

EL INDICE UV SOBRE PLANOS INCLINADOS

José A. Martínez-Lozano^{(1)(*)}, María J. Marín⁽¹⁾, Anna Esteve⁽¹⁾, María P. Utrillas⁽¹⁾,
Fernando Tena⁽¹⁾ y Javier Cañada⁽²⁾

Grupo de Radiación Solar de Valencia. Universitat de Valencia.

Dr. Moliner, 40. 46100 Burjassot, Valencia

Grupo de Radiación Solar de Valencia. Universidad Politécnica de Valencia

Camino de Vera s/n. 46022 Valencia

(*) jmartine@uv.es

INTRODUCCION

En 1995 la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) en colaboración con la World Health Organization (WHO), la World Meteorological Organization (WMO) y el United Nations Environment Programme (UNEP) elaboraron una serie de recomendaciones redefiniendo el Índice de radiación ultravioleta (UV Index) (1). De acuerdo con estas directrices la WMO (2) recomienda que el Índice UV deba estar definido como un parámetro físico promediado biológicamente utilizando el espectro de acción definido por la CIE (3, 4). La radiación UV ponderada con esta curva que representa la respuesta de la piel humana al eritema o quemadura solar se denomina radiación UV eritemática (UVER) o eritemáticamente activa.

El Índice UV se determina a partir de la radiación UV eritemáticamente activa integrada (UVER), expresada en $W \cdot m^{-2}$, multiplicada por 40. Se expresa como un número entero (el entero más próximo) y está definido siempre sobre una superficie horizontal (desde algunos organismos internacionales se propugna que se denomine horizontal global UV Index, aunque esta terminología todavía no está aceptada oficialmente). Para superficies de distinta inclinación, por ejemplo orientadas al sol, el valor de un Índice UV podría ser sensiblemente diferente (5).

La medida de la irradiancia eritemática incidente sobre superficies horizontales no siempre es el método más adecuado para poder estimar la dosis real recibida por los seres humanos. Por este motivo el conocimiento de la irradiancia incidente sobre superficies inclinadas puede resultar importante para estudios dosimétricos. Webb y col. (6) han realizado un estudio sobre medidas espectrales de UV en planos verticales y para varios ángulos azimutales, datos que han servido recientemente para validar algunos resultados simulados en un modelo de transferencia radiativa (7). Por otro lado Parisi y Kimlin (8) muestran que la UVER global en un plano perpendicular al Sol llega a ser hasta un 27% mayor que la incidente sobre uno horizontal,

mientras que las irradiancias UVB y UVER difusas son menores para un plano normal al Sol comparado con la orientación cenital. La influencia de la topografía y la reflectividad del suelo han sido estudiadas por Weihs (9), deduciendo que la UVER en planos inclinados aumenta considerablemente con la altitud.

Para estudiar los efectos de la irradiancia sobre planos distintos al horizontal, se ha diseñado y puesto en funcionamiento recientemente una estación de medida de UVB instalada en la Facultad de Física por el Grupo de Radiación Solar de Valencia. Presentamos aquí los primeros resultados obtenidos en dicha estación.

MATERIAL Y MÉTODOS

La estación de medida está ubicada en la azotea de la Facultat de Física, en Burjassot (Valencia, Spain). Cuenta con tres radiómetros de banda ancha YES-UVB-1, uno de ellos provisto de una banda de sombra para la medida de la radiación difusa. Dos instrumentos toman medidas de irradiancia global sobre planos inclinados 40° , alternando las orientaciones Norte-Sur y Este-Oeste. El dispositivo se construyó en base a las premisas siguientes: a) realizar medidas de UVB y UVER sobre planos inclinados; b) que las medidas correspondiesen a las orientaciones Norte, Sur, Este y Oeste. Con el fin de optimizar los recursos se diseñó el dispositivo de la Figura 1, consistente en una plataforma capaz de girar 90° sobre su propio eje, de tal forma que, si se disponen los piranómetros en orientaciones opuestas, pueden medir en una posición el Norte-Sur y, en la otra, el Este-Oeste. Los radiómetros están inclinados un ángulo próximo a la latitud de Valencia (39.5°), que según distintos estudios es el ángulo óptimo para captar la máxima radiación en planos inclinados (10). A través de dos temporizadores se consigue que la plataforma gire cada 5 minutos, alternando ambas posiciones. La base de datos está compuesta por valores sobre planos inclinados tomados cada diez minutos.

. La calibración se lleva a cabo por dos procedimientos diferentes: comparación con un

espectrorradiómetro de alta resolución y comparación con un radiómetro estándar de características similares, tomado como referencia. El segundo método, conocido como intercomparación, es el usado habitualmente en las redes de UVB (12; 13; 14). En nuestro caso, el radiómetro que se toma como referencia para la irradiancia global en el plano horizontal fue recalibrado en Febrero de 2005 en la Estación de Sondeos Atmosféricos “El Arenosillo” perteneciente al Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA).



Figura 1.- Dispositivo experimental para la medida de la radiación UVB sobre planos inclinados.

Posteriormente, durante los días del 3 al 14 de Marzo de 2005, se intercompararon los instrumentos UVB-1 junto con otros radiómetros de la Red de medida UVB de la Comunidad Valenciana (ver Figura 2), tomando como patrón el calibrado en El Arenosillo.



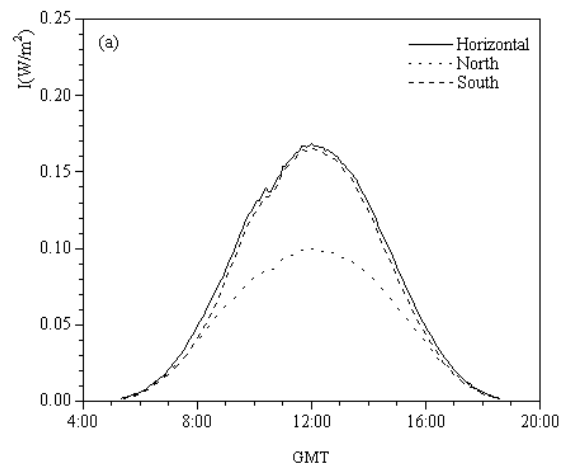
Figura 2.- Intercomparación de los UVB-1

RESULTADOS Y DISCUSION

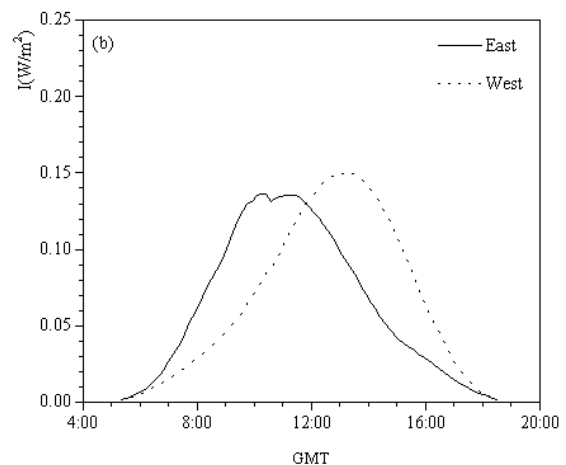
El dispositivo descrito anteriormente nos ha permitido obtener datos de radiación solar UVB y eritemática para diferentes orientaciones. Presentamos aquí un análisis de las medidas de

UVER registradas desde el 16 de Febrero de 2004 hasta el 31 de Agosto de 2005.

En la Figura 3, se muestra la evolución horaria del UVER (en $W \cdot m^{-2}$) con diferente espesor óptico de aerosoles (15 Mayo de 2004, $AOD_{\lambda=500nm} = 0.226$ y 10 Junio de 2004, $AOD_{\lambda=500nm} = 0.468$), un día parcialmente nublado (21 Mayo 2005) y un día cubierto (16 Abril 2004). Podemos observar en ella cómo para días despejados o parcialmente nublados el UVER presenta un máximo muy próximo a las 12:00 GMT (mediodía solar), en las posiciones Norte y Sur, mientras que el máximo para las orientaciones Este y Oeste está localizado antes y después del mediodía respectivamente. La hora a la que se produce el máximo para estas orientaciones son las 11:00 y 13:00 aproximadamente, para Este y Oeste respectivamente. Según esta Figura el máximo valor del UVER para la orientación Sur es casi el doble que para la orientación Norte, por lo que la dosis eritemática recibida en un plano orientado al Sur será mucho mayor que sobre un plano orientado al Norte. Sin embargo para días completamente cubiertos, Figura 3 (g) y (h), no se distingue ninguna diferencia entre los máximos en las distintas orientaciones.



a)



b)

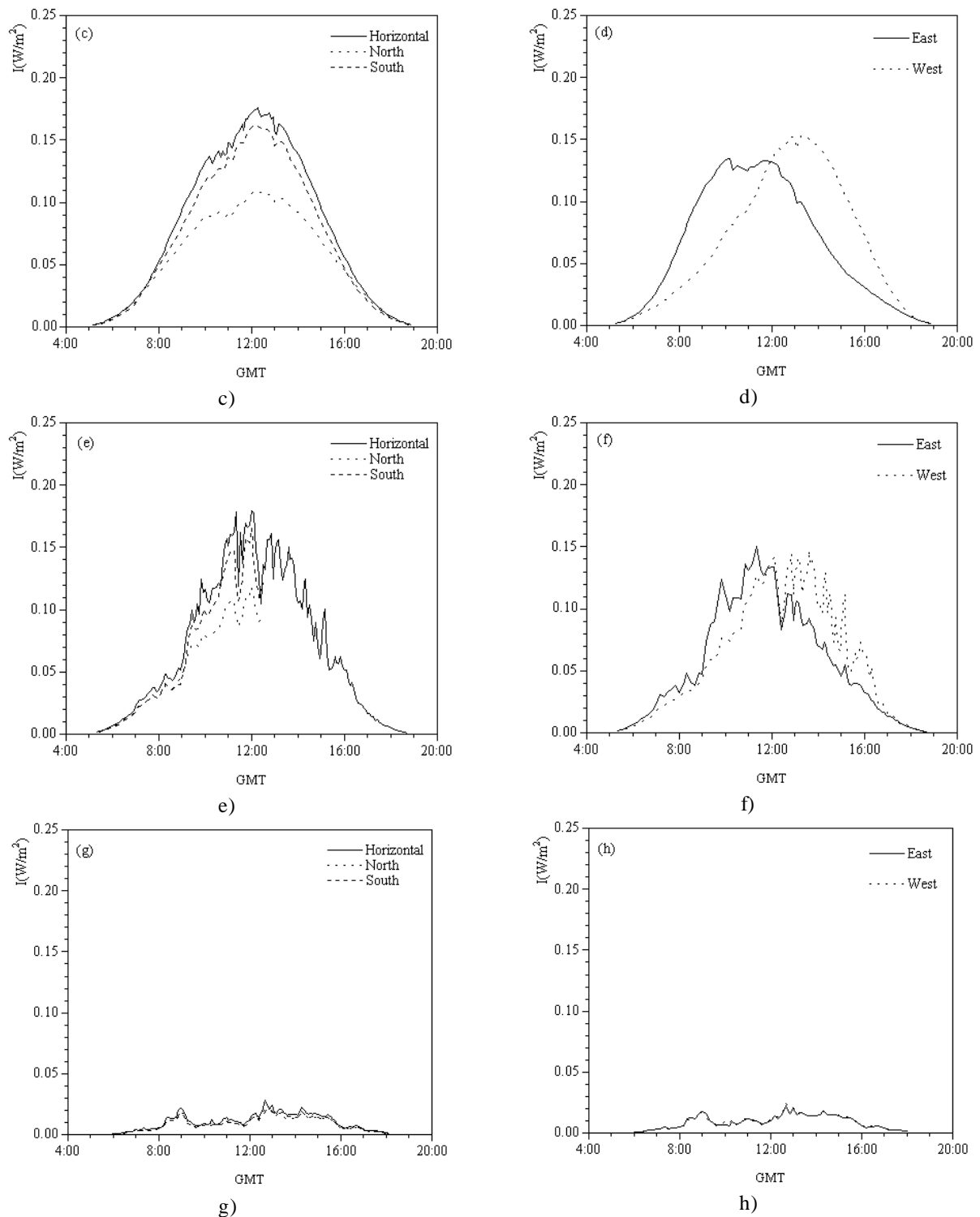


Figura 3.- Evolución horaria de la UVER para distintas orientaciones: Horizontal, Norte, Sur, Este; Oeste a) y b) en un día claro; c) y d) en un día de gran turbiedad atmosférica; e) y f) un día parcialmente cubierto; g) y h) un día totalmente cubierto.

Dado el interés que tiene el Índice UV como indicador del UVER a nivel de suelo y como parámetro para su difusión pública, hemos realizado un estudio mensual del valor máximo promedio así como del valor a las 12:00 GMT, correspondiente al mediodía solar. La Tabla I muestra los datos del análisis del Índice UV máximo y a las 12:00 GMT para las diferentes orientaciones durante el año 2004 y los meses de

Enero a Agosto de 2005. Podemos observar que normalmente hay el mismo número de datos aproximadamente para las orientaciones Norte-Sur y Este-Oeste. Las diferencias que se observan en algunos meses son debidas fundamentalmente a fallos mecánicos en el funcionamiento del sistema y a los periodos de calibración de los instrumentos de medida.

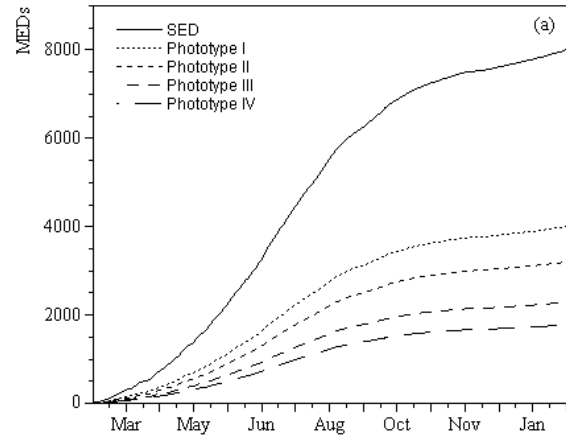
Mes	Posición	Datos para el cálculo del UVI	Datos para el cálculo del UVI a mediodía	UVI _{max}	UVI _{12:00}
Enero	Horizontal	2424	24	2	2
	North	1438	20	2	1
	South	1235	18	3	3
	East	1406	9	2	2
	West	327	4	2	2
Febrero	Horizontal	4573	39	4	4
	North	582	5	2	2
	South	734	7	5	4
	East	753	6	3	3
	West	777	6	4	4
Marzo	Horizontal	6118	46	6	6
	North	2519	20	3	3
	South	2515	20	7	6
	East	3140	24	5	5
	West	3143	24	6	5
Abril	Horizontal	8441	58	8	8
	North	3565	18	4	4
	South	3565	18	9	8
	East	3530	29	7	6
	West	3481	29	7	7
Mayo	Horizontal	9733	61	8	8
	North	3787	28	5	5
	South	3785	28	8	8
	East	5250	33	7	6
	West	5247	33	7	7
Junio	Horizontal	9786	60	9	9
	North	4380	34	6	6
	South	4380	34	8	8
	East	5114	24	8	7
	West	5114	24	8	7
Julio	Horizontal	9832	61	9	9
	North	3250	20	6	6
	South	3250	20	8	8
	East	6367	39	8	7
	West	6367	39	8	7
Agosto	Horizontal	9346	62	9	9
	North	1992	18	5	5
	South	1991	18	9	8
	East	7196	44	8	7
	West	7196	44	8	7
Septiembre	Horizontal	3859	29	7	6
	North	1044	10	4	3
	South	1044	10	8	6
	East	1702	12	6	5
	West	1702	12	6	5
Octubre	Horizontal	3550	29	5	5
	North	1696	11	2	2
	South	1696	11	6	6
	East	1695	17	4	4
	West	1690	17	5	4
Noviembre	Horizontal	3084	29	3	3
	North	1532	13	2	2
	South	1532	13	5	4
	East	1518	17	3	2
	West	770	9	3	2

Diciembre	Horizontal	3063	31	2	2
	North	1453	16	1	1
	South	1452	16	5	3
	East	1452	14	2	2
	West	684	2	2	1

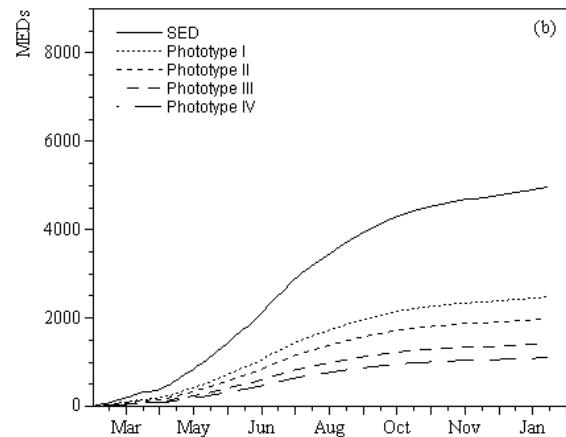
Tabla I. Datos de Índice UV para diferentes orientaciones desde Febrero de 2004 hasta Agosto de 2005.

También observamos que el Índice UV máximo es siempre mayor lógicamente para la orientación Sur que para la Norte, mientras que es aproximadamente igual para las orientaciones Este y Oeste, para todos los meses del año. En la orientación Sur, el Índice UV es mayor que en el plano horizontal en los meses de Enero a Abril y de Septiembre a Diciembre; y menor en los meses de Junio y Julio; coincidiendo su valor para los meses de Mayo y Agosto. El valor anual más elevado del Índice UV depende de la orientación. En el caso del plano horizontal el valor máximo se registra durante los meses de Junio a Agosto; para la orientación Norte en los meses de Junio y Julio; para la orientación Sur durante los meses de Abril y Agosto; por último, para las orientaciones Este y Oeste, el máximo se registra durante los meses de Junio a Agosto. Todo lo comentado anteriormente es válido también para los valores del Índice UV a las 12:00, ya que en la Tabla I puede verse como en el 97% de los casos, el valor máximo y el valor para las 12:00 GMT del Índice UV son iguales o difieren tan sólo en una unidad. Estos resultados para valores medios mensuales coinciden con los hallados para la UVER horizontal y en distintas estaciones para valores diarios (15; 16).

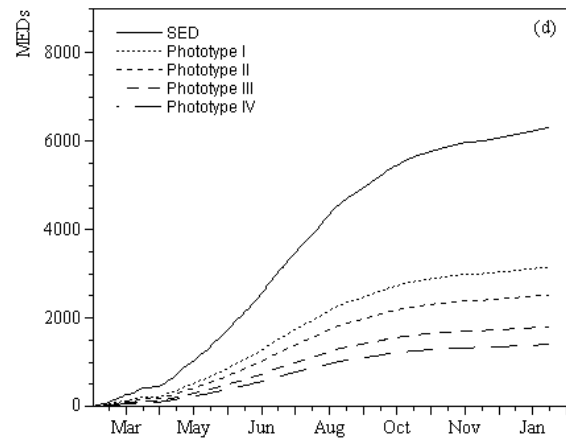
Se ha obtenido la dosis eritemática acumulada durante el periodo de tiempo comprendido entre el 16 de Febrero de 2004 y el 31 de Agosto de 2005 como función del fototipo y de la orientación. Podemos ver cómo la dosis eritemática acumulada disminuye en un 38 % en la orientación Norte con respecto al plano Horizontal, mientras que en la posición Sur sólo es un 6 % menor. Considerando las posiciones Este y Oeste, la disminución es de un 21 % y un 16 % respectivamente. La evolución anual de la dosis eritemática acumulada a lo largo del periodo de tiempo comprendido desde el 16 de Febrero de 2004 hasta el 31 de Agosto de 2005 para cada orientación viene representada en la Figura 4 y en ella se observa cómo se acumula una mayor cantidad de dosis eritemática durante los meses de verano que durante el resto del año. En concreto el 36 % de la dosis eritemática total se recibe en los cuatro meses de verano, desde Junio a Septiembre en el plano Horizontal, mientras que en el Sur es de 33 %, del 38 % en el Norte y de 40 % y 39 % en el Este y Oeste respectivamente.



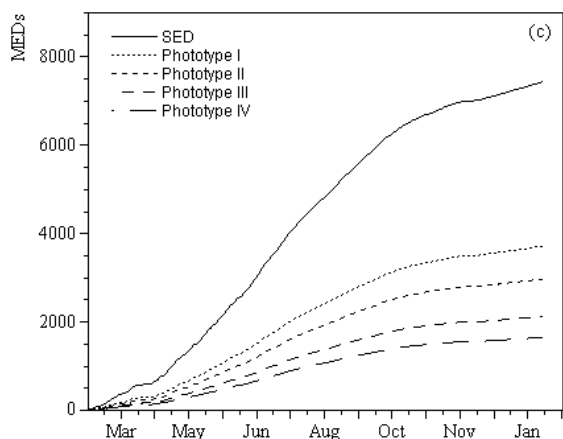
a)



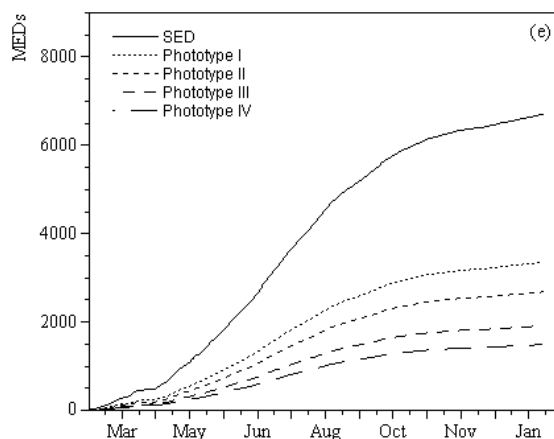
b)



d)



c)



e)

Figura 4.- Evolución temporal desde Febrero de 2004 hasta Agosto de 2005 de la dosis eritemática acumulada en función del fototipo (tipo de piel) y de la dosis eritemática estándar (SED) para distintas orientaciones Horizontal (a), Norte (b), Sur (c), Este (d), Oeste (e).

Por otro lado la dosis eritemática acumulada a lo largo del periodo de medida para un plano orientado hacia el Sur es mucho mayor que la acumulada en un plano orientado hacia el Norte. En la Figura 5 se ha representado la Standard Erythemal Dose (SED) para cada orientación ilustrando que la dosis eritemática acumulada en un plano orientado hacia el Sur es mucho mayor que en un plano orientado hacia el Norte y mayor que las dosis acumuladas en planos orientados hacia el Este o el Oeste, que son similares entre sí.

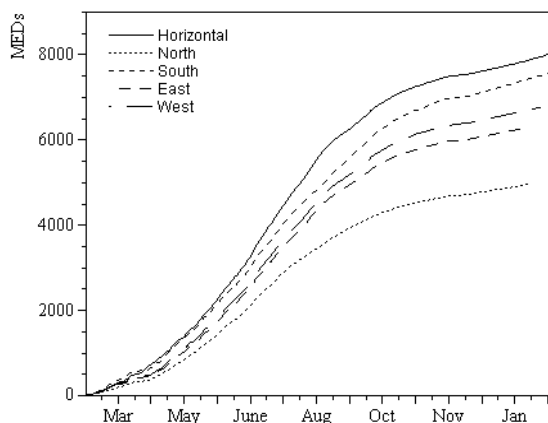


Figura 5.- Evolución temporal desde Febrero de 2004 hasta Agosto de 2005 de la dosis eritemática acumulada en función de la Standard Erythemal Dose (SED) para distintas orientaciones.

REFERENCES

1. ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). 1995. Global Solar UV Index. WHO/WMO/INCIRP recommendation, INCIRP publication 1/95, Oberschleissheim, Germany.
2. WMO (World Meteorological Organization). 1998. Report of the WMO-WHO Meeting of expert on Standardization of UV indices and their dissemination to the public". WMO Global Atmosphere Watch No. 127, WMO/TD No. 921, Geneva.
3. McKinley A.F. and Diffey B.L. 1987. A reference spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. CIE Journal 6, 17-22.
4. ISO 17166 CIE S 007/E. 2000. Erythema reference action spectrum and standard erythema dose. CIE Standard. 4 p. CIE Publications, Vienna.
5. McKenzie, R.L., Paulin K.J. and Kotkamp M. 1997. Erythemal UV irradiances at Lauder, New Zealand: relationships between horizontal and normal incidence. Photochem. Photobiol. 66, 683-689.
6. Webb A., Weihs P. and Blumthaler M. 1999. Spectral UV Irradiance on Vertical Surfaces: A Case Study. Photochem. Photobiol. 69, 464-470.
7. Mech M. and Koepke P. 2004. Model for UV irradiance on arbitrarily oriented surfaces. Theo. Appl. Climatol. 77, 151-158.
8. Parisi A.V. and Kimlin M.G. 1999. Horizontal and sun-normal spectral biologically effective ultraviolet irradiances. J. Photochem. Photobiol. B: Biology 53, 70-74.
9. Weihs P. 2002. Influence of ground reflectivity and topography on erythemal UV radiation on inclined planes. Int. J. Biometeorol. 46, 95-104.
10. Hartley, L.E., Martínez-Lozano J.A., Utrillas M.P., Tena F. and Pedrós R. 1999 The optimisation of the angle of inclination of a solar collector to

maximise the incident solar radiation. *Renew. Energy* 17, 291-309.

11. Dichter, B.K., Beaubien A.F. and Beaubien D.J. 1993. Development and characterization of a new solar ultraviolet-B irradiance detector. *J. Atmos. Ocean. Technol.* 10, 337-344.

12. Leszczynski, K., Jokela K., Ylianttila L., Visuri R. and Blumthaler M. 1998. Erythemally weighted radiometers in solar UV monitoring: results from the WMO/STUK intercomparison. *Photochem. Photobiol.* 67, 212-221.

13. Labajo, A., Cuevas E. and de la Morena B. (eds.). 2004. The first Iberian UV-VIS instruments intercomparison. Ministerio Medio Ambiente. Madrid.

14. WHO. (World Health Organization). 2001. Report of the LAP/COST/WMO Intercomparison of erythemal radiometers. W.M.O. Global Atmosphere Watch. No 141 TD 1051. Geneva. WHO TD No. 1051, Geneva.

15. artínez-Lozano, J.A., M.J. Marín, F. Tena y M.P. Utrillas. Diseño, instalación y puesta a punto de una red de medida de la radiación solar UVB en la Comunidad Valenciana. Memoria Final. Conselleria de Medi Ambient de la Generalitat Valenciana, 2002a.

16. Martínez-Lozano, J.A. and 16 co-authors , UV Index experimental values during the years 2000 and 2001 from the Spanish broad band UV-B radiometric network. *Photochem. Photobiol.*, 76, 281-287, 2002b.