

ANÁLISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR ULTRAVIOLETA B SOBRE MADRID

E. Gutiérrez-Marco¹, E. Hernández², J.L. Camacho¹ y A. Labajo¹

¹ Agencia Estatal de Meteorología. C/Leonardo Prieto Castro 8. 28040 Madrid.

² Departamento Física de la Tierra II. Facultad de Ciencias Físicas. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

INTRODUCCIÓN

La Agencia Estatal de Meteorología opera diferentes redes de medida de radiación solar desde hace varias décadas. AEMET tiene ubicado su Centro Radiométrico Nacional (CRN) en Madrid en las coordenadas 40° 27' N, 3° 43' W en la Ciudad Universitaria a 690 metros sobre el nivel del mar. Las medidas de radiación ultravioleta se remontan a principios de la década de 1990. El Centro está situado en la cubierta de un edificio en una suave ladera rodeado de altas coníferas y con muy buena visibilidad hacia el este, sur y oeste. El promedio de días de nieve cubriendo el suelo al año es aproximadamente uno, por lo que no se considera la existencia de problemas de albedo para la medición de la radiación.

En este trabajo se analizan los datos obtenidos entre 1996 y 2002 en Madrid en el CRN. Los instrumentos utilizados han sido un espectrofotómetro Brewer MK IV n° 70 de monocromador simple, un piranómetro YES-UVB1, para medida de radiación ultravioleta, piranómetros Kipp-Zonen CM-11 para medición de radiación solar global y difusa, y pirheliómetro CH-1 para medida de radiación directa.

Los datos utilizados han sido los datos diarios de total de irradiancia para la radiación global, difusa y directa, el valor de la irradiancia modulada por el valor del Espectro de Acción Eritémica (Diffey, 1991) para la radiación global ultravioleta, y las horas de sol para la insolación.

Como método de análisis se ha procedido al estudio de la variabilidad diaria a lo largo del año, agregando los datos posteriormente en quincenas y meses para obtener una imagen más estable de la variación anual.

RADIACION SOLAR. NUBOSIDAD

La radiación solar en un observatorio sigue un patrón anual, evolucionando con el ángulo solar y la duración del día. Modulando esta señal primaria, la duración de la insolación aparece como el principal factor regulador de los totales diarios. Es muy importante la caracterización de la nubosidad ya que, por eliminación de otros factores, será el factor principal de modulación de la radiación ultravioleta. Se define la insolación como el número de horas en que la intensidad de la radiación solar sobrepasa un determinado umbral que establecemos en 120 W/m². Para clasificar un día como despejado, nuboso o cubierto independientemente de la época del año y de las horas de insolación reales, trabajamos con un índice similar al definido por García et al. (2000) y calculado como

$$C2 = (1 - n^{\circ} \text{ de horas sol medidas} / n^{\circ} \text{ de horas sol teóricas})$$

C2 esta relacionado con la nubosidad, y tiende a 1 para días cubiertos. Enero y diciembre presentan los máximos de nubosidad, mientras que los mínimos corresponden al verano. Sin embargo, existe un máximo secundario importante en la primera quincena de mayo tal y como se puede apreciar en la figura 1.

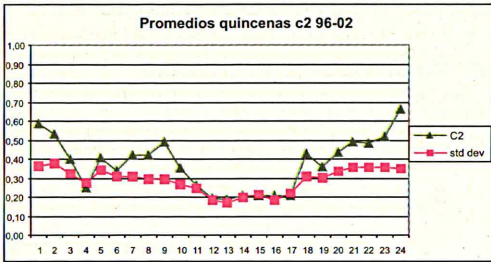


Fig 1. Evolución anual del promedio de valores del índice de nubosidad C2 en cada quincena entre 1996 y 2002. En abscisas se representan las 24 quincenas.

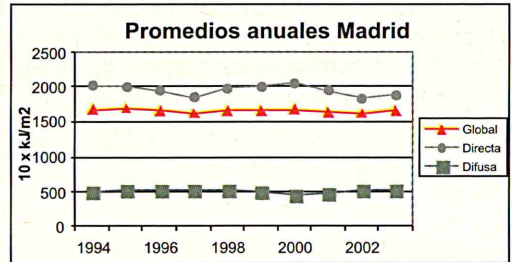


Fig. 2. Promedios anuales de radiación diaria global, directa y difusa para Madrid. Periodo 1994 a 2002.

Como paso previo al análisis de la radiación ultravioleta se ha realizado un estudio de la radiación global en sus tres categorías, global, directa y difusa, con los datos registrados en el periodo 1994-2003 por los piranómetros y pirheliómetros instalados en el CRN.

En el gráfico de la figura 2 vemos una ligera disminución en la radiación directa en 1997. En 2000 se aprecia un ligero aumento de la directa y una ligera disminución en la difusa. La radiación global promedio presenta el valor más elevado en el periodo.

Si representamos los valores promedio mensuales de radiación global, directa y difusa en Madrid para el periodo de estudio se obtiene la evolución anual, que podemos ver representado en la figura 3. En ella se observan tres hechos fundamentales: una rotura del valor de la pendiente en el mes de mayo para la radiación directa, el máximo valor para la radiación difusa que se produce en mayo, y que los valores máximos de radiación global y directa se producen en julio.

Introduciendo los datos de promedio mensuales para Madrid en el periodo 1975-2005 con los promedios extremos mensuales, máximos y mínimos publicados en el calendario meteorológico de 2007 del INM, y comparando con el promedio mensual para todos los meses en el periodo 1994-2003 y sus respectivos valores promedio extremos, obtenemos el gráfico representado en la figura 4.

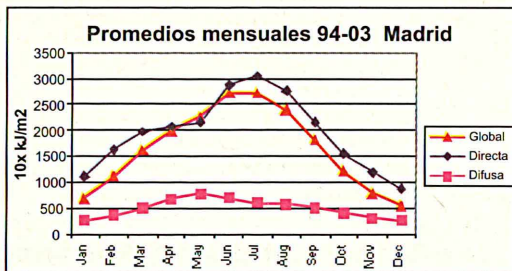


Fig. 3. Promedios mensuales de radiación diaria global, directa y difusa a lo largo de la década 1994-2003 en el observatorio de Madrid CRN.

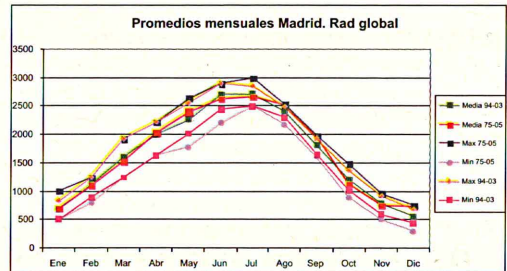


Fig. 4. Evolución comparativa de los promedios mes a mes y promedios extremos para los periodos 1975-2005 y 1994-2003. Radiación Global. Observatorio Madrid CRN (Unidades $10 \times \text{kJ/m}^2$).

En ella se observa que en el mes de mayo los valores del periodo 1994 a 2003 fueron inferiores a los del promedio del periodo más amplio. En esa década el mes de mayo registró valores inferiores en promedio, sin embargo junio y julio dieron registros superiores para la década objeto de estudio. Se observa también que septiembre y

noviembre tuvieron valores inferiores en este periodo respecto al periodo de 30 años en que se dispone de datos. Se puede decir que el periodo veraniego registró mayor cantidad de radiación global en la década de estudio que en el promedio de todo el periodo de registro. Todo lo contrario de lo sucedido en los meses de mayo, septiembre y octubre. Las variaciones entre los promedios 1994-2003 y 1975-2005 son mínimas y están muy por debajo de una unidad de desviación estándar de los valores diarios respecto a la media 94-03.

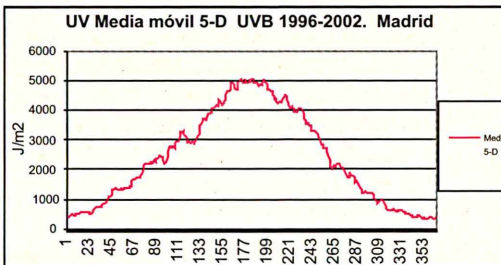
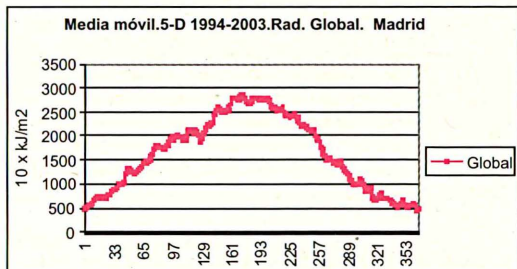


Fig. 5. Media móvil de cinco días para los valores promediados diarios de radiación global para el periodo 1994 a 2003 para Madrid.

Fig. 6. Valores diarios promedios de radiación UVB Brewer filtrados mediante media móvil de 5 días. Madrid

Si calculamos los valores promedio diarios utilizando una media móvil de 5 días para el periodo 1994-2003 y el promedio por quincenas para la radiación global se tiene la figura 5 en la que vemos el mínimo relativo que ocurre en la primera quincena de mayo. En el gráfico quincenal, no presentado, se observa que dicho mínimo desaparece al promediar sobre quince días pero en cambio se aprecia un mínimo relativo en la radiación diaria como consecuencia del máximo relativo de nubosidad en esa quincena. En cambio, la radiación difusa alcanza su valor anual máximo. Los valores máximos de radiación global se registran en la segunda quincena de junio y la primera de julio. El pico de radiación directa se registra en la quincena 13, es decir, la primera de julio. La evolución del promedio de la radiación global a lo largo del otoño y del invierno es más suave que la de la radiación directa. Esta última presenta otro máximo secundario en la quincena 19 (primera de octubre). También presenta otro máximo secundario en la segunda quincena de febrero.

III. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA. EVOLUCIÓN ANUAL EN MADRID. DATOS BREWER 070

En estudio preliminar se observó que los valores de 1994 y 1995 eran significativamente inferiores a los de siguientes años, en particular a los del promedio 1996-2002. Una revisión del procedimiento para generar el valor de la radiación ultravioleta diaria mostró que a mediados de 1995 hubo un cambio importante que quedó reflejado en los ficheros de calibración anteriores y posteriores. Además en el análisis de los valores de radiación global, directa y difusa, (fig.2) no se observaron diferencias significativas para esos dos años respecto a los otros años considerados por lo que se considera que los valores de UVB de esos dos años habrían sido similares a los de los años siguientes, por lo que se consideró el periodo 1996-2002 como el adecuado. Además, la entrada en servicio del piranómetro YES UVB-1 a final de 1995, proporcionaba una valiosa fuente de comparación de valores.

Mes	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Media	Stdv	Max	Min
Ene	436	433	542	695	595	491	535	532	228	1082	89
Feb	1021	1134	1096	1149	1220	1091	1174	1126	354	1861	163
Mar	1852	2213	2097	1953	1869	1800	1680	1923	653	3679	249
Abr	2912	2890	2543	2853	2456	3140	2643	2777	935	4847	173
May	3582	3623	3191	3903	3768	3352	3503	3560	1083	5742	713
Jun	4767	4254	5106	4622	5160	4993	4143	4721	928	6413	1190
Jul	4649	4217	5186	4623	5236	4535	4322	4681	736	5931	2517
Ago	4224	3594	3981	4277	4252	4091	3499	3988	690	5460	1563
Sep	2512	3064	2636	2483	2820	2784	2394	2670	724	4109	415
Oct	1574	1516	1562	1455	1716	1442	1293	1508	501	2771	466
Nov	796	638	859	899	733	781	547	750	298	1356	112
Dic	354	388	512	476	393	474	373	424	159	925	60

Tabla. 1 Promedios mensuales de valores diarios de irradiancia UVB medido por el espectrofotómetro Brewer 070 en Madrid CRN.

En la tabla 1 destacan de manera clara los valores muy altos de la desviación estándar en los meses de primavera. En particular, en el mes de mayo su valor es casi la tercera parte del valor medio. Esto se traduce en la muy alta variabilidad que tienen los valores diarios en esos meses. Una posible explicación son los valores relativamente altos de cobertura nubosa que se dan en esos meses, como se deduce de los valores relativamente bajos del índice de insolación C2. El efecto de la nubosidad llevaría a una reducción general de la radiación, pero diferentes tipos de nubes tienen efectos distintos en dicha reducción dependiendo de su consistencia, altura y del ángulo solar, proporcionando una fuente de variabilidad para los valores totales diarios finales. En cambio los valores de la desviación estándar en otoño son sensiblemente menores indicando que la variabilidad es mucho menor. En la columna de valores extremos destaca que en abril y mayo haya días en que se superen los 4500 J/m². Si aplicamos un filtro de media móvil de cinco días esos picos desaparecen tal y como se aprecia en la figura 6.

Los valores extremos suben tanto en días singulares como en promedio 5-D. Los valores extremos de 6413 J/m² y 60 J/m² se produjeron respectivamente el día 13 de junio de 1997 y el 22 de diciembre de 2000. Utilizando un filtro de media móvil de 10 días (el valor nominal del día es el quinto valor), se aprecia (fig 7) una suavización de las irregularidades pero no desaparece el mínimo relativo de principios de mayo considerándose como un hecho consolidado del comportamiento de la radiación en el periodo 1996-2002 en Madrid.

Si definimos arbitrariamente un umbral de 4500 J/m² vemos que entre el día 155 (3 de junio) y el 205 (23 de julio) la curva de evolución de la media móvil de 10 días de valores medios de UVB lo sobrepasa (figura 7).

Este periodo del año sería climatológicamente en el que se registran en Madrid los valores superiores de UVB.

Además de esa meseta, se observa un repunte a finales de julio-principios de agosto que coincide con un repunte en la radiación directa solar (ver fig 8).

El mínimo de mayo estaría asociado a un mínimo de radiación visible y un aumento de la nubosidad tal y como puede verse también en la figura 8 en la que se representa conjuntamente la radiación solar directa, sensible a cambios en la nubosidad, y la UVB.

Los datos diarios de UVB a finales de abril muestran un decrecimiento, con un mínimo secundario en la primera quincena de mayo. Este hecho también se representa en gráficos similares de datos de radiación global, y la explicación también está relacionada con el máximo secundario del coeficiente de nubosidad en estos días. El descenso en la radiación directa es muy acusado en ese periodo. Sin embargo, el total de ozono en columna

en Madrid alcanza en estas fechas valores máximos anuales de acuerdo con estudios nacionales e internacionales (Gómez, 2004) y (UNEP/WMO, 2002).

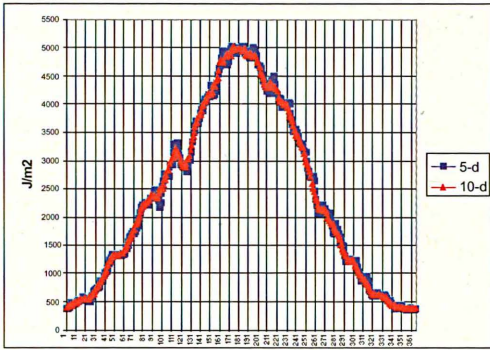


Fig. 7. Evolución anual de los promedios diarios de radiación UVB Brewer filtrados mediante media móvil de 5 y 10 días.

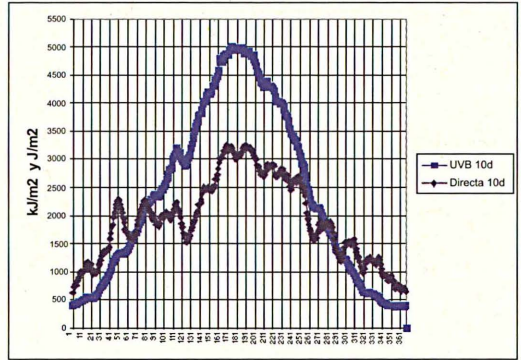


Fig. 8. Evolución anual de los promedios diarios de radiación UVB Brewer y radiación directa filtrados mediante media móvil de 10 días. Las unidades de UVB son J/m^2 y las de radiación directa kJ/m^2 .

Hay otras zonas de aplanamiento: una interrupción de crecimiento a finales de febrero parece asociarse a un brusco descenso de los valores de radiación directa tras el máximo secundario de la segunda quincena de febrero. La interrupción del decrecimiento en septiembre parece asociarse a un repunte de la radiación directa que indicaría la presencia de días despejados por esas fechas.

Del examen de los datos de promedios quincenales para el periodo 1996 a 2002 se puede extraer que existen dos quincenas en las que la radiación UVB es más intensa: la segunda de junio y la primera de julio pero que la primera de junio registra valores promedio importantes y mayores que la segunda quincena de julio. Los valores de la segunda quincena de mayo son similares a los de la primera quincena de agosto. Si representamos por quincenas los valores promedio de la radiación UVB registrados con el espectrofotómetro Brewer 070 y tenemos en cuenta además un intervalo de 1 valor de desviación estándar, obtenemos la fig 9.

La evolución de la curva es similar a la de la radiación global con una alta variabilidad primavera-vernal. Los valores promedios alcanzan su máximo en la segunda quincena de junio y en la

primera de julio con valores similares. Sin embargo, la desviación estándar es menor en la primera de julio. En el otoño y el invierno, la variabilidad de los promedios quincenales es baja como queda patente por los valores bajos de la desviación estándar. Se vuelve al modelo ya mostrado en la radiación global de pocos cambios en la primera parte del otoño.

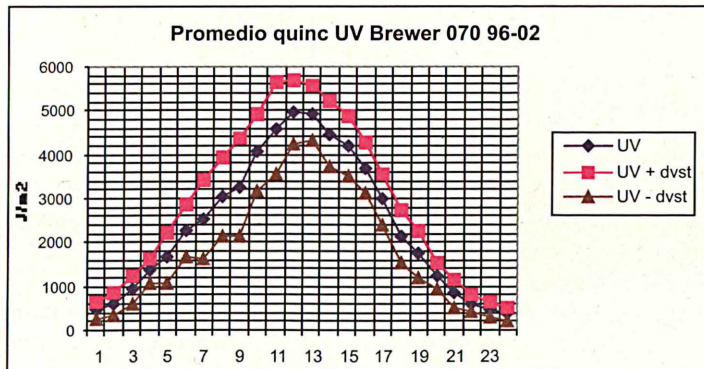


Fig. 9. Evolución a lo largo del año del promedio quincenal de los valores diarios de radiación UVB Brewer para el periodo 1996-2002.

IV. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA. EVOLUCIÓN ANUAL EN MADRID. INSTRUMENTO YES UVB-1

En el mismo emplazamiento, desde el final de 1995 está trabajando un piranómetro de banda ancha YES-UVB-1. Este instrumento registra la energía comprendida en el intervalo entre 280 nm y 320 nm. Los datos de banda ancha son ponderados también con un equivalente al espectro de acción eritemática de Diffey. Los datos se toman cada 30 minutos y representan un promedio de la radiación entrante de UVB en ese intervalo temporal, no una medida instantánea. Los datos diarios se construyen mediante integración temporal como en el caso del Brewer. El conjunto de procedimientos de control de calidad a que se somete este instrumento asegura que existan muy pocas lagunas de información de UVB en banda ancha por comparación con las lagunas existentes en las observaciones espectrales, donde los procedimientos de calibración son mucho más laboriosos y llevan a periodos de inutilización del aparato. Este registro permite un apoyo a los estudios de radiación ultravioleta realizados mediante el más sofisticado y complejo Brewer.

La media de los promedios diarios tiene un valor de 2485 J/m², casi un centenar de unidades más que el Brewer. Los valores extremos diarios son 6677 J/m² el 13 de junio de 1997 y 72 J/m² el 22 de diciembre de 2000. Ambos casos coinciden con los registros de valores extremos del Brewer pero el piranómetro registró alrededor de 250 unidades más de radiación en el caso del máximo. Los extremos de los promedios de media móvil de 5 días son 5286 J/m² y 374 J/m².

Se calcularon los valores de los promedios mensuales en base a los datos diarios para cada uno de los años del periodo de estudio y después se calculó el promedio para cada uno de los meses. Los resultados se exponen en la tabla 2.

Valores medios	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Media YES	Media Brw
Ene	420	452	510	674	601	515	584	537	532
Feb	1052	1192	1074	1099	1268	1147	1293	1161	1126
Mar	1942	2325	2030	1954	1927	1850	1857	1984	1923
Abr	3122	3049	2457	2984	2518	3353	2979	2923	2777
May	3720	3845	3089	3985	3839	3553	3976	3715	3560
Jun	4979	4474	4943	4731	5164	5297	4702	4899	4721
Jul	4819	4480	5069	4771	5234	4812	4938	4875	4681
Ago	4349	4042	3924	4280	4296	4260	4056	4172	3988
Sep	2630	2879	2619	2773	2886	2760	2672	2746	2670
Oct	1695	1732	1607	1422	1703	1476	1429	1581	1508
Nov	847	615	850	863	726	812	671	769	750
Dic	384	381	496	466	407	504	409	435	424

Tabla 2. Promedios mensuales de datos diarios de radiación UVB medidos por el YES. Madrid.

Se observa en la tabla 2 que los valores promedio mensuales obtenidos por el piranómetro de banda ancha YES UVB-1 instalado en Madrid (CRN) han sido superiores en 100 J/m² a los obtenidos por el Brewer 070 instalado en el mismo observatorio, aunque miden la misma magnitud ambos instrumentos, los resultados no son idénticos.

Se ha buscado la relación estadística entre los valores de ambos instrumentos con un modelo simple estadístico que relacione los valores de ambos aparatos con resultados útiles. Inicialmente, se realiza una regresión lineal entre los valores directos de irradiancias globales diarias. Luego se ensaya también un modelo multiplicativo que equivale a realizar un ajuste lineal entre los valores de los logaritmos de dichas irradiancias diarias. Se comparan ambos métodos y se ve cual da mejores resultados.

El modelo lineal Y (Brewer) = $a + b \cdot X$ (YES) obtenido tiene los siguientes valores: ordenada (a) = 21,44 con una estimación de error de 5,82, pendiente (b) = 0,95 con una estimación de error de 0,002.

Según el modelo, YES mide 21 J/m² menos que Brewer (+ 21 kJ/m²).

El coeficiente de correlación entre ambas magnitudes es de 0,99. El error estándar de est. = 165,1, error absoluto medio 108,2, el estadístico de Durbin-Watson vale 0,61 (P=0,0000).

La ecuación del modelo ajustado es Brewer=21,44+0,95 YES

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0,01, existe relación estadísticamente significativa entre Brewer y Yankee para un nivel de confianza del 99%.

El modelo explica un 99,02% de la varianza de Brewer. El elevado coeficiente de correlación indica una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos de 165,1.

Se realizó una comparación de modelos alternativos obteniéndose que el mejor entre ellos era el multiplicativo y se procedió a realizar el mismo proceso estadístico para Y (Brewer) = $a \cdot X$ (YES) ^{^b},

O lo que es equivalente $\ln Y = a + b \cdot \ln X$.

Con esto se obtuvieron los siguientes valores: para el ajuste lineal de los valores logarítmicos:

Ordenada (a) = 0,034 con una estimación de error de 0,016, pendiente (b) = 0,991 con una estimación de error de 0,002.

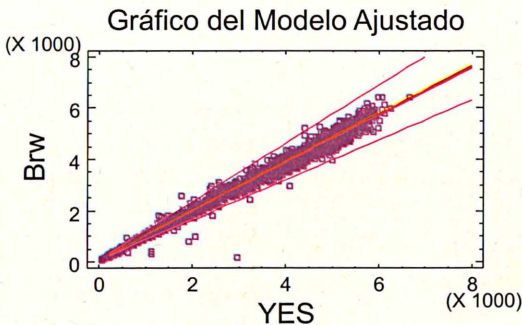


Fig.11. Ajuste multiplicativo entre los valores diarios integrados de irradiancia global en UVB medidos por el Brewer (ordenadas) y el YES (abscisas). Las líneas rojas exteriores indican los límites de predicción del modelo y las líneas interiores el límite a nivel de confianza del 95%.

El coeficiente de correlación encontrado es 0,994, con una varianza explicada del 98,95% y un error estándar de 0,0948578. El error absoluto medio es de 0,051 que corresponde a un valor absoluto de 1053 entre los valores predichos para Brw a partir de los valores de YES. Muy por debajo del error instrumental. La correlación por tanto entre ambas medidas es excelente en conjunto.

IV. INDICE UVI

A partir de los registros del piranómetro YES UVB-1 se ha realizado un estudio de los valores máximos del índice ultravioleta, UVI de sus siglas en inglés,

(Vanicek et al. 2000, WMO, 1997), tomando como UVI máximo el valor representativo de los valores de 30 minutos mayores de cada día.

Los promedios mensuales de los valores máximos diarios de UVI se presentan en la tabla 3.

El promedio de los valores diarios de UVI máximo vale 5,0 pero existe la lógica variación anual. Valores que superen el umbral de 7 se consideran como altos de acuerdo con los manuales de utilización de este producto y a partir de 10 se consideran extremos (Carreño et al, 2002). Los valores extremos diarios valen 11,2 de nuevo el 13 de junio de 1997 y 0,2 el 22 de diciembre de 2000. Los valores extremos de los promedios de 5 días valen 9,2 y 1,0. A continuación en la figura 10 se representan los promedios diarios y los promedios de media móvil de 5 y 10 días de manera similar a otras variables.

Mes	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Promd
Jan	1,1	1,1	1,3	1,7	1,5	1,4	1,5	1,4
Feb	2,4	2,7	2,5	2,6	2,9	2,7	3,1	2,7
Mar	4,1	4,7	4,2	4,1	4,2	4,4	4,3	4,3
Apr	6,2	6,1	5,1	6,7	5,5	6,7	6,3	6,1
May	6,9	7,5	6,1	7,9	7,7	7,3	7,7	7,3
Jun	8,7	8,0	8,6	8,7	9,2	9,4	8,7	8,7
Jul	8,7	8,3	8,8	8,7	9,5	8,9	8,9	8,8
Aug	8,2	7,6	7,4	8,2	8,2	8,2	7,9	8,0
Sep	5,5	5,7	5,4	6,1	5,9	5,7	5,8	5,7
Oct	3,7	3,8	3,5	3,5	3,9	3,6	3,5	3,7
Nov	2,1	1,6	2,0	2,2	1,8	2,0	1,8	1,9
Dec	1,0	1,0	1,3	1,2	1,1	1,3	1,1	1,1

Tabla.3 Promedios mensuales de valores diarios del índice UVI.máximo.

La evolución del gráfico es muy similar al del UVB integrado diario. Se aprecia también el mínimo relativo de la primera quincena de mayo. Valores superiores a 7 se superan desde la segunda quincena de mayo hasta mitad de septiembre.

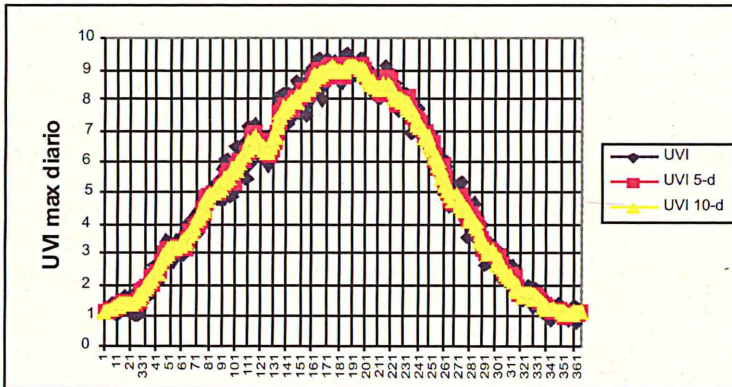


Fig. 10. Evolución anual de los valores diarios promediados del UVI máximo. Valores filtrados mediante media móvil de 5 días y 10 días.

En cuanto a valores promedio quincenales, se observa que el promedio quincenal de radiación caracterizada por el UVI máximo diario supera el umbral de 7 entre la segunda quincena de mayo (valor 8,0) y la primera quincena de agosto (valor 7,6). El valor más elevado se registra en la primera quincena de julio (valor 9,1).

V. CONCLUSIONES

1. Se pone de manifiesto el comportamiento estacional de la radiación ultravioleta B en Madrid con máximos veraniegos, mínimos invernales y un mínimo relativo importante en la segunda quincena de mayo debido a la nubosidad.
En la segunda quincena de febrero se produce un máximo relativo de radiación asociado principalmente con bajos niveles de nubosidad.
2. La evolución anual de la radiación muestra en todas las categorías: global, difusa, directa y ultravioleta un hecho característico en la primera quincena de mayo, asociado a un aumento relativo de la nubosidad durante esta quincena.
Los máximos se producen en la segunda quincena de junio y primera quincena de julio, mientras que los meses de julio, agosto y septiembre se caracterizan por la

estabilidad en los niveles de radiación con su principal modulación debida al ciclo anual solar ya que las variaciones debidas a nubosidad y ozono son pequeñas.

3. Los niveles de radiación ultravioleta B para Madrid son importantes desde la segunda quincena de mayo hasta la primera quincena de agosto ambas inclusive.
4. Los registros de irradiancia total eritemática integrada diaria obtenidos mediante diferentes instrumentos Brewer y YES son similares en promedio, aunque el segundo muestra valores superiores en unos 100 J/m² en promedio anual.
Se puede utilizar un modelo estadístico para reconstruir datos de Brewer para un periodo de tiempo en el que no se dispongan a partir de los datos del YES.

VI. REFERENCIAS

- CARREÑO, V; A. REDONDAS y E. CUEVAS. 2002. *Indice UV para la población España. Instituto Nacional de Meteorología.*
- DIFFEY, B.L. 1991. *Solar ultraviolet radiation effects on biological systems. Physics in Medicine and Biology.* 36(3). 299-328.
- GARCÍA, R, J.M. CISNEROS, E. HERNÁNDEZ, J.MANZANO, J. DÍAZ: «*Time Modeling of Daily UVB Values in Madrid. Spain*». J. Appl. Met. AMS January 2000.
- GÓMEZ, I., A. LABAJO Y J.CAMACHO. 2004 «*Análisis of stratospheric ozone over Iberian Península*». EGU Assembly. Viena April 2004.
- UNEP/WMO. «*Scientific Assesment of Ozone Depletion: 2002*».
- VANICECK, K.,T. FREI, Z. LITYNSKA, A. SCHMALWIESER. «*UV Index for the public*» WG4. Action COST-713 on UV Forecasting. Brussels 2000.
- WMO. «*Report of the WMO-WHO. Meeting of Experts on Standartization of UV Indices and their dissemination to the public*» WMO, GAW, N° 127, 1997.