más eficiente y la exposición favorecerá al eritema antes que a la adecuada síntesis de vitamina D.

En la Figura 2 se representa el intervalo de tiempo (en minutos) de exposición solar mediante un área sombreada en función del día del año. Esta área está comprendida entre el tiempo máximo preventivo para la formación de eritema y el tiempo mínimo que permite la síntesis de vitamina D. Además, se incorporó en la misma gráfica a la irradiancia eritémica solar al mediodía solar, es decir la máxima diaria, para días de cielo claro en función de los días del año.

Para interpolar los resultados de los tiempos se utilizó la curva de la función gaussiana mostrada a continuación en la ecuación (1).

$$y = y_0 + A \cdot e^{-\frac{(x-x_c)^2}{2w^2}} \quad (1)$$

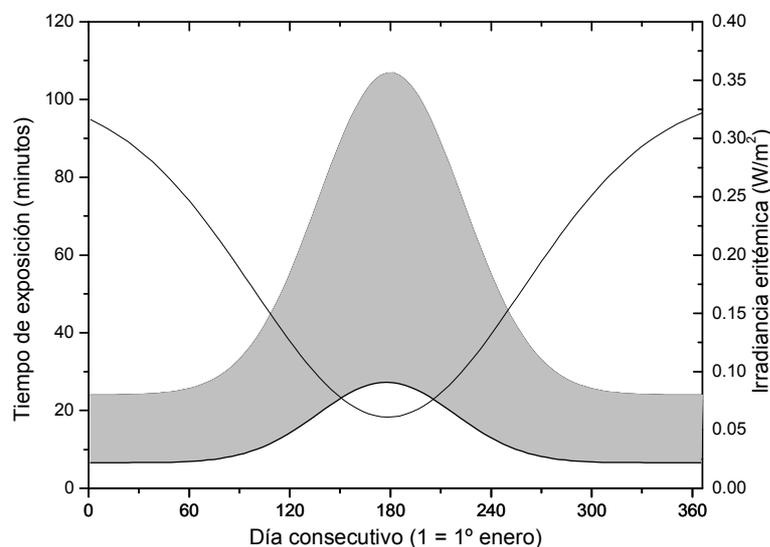


Figura 2. Representación del intervalo de tiempo de exposición al Sol recomendado (área sombreada), cuyo límite inferior es el tiempo de exposición mínimo y su límite superior es el tiempo de exposición máximo (escala izquierda), para cada día del año. Además se incluye la curva de irradiancia eritémica solar al mediodía solar (escala derecha) para días de cielo claro en función del día del año.

Para el caso del tiempo máximo recomendado, los parámetros de la ecuación anterior son:  $y_0 = 23.98$  [seg];  $x_c = 179.91$  [número de día consecutivo];  $w = 42.81$  [días] y  $A = 82.86$  [seg] y se obtuvo un  $R^2 = 0.99539$ . Para la interpolación del tiempo mínimo los parámetros son:  $y_0 = 6.57$  [seg];  $x_c = 177.49$  [número de día consecutivo];  $w = 40.84$  [días] y  $A = 20.68$  [seg] y se obtuvo un  $R^2 = 0.9915$ .

## CONCLUSIONES

En este trabajo se recomienda un intervalo de tiempo de exposición al Sol. Éste está comprendido entre el tiempo mínimo que garantiza la síntesis de vitamina D y el tiempo máximo preventivo para la formación de eritema. Se propone un intervalo de tiempo dado que se quiere recomendar una exposición al Sol que contribuye a la salud humana pero se considera necesario limitar la exposición solar directa para evitar daños a la piel.

Se encontró que los resultados presentan una variación fuertemente estacional, evidenciando una simetría entre la primera mitad del año y la segunda, para un tiempo de exposición adecuado.

Es notorio que el tiempo de exposición es mayor cuando la irradiancia eritémica solar recibida en la superficie terrestre presenta un mínimo correspondiente a los meses de otoño/invierno.

También existe una prolongación del intervalo de tiempo de exposición al Sol en otoño/invierno y una reducción en primavera/verano. Esto sugiere que en los meses de primavera/verano existe un margen corto para el aprovechamiento del Sol para vitamina D, cuyo límite está dado por el riesgo de sufrir eritema solar.

Para producir los niveles adecuados de vitamina D la bibliografía consultada recomienda, además de la dosis mínima, que se exponga al 25 % de la superficie corporal. Dado que en los días de otoño/invierno seguramente esta última condición no es cumplida y considerando aproximadamente un 10% de superficie descubierta (cara y manos) (Piacentini, 2008), a futuro se debería considerar la posibilidad de recalcular los cálculos obtenidos en otoño/invierno.

## REFERENCIAS

Astner S y Anderson RR (2004). Skin Phototypes 2003, The Society for Investigative Dermatology, Inc.

- Diffey B. L. (1990). Solar ultraviolet radiation effects on biological systems. Regional Medical Physics Department, Dryburn Hospital, Durham DH1 5TW, UK - <http://www.ciesin.org/docs/001-503/001-503.html>
- Dornelles S., Goldim J. y Cestari T. (2004). Determination of the Minimal Erythema Dose and colorimetric measurements as indicators of skin sensitivity to UV-B radiation. *Photochemistry and Photobiology* 79, 6, 540-4.
- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2ª edición, pp. 54-59. Wiley Interscience, New York.
- Fitzpatrick, T.B. (2002). Skin Phototypes, *20th World Congress of Dermatology*, Paris
- Millan M. y Martín E. (1995). Available solar exergy in an absorption cooling process. *Solar Energy* 56, 6, 505-512.
- Mosekilde L. (2005) Vitamin D and elderly. *Clin Endocrinol.* 62, 3, 265-281
- Piacentini (2008) Comunicación personal.
- Salum GM, Ernst MJ y Pomar JR (2007). Estudios de índice ultravioleta e índice de daño al ADN para la ciudad de Concepción del Uruguay, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 11
- Zittermann A., Schleithoff S. S. y Koerfer R. (2008). Sun deprivation, vitamin D insufficiency, coronary heart disease, and diabetes mellitus: A point of concern, *Solar Radiation and Human Health*, Espen Bjertness Ed., The Norwegian Academy of Science and Letters, 2008.
- Health Effects from ultraviolet radiation, *Reporte de la National Radiological Protection Board (NRPB)* - Vol 13, número 1, 2002 - [http://www.hpa.org.uk/web/HPAweb&HPAwebStandard/HPAweb\\_C/1195733793022](http://www.hpa.org.uk/web/HPAweb&HPAwebStandard/HPAweb_C/1195733793022)
- Exposición al Sol y Filtros Solares - *Servicio Nacional del Consumidor de Chile* - <http://www.sernac.cl/estudios/detalle.php?id=795>
- Madronich - *NCAR/ACD TUV: Tropospheric Ultraviolet & Visible Radiation Model* - <http://cprm.acd.ucar.edu/Models/TUV/>
- Vitamina D Council web page - <http://www.vitaminadecouncil.org/reference/glossary-%23.shtml>

## AGRADECIMIENTOS

Al Rectorado de la Universidad Tecnológica Nacional por la Beca de formación de posgrado otorgada a la Bioing. Graciela M Salum. A la Facultad Regional Concepción del Uruguay.  
Al Doctor Rubén D. Piacentini por su asesoramiento.

## ABSTRACT

The Vitamin D is responsible of regulating the passage of calcium to the bones and participates in the maintenance of organs through the regulation of the suitable calcium levels. Their synthesis in the skin contributes approximately from 80 to 90% of the vitamin provision D human. The exposure to radiation UVB is vital for the cutaneous synthesis and for that reason the daily exposure to the Sun is important. But the amount of dose received in every exposure must be limited by the minimal erythemic dose of each person not to produce cutaneous damage. In this work we present the quantity of time of exposure to the sun according to the day of the year which guaranties both conditions.

**Keywords:** exposure times, vitamin D, MED, UVB, skin, Concepción del Uruguay