

ANALISIS DE LOS EFECTOS DE VALORES EXTREMOS DE IRRADIANCIA UV ERITEMATICA EN LA CIUDAD DE SALTA.

T. G. Da Souza Correa^{1*}, G. A. Salazar^{1,2}, M. J. Marín Fernández³, P. Utrillas³, J. A. Martínez Lozano³, C. A. Fernández¹, H. C. Suligoy²

¹Departamento de Física – Facultad de Ciencias Exactas – U.N.Sa. ²INENCO
 Avda. Bolivia 5150 – CP A4408FVY – Salta Capital – Salta - Argentina
 Tel./Fax +54-387-425-5489

³Grupo de Radiación Solar- Dpto. de Física de la Tierra y Termodinámica
 Facultad de Física - Universitat de València
 c/Dr. Moliner, 50 - 46100 – Valencia - España
 e-mail: salazarg@unsa.edu.ar, german.salazar@uv.es

Recibido 13/08/13, aceptado 24/09/13

RESUMEN: La radiación solar UV eritemática (UVER) produce eritema en la piel (enrojecimiento) cuando esta recibe 1 Dosis Eritemática Mínima (en inglés, MED) de dicha radiación. Teniendo en cuenta que los efectos de las sobredosis de UVER son acumulativas, es decir, que el daño en la piel por sobredosis de UVER es permanente, se realizó un estudio para determinar cuánto tiempo (en minutos) se tarda en alcanzar 1 MED en días parcialmente nublados, en días de cielo claro y días con valores de UVER extremos (que también se clasifican como parcialmente nublados). Esos valores extremos corresponden a valores de UVER muy por encima de los esperados para un día de cielo claro. El tipo de piel estudiado fue el Tipo I (muy blanca, europea) y se encontró que para los días que presentan estos valores extremos (producidos por efectos de la nubosidad) el tiempo necesario para alcanzar 1 MED se reduce en 2 minutos, 1 minuto o puede coincidir con los de un día de cielo claro. Teniendo en cuenta los efectos acumulativos del UVER en la piel, esta información indica que la profilaxis dérmica debe ser alta también para días con cielos parcialmente nublados alrededor del solsticio de verano en la ciudad de Salta (Argentina).

Palabras clave: UVER, IUUV, MED, Salta

INTRODUCCIÓN

La radiación solar Ultravioleta (UV) que llega a la superficie del planeta es la parte de la radiación solar espectral que se encuentra entre los 280 nm y los 400 nm. Dada lo corto de las longitudes de onda en las que se encuentra, su energía es muy alta. La radiación UV tiene la particularidad que, en ciertas dosis, es beneficiosa para la salud humana (ayuda a la producción de la vitamina D3, es germicida, etc.) pero si las dosis que recibe un individuo son altas y la exposición es prolongada (varios años), existe una alta probabilidad de que desarrolle carcinomas/melanomas (cáncer de piel) u opacificación total o parcial del cristalino (cataratas). Dados los efectos biológicos que origina, la radiación ultravioleta se suele dividir en tres bandas: UV-C (100 nm - 280 nm), UV-B (280 nm - 315 nm) y UV-A (315 nm - 400 nm) (CIE, 1999). La radiación UV-C es absorbida en su totalidad por la atmosfera terrestre, mientras que los otros tipos logran atravesarla.

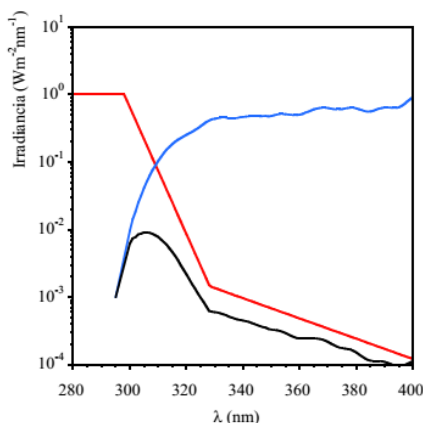


Figura 1. Curva de irradiancia solar espectral a nivel del suelo (en azul), espectro de acción eritemático (en rojo) y producto de ambas curvas, UVER (en negro).

De todos los efectos que desencadena la radiación UV en los seres humanos, el más común es el *eritema* o quemadura solar. La respuesta de la piel a esta agresión es el espectro de acción eritemático (Figura 1). La CIE (Comisión Internationale de

*Becario EVC de la CIN.

l'Eclavage) adoptó en 1987 una "Curva Estándar de Eritema" (McKinlay y Diffey, 1987; CIE, 1998).

Esta curva es la recomendada actualmente para la determinación de la radiación *UV eritemáticamente activa* (UVER). La radiación UVER se calcula multiplicando la curva espectral de la radiación solar incidente a nivel de suelo, I_{λ} , por la curva del espectro de acción propuesta por la CIE, $EE(\lambda)$, según la ecuación 1.

$$I_{UVER} = \int_{280}^{400} I_{\lambda} \cdot EE(\lambda) \cdot d\lambda \quad (1)$$

Para evaluar los efectos sobre los seres humanos se tiene en cuenta solo la radiación UVER por su interés desde el punto de vista biológico, a pesar de constituir tan sólo el 0.02% de la irradiancia global. El estudio de la influencia eritemática se realiza a partir de la dosis mínima de UVER que produce un enrojecimiento perceptible en una piel humana no expuesta previamente a la radiación solar. Esa dosis se conoce internacionalmente como *dosis eritemática mínima* (MED, siglas en inglés) (Diffey, 1990; Grainger et al., 1993), y siempre está referida a un determinado tipo de piel (fototipo). Los fototipos cutáneos se establecieron en función de la cantidad de melanina presente en un individuo y, por ende, de la capacidad natural de ese individuo para evitar el eritema. Se considera que los fototipos I y II corresponden a individuos deficientes en melanina, mientras que el III y IV a aquellos con melanina suficiente. Algunas clasificaciones de fototipos incluyen los tipos V y VI, de piel morena y negra natural que tienen protección melánica (Fitzpatrick, 1988).

La dosis de radiación UVER dependerá también de si el día se presentó despejado, parcialmente nublado o nublado. Por lo general, las dosis de radiación UVER son mayores para días de cielo claro, menores para días de cielo parcialmente nublado y mucho menores para días nublados ya que las nubes atenúan la radiación UVER. Sin embargo debe aclararse que el hecho de que un día se presente nublado no evita la aparición de eritema. Es por eso que en este trabajo se estudian la distribución de los valores de Índice Ultravioleta (IUV), definido según la ecuación 2, y de los MED¹s para días que presentan picos extremos de radiación UVER en días parcialmente nublados.

$$IUV = 40 \cdot \int_{280}^{400} I_{\lambda} \cdot EE(\lambda) \cdot d\lambda \quad (2)$$

Este efecto fue estudiado para la radiación solar global (Piacentini *et al*, 2010), estableciéndose que la bajo ciertas circunstancias de distribución de nubosidad, la irradiancia solar global puede superar el valor de la esperado para un día de cielo claro, e incluso puede superar del valor de la constante solar (Piacentini *et al*, 2003). Bajo esa premisa, en este trabajo se analizaron los valores de Índice UV (IUV) en dos series de datos medidos en Salta Capital durante diciembre de 2012 y enero de 2013, para determinar cuantitativamente cuánto afecta estos valores extremos de IUV a la determinación del tiempo de exposición necesario para alcanzar un MED.

EL EQUIPO UTILIZADO Y LOS DATOS MEDIDOS

Los datos utilizados en este trabajo proceden de un radiómetro Kipp & Zonen UVS-E-T (Figura 2) instalado en el campus de la Universidad Nacional de Salta (latitud -24.7, longitud -65.4, altitud s.n.m. 1200 metros) en diciembre de 2012. Este equipo fue donado por la Universitat de Valencia (España) dentro de un proyecto de Cooperación con la Universidad Nacional de Salta.



Figura 2. Fotografía del radiómetro Kipp & Zonen UVS-E-T instalado en la terraza del edificio de Física en la Facultad de Ciencias Exactas (Universidad Nacional de Salta).

Este sensor tiene una función de respuesta espectral cercana al espectro de acción eritémico de la piel humana, es decir, fue diseñado para medir la radiación solar UVER y, para ese propósito, es mejor que sensores de radiación UV-B o UV-A. El sensor está conectado a un adquisidor (datalogger) Campbell Scientifics CR-1000. La frecuencia de toma de datos es de 5 segundos, guardando promedio de esas medidas cada 1 minuto. El sensor tiene un compensador de temperatura para que la misma sea de $25 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. El equipo se acompaña de un software de procesamiento de datos llamado UVIATOR®, de Kipp & Zonen. Este software permite obtener los valores de radiación UVER en W/m^2 y en IUV, a partir de los valores de salida en Voltios, realizando correcciones por espesor de capa de Ozono y temperatura. Por lo tanto, la precisión y estabilidad de los datos obtenidos es óptima.

¹ 1 MED es la dosis mínima de radiación UV, según el tipo de piel, para provocar el enrojecimiento de la piel (eritema).

A continuación se muestran las dos series de datos utilizados: la primera corresponde a los valores de IUV medidos los días 23, 27, 28 y 29 de diciembre de 2012 (Figura 3). La segunda serie corresponde a los valores de los días 5, 6 y 7 de enero de 2013 (Figura 4). Estas series de datos se han escogido porque dentro de ellas se presentan días de cielo claro que antes (y después) tienen días parcialmente nublados en los que ocurren valores extremos de radiación solar UVER, tales que sobrepasan los valores de día de cielo claro.

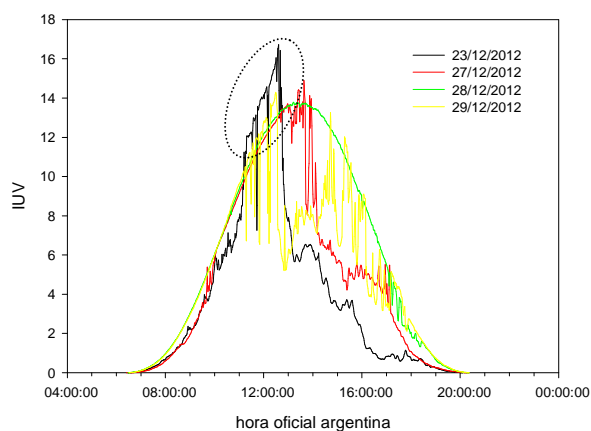


Figura 3. Índices de UV correspondientes a los días 23, 27, 28 y 29 de diciembre de 2012. El día 28 es un día de claro mientras que los otros tres días son parcialmente nublados. Si bien en los días 27 y 29 se pueden apreciar algunos valores de IUV que son superiores a los que se registran en un día claro, los IUV del día 23 superan ampliamente a los de los demás días, desde las 11:17 hasta las 12:40.

Se puede observar que esos valores de radiación solar UV extrema presentan las mismas características de los valores extremos de irradiancia solar global, los que pueden incluso a superar el valor de la constante solar (Piacentini *et al*, 2003, 2010). En esos trabajos se explica que estos valores extremos de radiación solar se deben a la intensificación que provocan las nubes circundantes al disco solar en los pocos momentos que este no está cubierto. Es decir, las nubes reflejan y difunden la luz solar, re-direccionándola y aumentando sus efectos sobre la superficie terrestre. Esto también sucede para radiación UV.

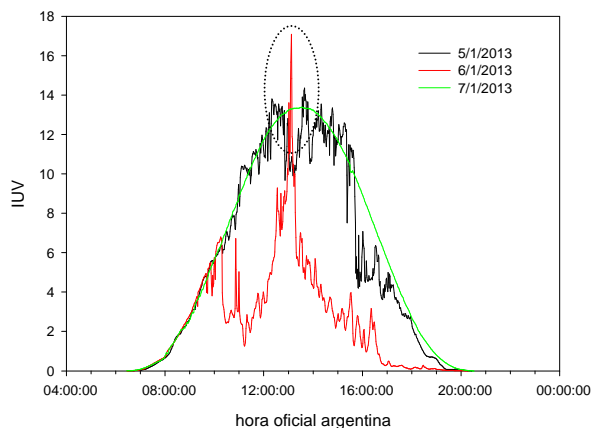
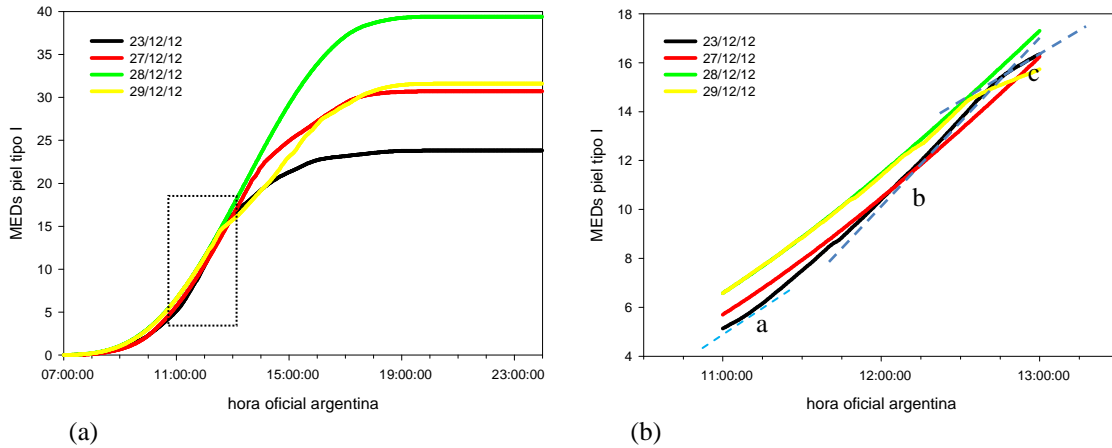


Figura 4. Gráfica de los IUV para los días 5, 6 y 7 de enero de 2013, en Salta Capital. El día 6 de enero se presenta como un día parcialmente nublado hasta que, a las 13:07, ocurre un pico de IUV=17. El día anterior (5/1/13) es un día afectado por nubosidad tenue y el día posterior (7/1/2013) es un día de cielo claro.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

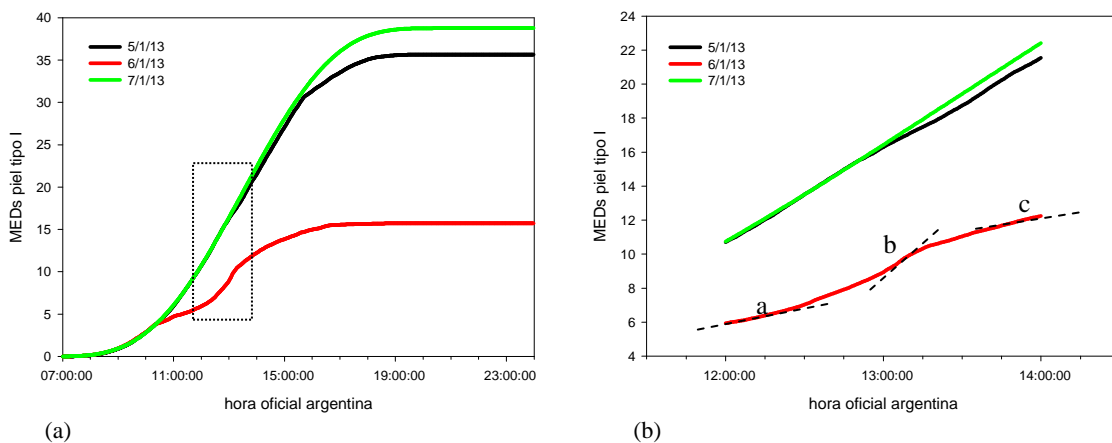
A continuación se muestran los MEDs acumulados durante cada día analizado. El tipo de piel considerado para los cálculos es tipo I, para la cual la dosis de radiación UVER necesaria para producir el eritema es 200 J/m^2 (Vanicek *et al.*, 2000). Este tipo de piel es la más sensible, correspondiendo a sujetos de piel muy blanca y ojos claros, que se queman siempre y se broncean raras veces.

Se han graficado los MEDs de cada uno de esos días, de manera acumulativa. Así, si una persona de piel tipo I hubiese estado expuesta al Sol durante todo el día de cielo claro (28/12/2013), hubiese recibido casi 40 veces la dosis de UVER necesaria para quemarse la piel. El día 23, en cambio “solo” habría recibido poco más de 20 veces la dosis necesaria para desarrollar eritema.



(a) (b)
 Figura 5a. Gráficas acumulativa de los MEDs durante los 4 días analizados de diciembre de 2012. Obsérvense las diferencias entre un día claro (línea verde) y varios parcialmente nublados (líneas roja, amarilla y negra). En el recuadro punteado se destaca la región en la que ocurren los valores extremos de IUV. Figura 5b. Ampliación de la región punteada en la Fig 5a: Se observa como varía la pendiente de la curva de los MEDs acumulativos. En el punto b puede verse que la pendiente de los MEDs del día 23/12/2012 es mayor que la del día de cielo claro, indicando que para ese horario se alcanzara 1 MED en menos tiempo que para el día de cielo claro

Ahora bien, un análisis detallado cerca del momento en el que ocurren los picos extremos de UVER revela que en esos momentos la pendiente de la función acumulativa MED aumenta hasta igualarse e incluso superar a la pendiente de la función acumulativa MED correspondiente a un día de cielo claro. Esto implica que, para esos momentos del día, se necesitaría menos tiempo para alcanzar el valor de 1 MED que para un día de cielo claro.



(a) (b)
 Figura 6a. Gráficas acumulativa de los MEDs durante los 3 días analizados de enero de 2013. Las diferencias entre el día de cielo claro (línea verde) y los parcialmente nublados (líneas roja y negra) resultan evidentes. En el recuadro punteado se destaca la región en la que ocurren los valores extremos de IUV. Figura 6b. Ampliación de la región punteada en la Fig. 6a: Se observa que en el punto b la pendiente de los MEDs del día 6/1/2013 es mayor que la del día de cielo claro, indicando que para ese horario se alcanzara 1 MED en menos tiempo que para el día de cielo claro.

Se han calculado los tiempos, en minutos, necesarios para alcanzar al menos 1 MED para las dos series de datos presentadas, en las regiones temporales próximas a la ocurrencia de los valores extremos.

Así, en la Figura 7a se aprecian los resultados de calcular la cantidad de tiempo necesario para alcanzar 1 MED a partir de la hora indicada en el eje de las abscisas. El día de cielo claro es el 28/12/2013 y puede apreciarse que durante una hora los tiempos necesarios para alcanzar 1 MED fueron siempre mayores (mayormente, por $\Delta = 2$ minutos) o iguales a los correspondientes a un día de cielo claro. Esto también se debe a que la anomalía ocurre por un lapso de tiempo también prolongado. Obsérvense también que para días parcialmente nublados (27/12/2012 y 29/12/2013) los tiempos para alcanzar 1 MED oscilan alrededor de los tiempos de un día de cielo claro.

En la Figura 7b se puede ver que, para el día 6/1/2013, una persona de fototipo I que comenzara a tomar Sol a las 12:58, a las 12:59 o a las 13:00 alcanzaría 1 MED en 11 minutos, que es el mismo tiempo necesario para alcanzarlo bajo un día de cielo claro.

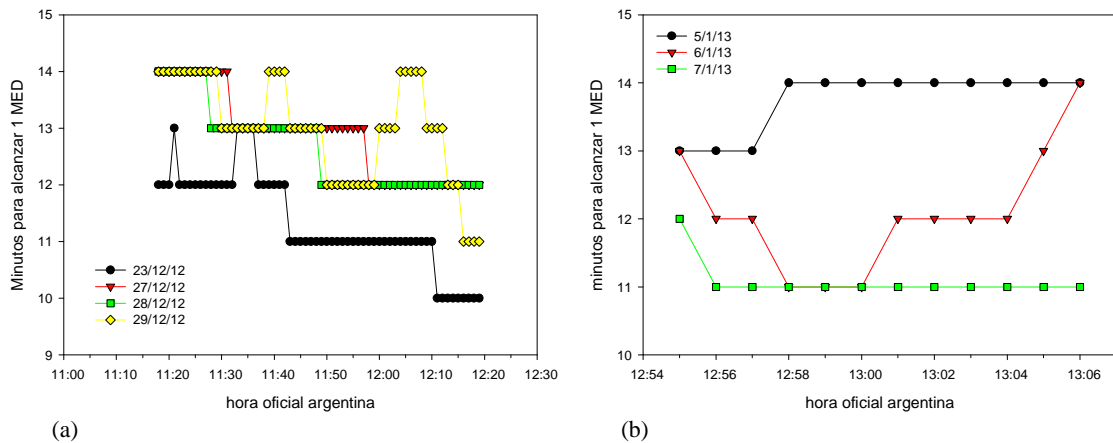


Figura 7a. Cantidad de minutos necesarios para alcanzar 1 MED a partir de la hora del eje de las abscisas. Se nota que el día 23/12/2012 (parcialmente nublado) necesita casi siempre de menos tiempo que el día 28/12/2012 (día de cielo claro) para alcanzar 1 MED. Esto se debe a los valores extremos que ocurren antes del mediodía. Figura 7b. Cantidad de minutos necesarios para alcanzar 1 MED a partir de la hora del eje de las abscisas. Se observa que para el día 6/1/2013 se necesita la misma cantidad de tiempo (11 minutos) para alcanzar 1 MED que el día de cielo claro del 7/1/2013 si se comienza la exposición a las 12:58, 12:59 o 13:00.

Este análisis muestra que la radiación UVER en días de nubosidad intermitente, en meses de verano en la ciudad de Salta, tiene características en su nubosidad que aumentan los efectos de la radiación UVER que se mide en superficie.

CONCLUSIONES

En este trabajo se han analizado valores extremos de UVER ocurridos en días de cielo parcialmente nublado en la ciudad de Salta durante diciembre de 2012 y enero de 2013. Particularmente se analiza la variación de tiempo que se necesita para alcanzar 1 MED para una persona de piel Tipo I (muy blanca) durante estos días de valores extremos con días de cielo claro. Se encontró que para los días que presentan estos valores extremos (producidos por efectos de la nubosidad) el tiempo necesario para alcanzar 1 MED se reduce en 2 minutos, 1 minuto o puede coincidir con los de un día de cielo claro. Teniendo en cuenta los efectos acumulativos del UVER en la piel, esta información indica que la profilaxis dérmica debe ser alta también para días con cielos parcialmente nublados alrededor del solsticio de verano en la ciudad de Salta (Argentina). Se concluye que tomar Sol en días parcialmente nublados podría ser mas peligroso que tomar Sol en días despejados cerca del solsticio de verano en Salta, teniendo en cuenta que pueden suceder valores extremos por reflexión de la radiación en las nubes.

REFERENCIAS

CIE (1999). Standardization of the terms UV-A1, UV-A2 and UV-B. Vienna: CIE; Report CIE-134/1.

McKinlay, A.F. y B.L. Diffey (1987). A reference spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. CIE Journal, 6, 17-22.

CIE (1998). Erythema reference action spectrum and standard erythema dose. Vienna. ISO 17166:1999/CIE S007-1998.

Diffey, B.L. (1990). Human Exposure to Ultraviolet Radiation. Seminars in Dermatology, 9, 2-10.

Grainger, R. G., R.E. Basher y R.L. McKenzie (1993). UV-B Robertson-Berger meter characterization and field calibration. Applied Optics, 32, 343-349.

Fitzpatrick, T. B. (1988). The validity and practicality of sun-reactive skin types I through VI. Archives of Dermatology, 124, 869-871.

Piacentini R., Cede A, Bárcena H. (2003) Extreme solar global and UV irradiances due to cloud effect measured near the summer solstice at the high altitude desertic plateau Puna of Atacama. Journal Atmospheric Solar Terrestrial Physics.

Piacentini R., Salum G. M., Fraidenraich N., Tiba C. (2011) Extreme total solar irradiance due to cloud enhancement at sea level of the NE Atlantic coast of Brazil. Renewable Energy 36.

Vanicek, K., T. Frei, Z. Litynska y A. Schnalwieser (2000). UV-Index for the public, COST-713 Action (UV-B Forecasting), Brussels, pp 27.

ABSTRACT

Erythemal ultraviolet radiation (EUVR) causes skin erythema (skin redness) when the skin receives a minimal erythema dose (MED) of such radiation. Considering that the effects of EUVR overdoses are cumulative, i.e. the damage to the skin is permanent, a study was conducted to determine how long (in minutes) it takes to get 1 MED on partially cloudy days, on

clear-sky days and on days with extreme EUVR values (also classified as partially cloudy). These extreme values match the EUVR values higher than the expected ones for a clear-sky day. The type of skin studied was type 1 (white European skin) and 1 MED was found to decrease in 2 minutes, 1 minute or matched that of a clear-sky day when a day with extreme values (caused by the effects of cloudiness) was considered. Taking into consideration the cumulative effects of EUVR on the skin, this data denotes that skin prophylaxis must also be high on partially cloudy days around summer solstice in Salta City (Argentina).

Keywords: EUVER, UVI, MED, Salta.