

## Dependencia del UVI con el ozono y la turbiedad en Valencia

### UVI dependence on ozone amount and turbidity in Valencia

M. J. Marín, A. R. Esteve, F. Tena, M. P. Utrillas y J. A. Martínez-Lozano

Grupo de Radiación Solar, Dpto. Física de la Terra i Termodinàmica, Universitat de València, C/ Dr. Moliner, 50, 46100 Burjassot. Email de contacto: [jmartine@uv.es](mailto:jmartine@uv.es).

#### RESUMEN:

La predicción del índice ultravioleta (UVI) se realiza para informar a la opinión pública sobre el nivel de radiación solar ultravioleta eritemática esperada y se halla mediante la simulación con un modelo de transferencia radiativa. Entre los parámetros de entrada más significativos están el valor de la columna total de ozono y la turbiedad. Para estudiar la dependencia de éstos se ha realizado el cálculo de la irradiancia eritemática y del UVI para los solsticios y equinoccios en Valencia con valores de ozono comprendidos entre 150 y 500 DU y espesores ópticos de 0.1, 0.3 y 0.5.

**Palabras clave:** Índice ultravioleta (UVI), Ozono, Turbiedad, Radiación Ultravioleta, Eritema.

#### ABSTRACT:

The ultraviolet index (UVI) forecast reports people on the erythemal UV radiation level at the Earth's surface. Prediction of the solar UV Index is achieved with a radiative transfer model that requires the inputs of total ozone and turbidity. The erythemal UV irradiance and the UVI are calculated to study the influence of the inputs for the equinoxes and solstices in Valencia. The ozone values are within the range 150-500 DU and the aerosol optical depth equal to 0.1, 0.3 and 0.5.

**Keywords:** Ultraviolet index (UVI), Ozone amount, Turbidity, Ultraviolet Radiation, Erythema.

#### REFERENCIAS Y ENLACES

- [1] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "Global Solar UV Index", *WHO/WMO/UNEP/ICNIRP. ICNIRP publication 1/95*. Oberschleissheim, Germany (1995).
- [2] World Meteorological Organization (WMO), "Report of the WMO-WHO meeting of experts on standardization of UV indices and their dissemination to the public", *W.M.O. Global Atmosphere Watch n° 127* (1998).
- [3] A.F. McKinlay, B.L. Diffey, "A reference spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin", *CIE Journal* **6**, 17-22 (1987).
- [4] Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), "Erythema reference action spectrum and standard erythema dose", *ISO 17166:1999/CIE S007-1998* (1998).
- [5] P. Koepke, H. DeBacker, P. Eriksen, U. Feister, D. Grifoni, T. Koskela, A. Lehmann, Z. Litynska, A. Schmalwieser, H. Staiger, K. Vanicek, "An overview of the results from the comparison of UV-Index forecasted and measured at all atmospheric conditions including clouds", International Radiation Symposium, Saint-Petersburg (2000).
- [6] P. Koepke, A. Bais, D. Balis, M. Buchwitz, H. De Backer, X. de Cabo, P. Eckert, P. Eriksen, D. Gillotay, A. Heikkilä, T. Koskela, B. Lapeta, Z. Litynska, J. Lorente, B. Mayer, A. Renaud, A. Ruggaber, G. Schauburger, G. Seckmeyer, P. Seifert, A. Schmalwieser, H. Schwander, K. Vanicek, M. Weber, "Comparison of models used for UV index calculations", *Photochem. Photobiol.* **67**, 657-662 (1998).

- [7] P. Ricchiazzi, S. Yang, C. Gautier y D. Sowle, "SBDART: A Research and Teaching Software Tool for Plane-Parallel Radiative Transfer in the Earth's Atmosphere", *B. Am. Meteorol. Soc.*, **79**, 2101-2114 (1998).
- [8] <http://www.cth.gva.es/cidam/emedio/uv/>
- [9] [http://www.meteocat.com/marcs/marcos\\_previsio/marcs\\_uvi.htm](http://www.meteocat.com/marcs/marcos_previsio/marcs_uvi.htm)
- [10] M.J. Marín, Y. Sola, F. Tena, M.P. Utrillas, E. Campmany, X. de Cabo, J. Lorente y J.A. Martínez-Lozano. "The UV Index on the Spanish Mediterranean Coast", *Photochem. Photobiol.* **81**, 659-665 (2005).
- [11] [http://www.crseo.ucsb.edu/esrg/pauls\\_dir](http://www.crseo.ucsb.edu/esrg/pauls_dir).
- [12] <http://arm.mrcsb.com/sbdart/>.
- [13] V. Estellés, J.A. Martínez-Lozano, M.P. Utrillas, M. Campanelli. "Characterisation of atmospheric aerosols in Valencia, Spain". *J. Geophys. Res.* (en proceso de revisión).
- [14] Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS): [http://toms.gsfc.nasa.gov/teacher/ozone\\_overhead.html](http://toms.gsfc.nasa.gov/teacher/ozone_overhead.html).

## 1. Introducción

En 1995 la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante (ICNIRP) en colaboración con la Organización Mundial de la Salud (WHO), la Organización Meteorológica Mundial (WMO) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), definieron el índice de radiación ultravioleta (UVI) [1]. De acuerdo con las directrices de la WMO [2] el UVI debe 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, Figura 1.

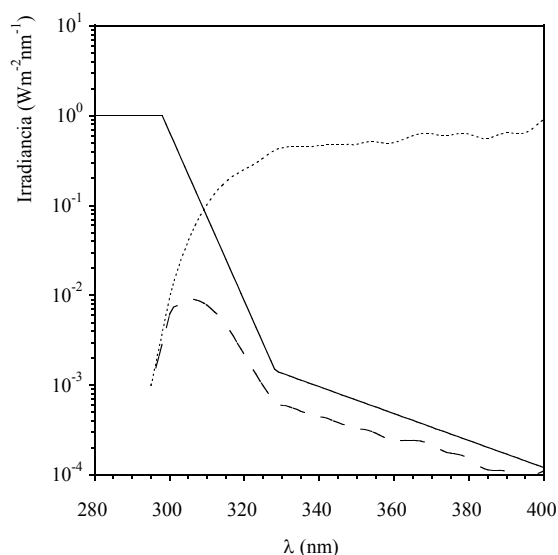


Fig. 1. Curva de irradiancia solar espectral a nivel de suelo (.....), espectro de acción eritemático (—) y producto de ambas curvas, UVER, (- - -).

El valor numérico del UVI se determina a partir de la radiación UVER, expresada en  $W \cdot m^{-2}$ , multiplicada por 40. Se expresa como un número entero y está definido siempre sobre una superficie horizontal (desde algunos organismos internacionales se propugna que se denomine UVI global horizontal, aunque esta terminología no está aceptada oficialmente).

En este trabajo se utiliza el modelo SBDART para simular valores del UVI sobre Valencia (39.501 N y 0.275 W) en función de la cantidad de ozono atmosférico y de la carga de aerosoles presente en la atmósfera. Estos son dos de los parámetros más influyentes en la determinación del UVI junto a la nubosidad [5], que no vamos a considerar en este trabajo, realizando la predicción para cielos despejados

## 2. La predicción del UVI

La predicción del UVI se efectúa mediante modelos de transferencia radiativa, que calculan la irradiancia solar UV que atraviesa la atmósfera y alcanza la superficie terrestre. La mayoría de estos modelos calculan el UVI directamente [6]. Los datos de entrada necesarios son fecha y hora, lugar identificado por la longitud y latitud, altura del terreno sobre el nivel del mar y valor de la columna vertical de ozono. Algunos modelos permiten incluir otros datos de entrada, como los de algunos contaminantes, presencia de nubes o turbiedad.

El modelo de transferencia radiativa implementado es el SBDART cuya estimación de la irradiancia total en onda corta difiere un 3% de los valores experimentales [7]. Este modelo se utiliza en la actualidad para la predicción del UVI en las redes de medida de la radiación eritemática en la Comunidad Valenciana y Cataluña ([8] y [9] respectivamente). La elección de este modelo ha permitido hacer comparaciones entre estas dos redes

resultando una coincidencia o discrepancia de una unidad del UVI entre las medidas experimentales y las simuladas en un 94% en caso de cielos despejados [10].

### 3. El modelo SBDART

SBDART es un modelo de transferencia radiativa de dispersión múltiple que considera la aproximación de una atmósfera plano-paralela [7]. El programa, escrito en código FORTRAN, está disponible de forma gratuita en la red [11,12].

Este modelo resuelve la ecuación de transferencia radiativa numéricamente, con el algoritmo DISORT. Este método de ordenadas discretas proporciona un algoritmo estable para resolver las ecuaciones de la transferencia radiativa plano-paralela en una atmósfera verticalmente no homogénea. SBDART permite utilizar hasta 65 capas de atmósfera y 40 ángulos cenitales y azimutales.

Una vez ejecutado el SBDART en su versión 2.4 y a partir del fichero de salida que nos proporciona la irradiancia espectral, se procede al cálculo del UVI, de acuerdo con la expresión:

$$UVI = 40 \cdot \int_{280}^{400} I_{\lambda} \cdot EE(\lambda) \cdot d\lambda, \quad (1)$$

siendo  $I_{\lambda}$  la irradiancia espectral ultravioleta a nivel de suelo y  $EE(\lambda)$  el espectro de acción eritemático. Para estas simulaciones se ha considerado una atmósfera definida en el modelo como media latitud invierno para el solsticio de invierno y el equinoccio de otoño y media latitud verano para los otros dos casos. Asimismo se ha tomado un albedo constante para todo el rango del 20% y aerosoles tipo urbano. El modelo por defecto asigna un perfil vertical de aerosoles.

### 4. Resultados

El objetivo de este trabajo es analizar la UVER, y en consecuencia el UVI, que proporciona el código SBDART en función del valor de ozono y de la turbiedad. Para ello se ha calculado el UVI para los solsticios de verano (Figura 2) e invierno (Figura 3) y los equinoccios de primavera (Figura 4) y otoño (Figura 5), en Valencia. Se han simulado valores de ozono comprendidas entre 150 y 500 DU y espesores ópticos de aerosoles a 550 nm de 0.1, 0.3 y 0.5, correspondientes a los casos típicos de cielo muy limpio, de media turbiedad y muy turbio, respectivamente.

La irradiancia UVER disminuye en ambos casos cuando estos parámetros aumentan aunque la

influencia del ozono es mucho mayor que la del espesor óptico de aerosoles como se aprecia en las Figuras 2-5.

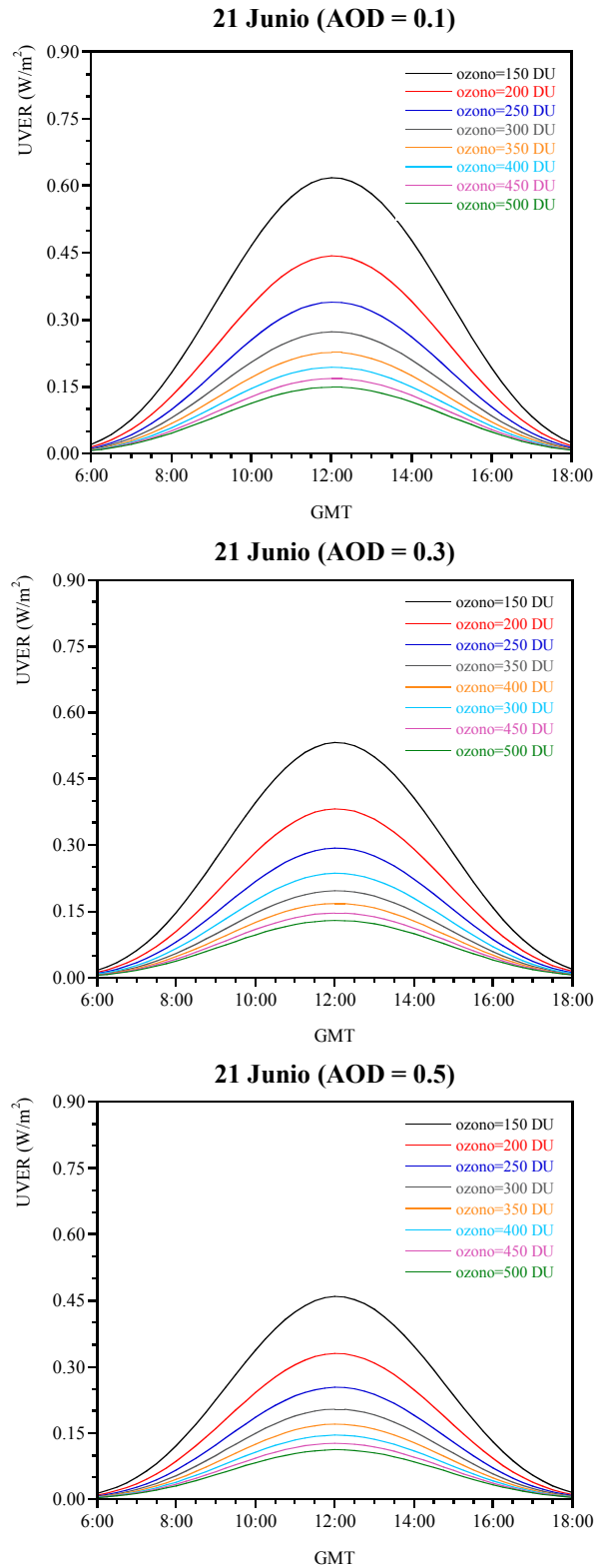


Fig. 2. Evolución diaria de la UVER para el 21 de Junio de 2005 (solsticio de verano) simulada con el SBDART, para distintos valores de ozono y con un espesor óptico de aerosoles de 0.1, 0.3 y 0.5.

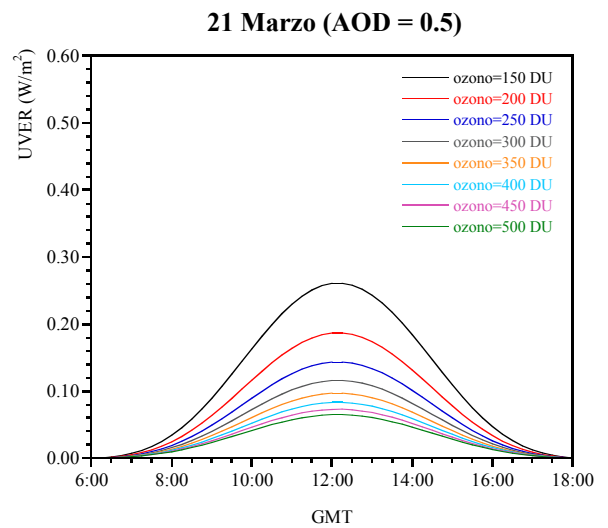
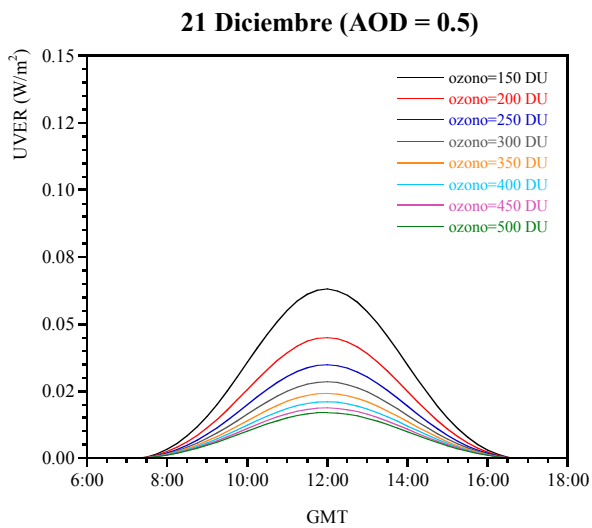
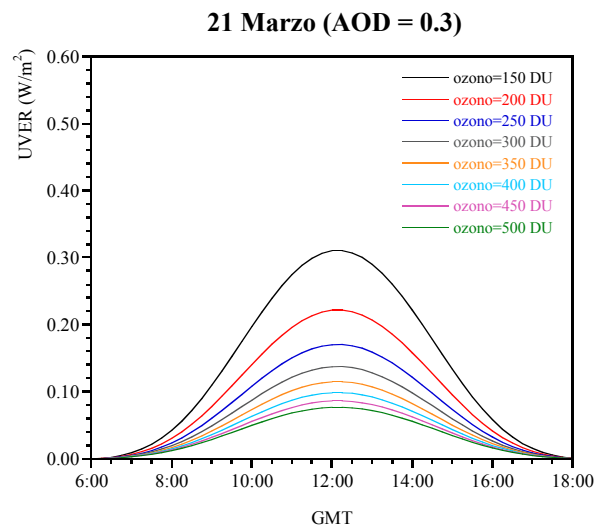
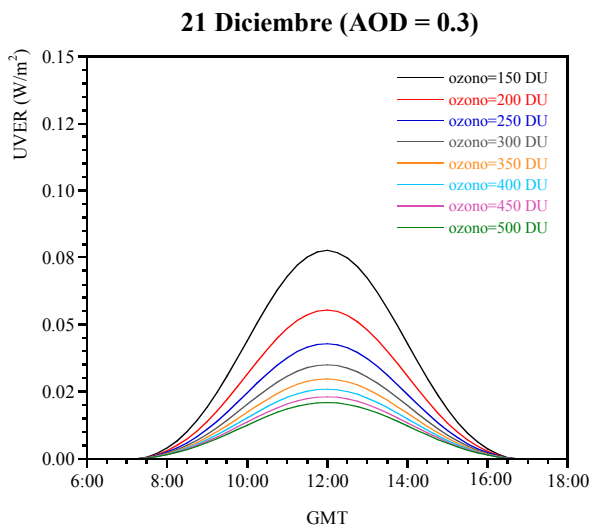
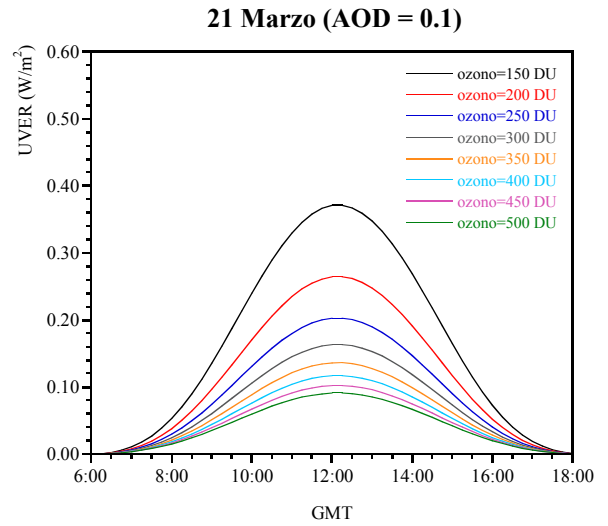
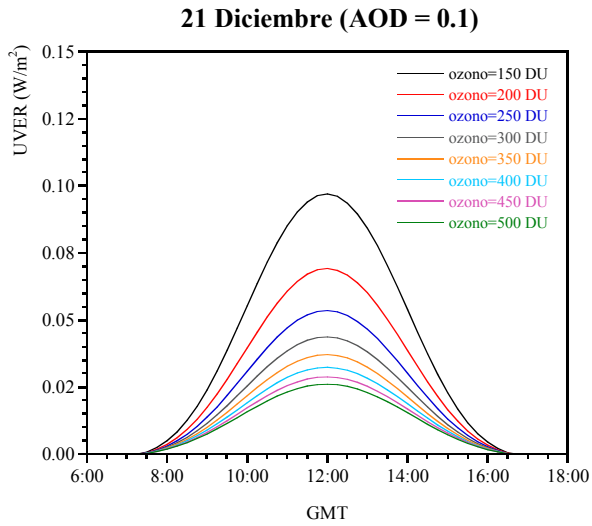


Fig. 3. Evolución diaria de la UVER para el 21 de Diciembre 2005 (solsticio de invierno) simulada con SBDART para distintos valores de ozono, con espesor óptico de aerosoles de 0.1, 0.3 y 0.5.

Fig. 4. Evolución diaria de la UVER para el 21 de Marzo 2005 (equinoccio de primavera) simulada con el SBDART, para distintos valores de ozono, con espesor óptico de aerosoles de 0.1, 0.3 y 0.5.

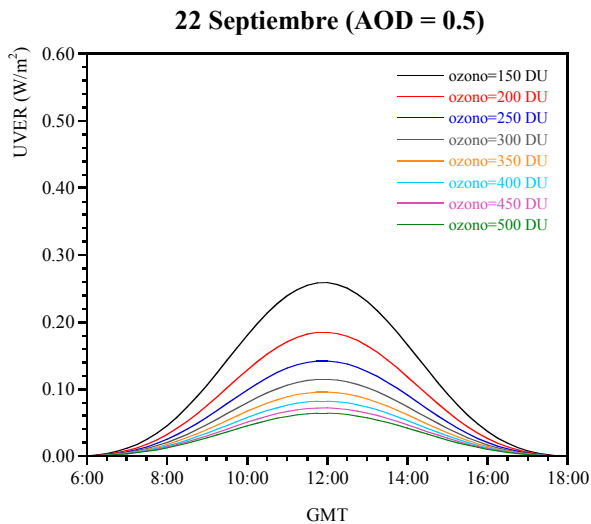
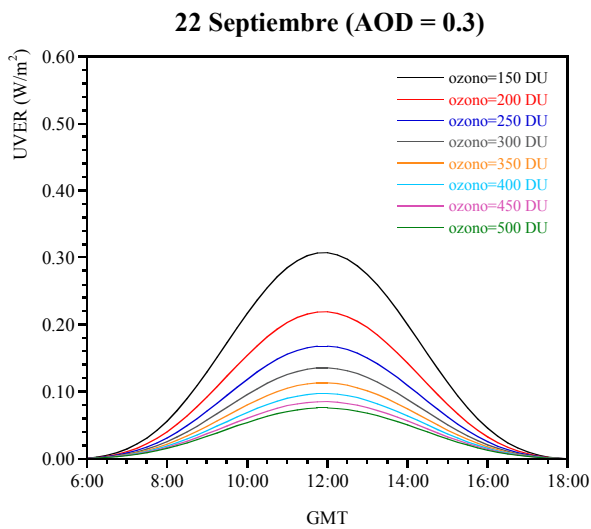
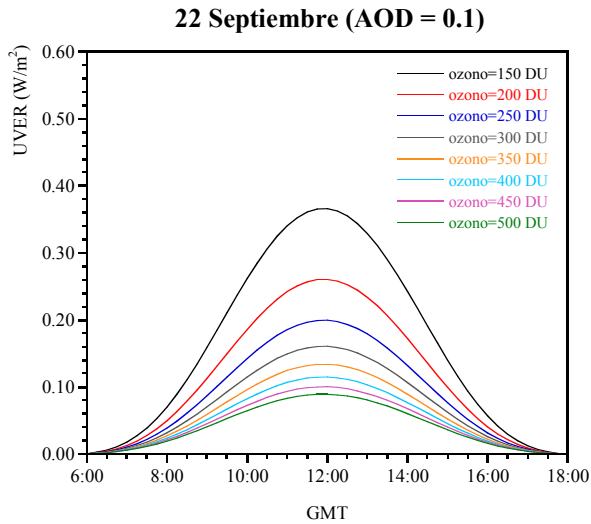


Fig. 5. Evolución diaria de la UVER para el 22 de Septiembre 2005 (equinoccio de otoño) simulada con el SBDART, para distintos valores de la columna de ozono, con espesor óptico de aerosoles de 0.1, 0.3 y 0.5.

Para un valor de ozono de 300 DU, el valor de la UVER para el mediodía disminuye entre el 14% y el 20% al pasar de una turbiedad baja a una media. El valor más elevado se da en invierno y el más bajo en el solsticio de verano. En los equinoccios se obtiene una disminución de un 16%. Al pasar de una turbiedad media a una alta se obtiene una disminución de la UVER entre un 13% y un 19%. De nuevo el valor más bajo corresponde al verano y el más alto al invierno.

A partir de los valores medios mensuales de espesor óptico de aerosoles a 550 nm medidos en Valencia con un fotómetro Cimel 318, la turbiedad baja, 0.1, corresponde al invierno mientras que el resto del año los valores oscilan entre 0.2 y 0.3, lo que hemos denominado turbiedad media en este trabajo. El valor de 0.5 se obtendría en episodios puntuales de turbiedad elevada [13].

Considerando una turbiedad media, (AOD=0.3), el valor de la UVER para las 12:00 GMT disminuye en un 56% en todos los casos al pasar de un valor de ozono de 150 DU a uno de 300 DU, y en más de un 40% al aumentar de 300 DU a 500 DU. Sin embargo, teniendo en cuenta que más del 85% de los datos experimentales de ozono en nuestras latitudes están comprendidos entre 260 y 360 DU, con un valor medio diario de 310 DU obtenido a partir de los datos del TOMS [14] en nuestra latitud, podemos repetir este cálculo en el rango 250-350 DU. En este caso, considerando de nuevo una turbiedad media, se produce una disminución del 33% de la UVER.

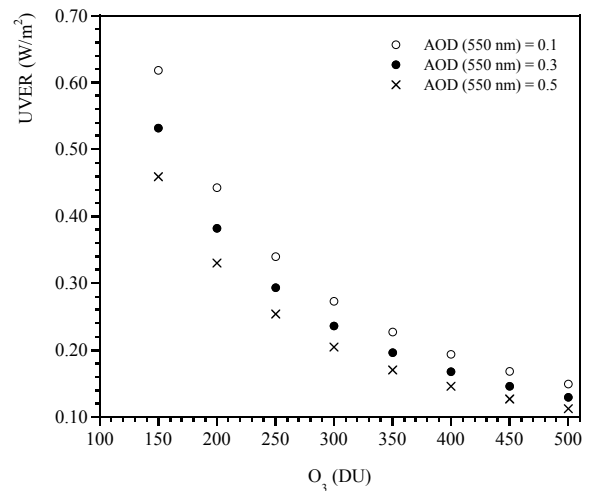


Fig. 6. UVER máxima para el 21 de Junio de 2005 (equinoccio de primavera) simulada con el SBDART para distintos valores de la columna de ozono y espesor óptico de aerosoles de 0.1, 0.3 y 0.5.

Estos resultados se ilustran en la Figura 6 donde se ha representado el valor máximo de la UVER para el solsticio de verano en función del valor de la columna total de ozono y el espesor óptico de aerosoles.

En las Tablas I-IV se han representado los valores del UVI máximos diarios para los cuatro días considerados. Los valores máximos diarios corresponden siempre al mediodía local solar.

Tabla I  
Valores máximos del UVI para el 21 de Junio de 2005 simulado con el SBDART para distintos valores de ozono y de espesor óptico de aerosoles.

O <sub>3</sub> (DU)/ AOD	150	200	250	300	350	400	450	500
0.1	25	18	14	11	9	8	7	6
0.3	21	15	12	9	8	7	6	5
0.5	18	13	10	8	7	6	5	5

Tabla II  
Valores máximos del UVI para el 21 de Diciembre de 2005 simulado con el SBDART para distintos valores de ozono y de espesor óptico de aerosoles.

O <sub>3</sub> (DU)/ AOD	150	200	250	300	350	400	450	500
0.1	4	3	2	2	1	1	1	1
0.3	3	2	2	1	1	1	1	1
0.5	3	2	1	1	1	1	1	1

Tabla III  
Valores máximos del UVI para el 21 de Marzo de 2005 simulado con el SBDART para distintos valores de ozono y de espesor óptico de aerosoles.

O <sub>3</sub> (DU)/ AOD	150	200	250	300	350	400	450	500
0.1	15	11	8	7	5	5	4	4
0.3	12	9	7	5	5	4	3	3
0.5	10	7	6	5	4	3	3	3

Tabla IV  
Valores máximos del UVI para el 22 de Septiembre de 2005 simulado con el SBDART para distintos valores de ozono y de espesor óptico de aerosoles.

O <sub>3</sub> (DU)/ AOD	150	200	250	300	350	400	450	500
0.1	15	10	8	6	5	5	4	4
0.3	12	9	7	5	5	4	3	3
0.5	10	7	6	5	4	3	3	3

Los valores del UVI más elevados se producen lógicamente en el solsticio de verano, los más bajos en invierno, mientras que en los equinoccios dichos valores son prácticamente coincidentes. A pesar de la gran variabilidad que se aprecia, especialmente en verano, con un rango de valores que abarca desde 25 hasta 5, hay que tener en cuenta, como se ha comentado anteriormente, que un intervalo más realista estaría comprendido entre 260 y 360 DU. Si limitamos la simulación a este rango, considerando que los veranos en Valencia suelen presentar valores medios o altos de turbiedad, el valor máximo de UVI en nuestras latitudes no superaría el valor 9, aunque este valor es considerado “muy alto” por la Organización Mundial de la Salud [1].

### 5. Conclusiones

En este trabajo se ha analizado la influencia de la columna total de ozono y el espesor óptico de aerosoles en la irradiancia eritemática mediante la simulación con un modelo de transferencia radiativa. Se ha calculado la UVER para los dos solsticios y equinoccios en Valencia.

El parámetro más influyente es el ozono que supone hasta una disminución del 33% de la UVER cuando éste aumenta en 100 DU en el rango más habitual comprendido entre 250-350 DU. Sin embargo la irradiancia eritemática también disminuye al aumentar la turbiedad. Cuando se pasa de un espesor óptico de aerosoles de 0.1 a 0.3, la UVER disminuye entre un 14% y un 20% y cuando aumenta de 0.3 a 0.5 entre un 13% y un 19%, correspondiendo la mayor disminución al invierno y la menor al verano.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología proyecto REN2002-00749 y por la Generalitat Valenciana proyectos CTIDIB/2002/113 y GV04B-409 y beca CTBPRB/2003/93.