

MODELO DE PREDICCIÓN DEL ÍNDICE ULTRAVIOLETA (UVI) DEL INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA

Virgilio Carreño
Alberto Redondas
Emilio Cuevas
Carlos J. Torres

Observatorio Atmosférico de Izaña. INM

RESUMEN

De acuerdo con las recomendaciones de la Acción COST-713 (Predicción UV-B) de la Comisión Europea, se ha procedido al desarrollo del modelo de predicción del Índice Ultravioleta (UVI) para España. En este trabajo se presenta dicho modelo y los resultados de las primeras validaciones tras su primer año de operación. Asimismo se describen las próximas parametrizaciones y mejoras que se esperan implementar en el mismo a la vista de los resultados obtenidos.

1. Introducción

La observación de la radiación ultravioleta ha adquirido en los últimos años una gran importancia dada la creciente incidencia de cáncer de piel en todo el mundo, y especialmente entre la población de piel blanca, desde los años 70. Este aumento en los problemas de la piel está asociado, por un lado, a los cambios experimentados en los hábitos sociales, que consideran una piel morena como atractiva y saludable, y por otro al incremento de la radiación ultravioleta (UV) como consecuencia de la destrucción que se está observando del ozono estratosférico en latitudes medias y altas.

Las medidas de radiación ultravioleta hasta hace muy pocos años eran de uso exclusivo de investigadores, sin embargo en la segunda mitad de la década de los noventa comienzan a ser objeto de la atención del público en general, de tal modo que hoy día son difundidas diariamente a través de los medios de comunicación junto a la información meteorológica. Sin embargo esta "socialización" de las medidas de la radiación UV no ha sido fácil ni simple ya que la interpretación de estas medidas es enormemente compleja. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la Organización Mundial de la salud (OMS), en colaboración con el Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas (UNEP) y otras instituciones internacionales y nacionales organizaron en 1997 en "Les Diablerets" (Francia) el histórico "Meeting of Experts on Standardization of UV Indices and their Dissemination to the Public" (WMO, 1997) que significaría el inicio de la difusión de este tipo de información al público. En ese encuentro mundial de especialistas se acordó implantar un nuevo y único parámetro simple y sencillo, el denominado Índice Ultravioleta (UVI), que diera cuenta de la radiación ultravioleta dañina para las personas y que fuera fácilmente entendido y manejado por el público en general. La Comisión Europea, inmediatamente después, se sumó a esta iniciativa, constituyendo y financiando la Acción COST-713 (Predicción de UVB) en la que se coordinaron a nivel europeo las acciones encaminadas para predecir y divulgar el UVI (Comisión Europea, 2001). En lo que respecta a divulgación al público del UVI se han llevado ya a cabo algunas iniciativas, tanto a nivel europeo (Vanicek, Frei y otros, 2000), como a nivel nacional (Carreño, Redondas y otros, 2001).

El UVI es formulado utilizando el espectro de acción eritemática inducido por radiación UV sobre la piel humana, de la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage). Se trata, en definitiva, de un parámetro adimensional que da cuenta de la radiación UV relevante para las personas, y viene definido por la Ecuación 1.

$$I_{UV} = k_{er} \cdot \int_{290nm}^{400nm} E_{\lambda} \cdot s_{er}(\lambda) d\lambda \quad [1]$$

donde E_{λ} es la irradiancia solar espectral expresada en $W/(m^2 \cdot nm^1)$ a la longitud de onda λ , $s_{er}(\lambda)$ es el espectro de acción eritemática desarrollado por la CIE y k_{er} es una constante igual a $40 m^2/W$.

La integral tiene como límite inferior 290 nm, por debajo del cual toda la radiación es absorbida antes de llegar a la superficie de la Tierra, y el límite superior (400 nm) constituye la longitud de onda frontera entre el UV-A y el espectro visible.

La determinación del UVI se puede hacer mediante medidas o mediante modelos, siendo bastante difícil su modelización debido a los numerosos efectos que influyen en el mismo, como son la altura solar, las nubes, el ozono y los aerosoles.

2. Datos y Metodología

El modelo de predicción del UVI del Instituto Nacional de Meteorología se ha desarrollado en varias etapas: en primer lugar se ha implementado un modelo de regresión simple para predecir el ozono. Este parámetro junto a otras variables constituyen los datos de entrada al modelo de transferencia radiativa UVA-GOA del Grupo de óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid.

2.1 Modelo de regresión simple para el cálculo de ozono

Se ha implementado un modelo de regresión simple para calcular el ozono del día D ($\Omega_{(D)}$) sobre una malla de 546 puntos, usando para la predicción, el ozono del día anterior D-1 ($\Omega_{(D-1)}$) y de dos días antes D-2 ($\Omega_{(D-2)}$), además de una medida intermedia interpolada 'Mi' ($\Omega_{(Mi)}$).

$$\Omega_{(D)} = a_0 + a_1 \cdot \Omega_{(D-1)} + a_2 \cdot \Omega_{(Mi)} + a_3 \cdot \Omega_{(D-2)} \quad [2]$$

En la obtención de los coeficientes del modelo de regresión para el cálculo del ozono predicho se han empleado datos del instrumento TOMS (*Total Ozone Mapping Spectrometer*) a bordo del satélite *Earth Probe* de la NASA, entre 1979 y 1993 para cada uno de los puntos de la malla en la que se hace la predicción. Dicha malla tiene por esquinas, (45° N, 15° W), (45° N, 5° E), (25° N, 5° E) y (25° N, 15° W), con una resolución de 1.25° latitudinalmente, y de 1° longitudinalmente.

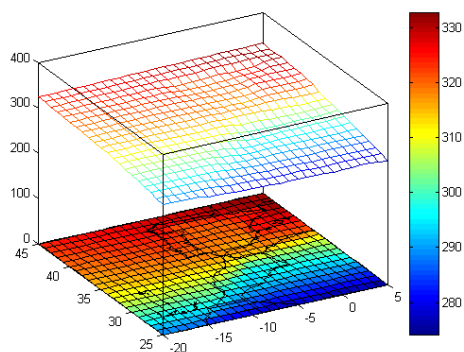


Figura 1: Distribución espacial de ozono medido por el TOMS durante el periodo 1979-1993.

Para hacer la predicción de ozono, se bajan diariamente de forma automática los ficheros brutos de ozono del TOMS de la red (<http://toms.gsfc.nasa.gov/>), procesándolos para extraer la información correspondiente a los 546 *puntos* de la malla. Una vez que tenemos la malla se aplica un método recursivo de interpolación bi-cúbica con el fin de rellenar, en un número reducido de iteraciones, las zonas de sombra del satélite.

2.2 Modelo de transferencia radiativa UVA-GOA

La Acción COST-713 recomienda proporcionar predicciones diarias del UVI máximo (al mediodía) suponiendo cielos completamente despejados. En las predicciones diarias del UVI para cada capital de provincia, que se encuentra disponible en la página *web* del Instituto Nacional de Meteorología, en <http://www.inm.es/web/infmet/predi/ulvip.html>, se da, además, la evolución diaria del UVI suponiendo cielos despejados. Para el cálculo del UVI a partir del ozono predicho se ha empleado el modelo de radiación UVA-GOA. Se trata de un modelo de transferencia radiativa espectral monocapa. Este modelo nos permite evaluar la distribución espectral de la radiación en un intervalo relativamente grande de longitudes de onda frente a la resolución espectral del mismo.

El método de resolución que emplea el modelo es el de dos flujos (Zdunkowsky , Welch y otros, 1980). La elección de este método viene dada por su mayor sencillez y rapidez en comparación con otros, como pueden ser el de Montecarlo, el de Ordenadas Discretas DOM, el de los sucesivos Ordenes de *Scattering* OS, etc. La limitación de este método de resolución estriba en que sólo nos permite evaluar irradiancias, pero en nuestro caso es justo la información que necesitamos.

La irradiancia normal directa viene dada por la Ley de Beer-Lambert-Bourger en la que el espesor óptico puede expresarse de forma más sencilla como multiplicación de transmitancias, debidas a cada efecto independientemente. Dichos efectos son dispersión por moléculas (espesor óptico de *Rayleigh*), dispersión por aerosoles (espesor óptico de aerosoles) y absorción selectiva. La absorción que presenta el rango visible e infrarrojo cercano es la debida a la banda de Chapuis del ozono, el oxígeno y el vapor de agua, y en el caso del ultravioleta el modelo tiene en cuenta el ozono en la región 280-320 nm, correspondiente a las bandas de Hartley (200-310 nm) y Huggins (300-350 nm).

El modelo UVA-GOA emplea como datos de entrada el ozono predicho, el espesor óptico de aerosoles a 500 nm (asumimos una atmósfera limpia, con AOD de 0.05 a 500 nm), el día natural, y la presión atmosférica. Esta última se ha calculado para toda la malla a partir de un modelo digital del terreno (NGDC, 1993) promediado a la resolución del TOMS y asumiendo una atmósfera politrópica.

2.3 Red Nacional de espectrofotómetros

La Red Nacional de espectrofotómetros está compuesta por 7 espectrofotómetros *Brewer* y 16 piránómetros *Yankee*, contando además con dos centros de calibración en Izaña y El Arenosillo, y un sistema portátil de lámparas para la calibración de los *Brewer*. Los datos suministrados por la red *Brewer* son procesados y validados en tiempo real en el Observatorio Atmosférico de Izaña.

Los datos de esta red se emplean para la validación de los modelos de predicción de ozono y de predicción del UVI, respectivamente, y en un futuro próximo se ingestarán junto con los datos del TOMS y del GOME (Global Ozone Monitoring Experiment; Agencia Espacial Europea), con el fin de conseguir una mayor fiabilidad en las predicciones.

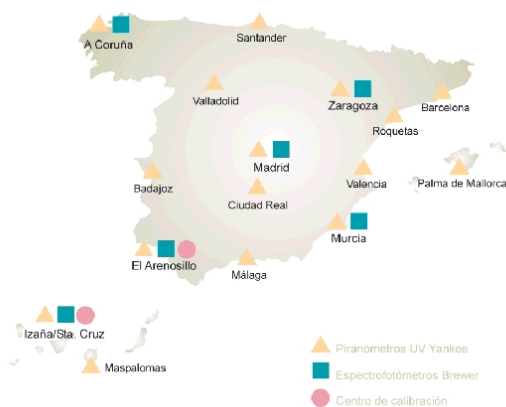


Figura 2: Mapa de la Red Nacional de Espectrofotómetros.

3. Validaciones de ozono. Resultados

3.1 Validación del TOMS

Se ha realizado una comparación entre las medidas del TOMS y las medidas proporcionadas por los *Brewer* sobre cada una de las estaciones. En este apartado queremos resaltar el caso de la estación de Izaña, que por estar situada a 2 367 m.s.n.m, presenta una diferencia significativa entre las medidas del *Brewer 157* y las del TOMS (Cuevas, Lamb y otros, 1994 ;Gil , Yela y otros, 2000). Este hecho se puede comprobar en la Figura 3, donde se han representado datos del *Brewer 157* y del TOMS durante un año. El ajuste lineal muestra una diferencia entre ambos de un 4,4 %.

La diferencia obtenida para el resto de las estaciones no puede ser separada del propio error instrumental de los equipos de medida, teniendo como ejemplo extremo el caso de A Coruña donde se obtiene una diferencia TOMS-Brewer del 0,6 %.

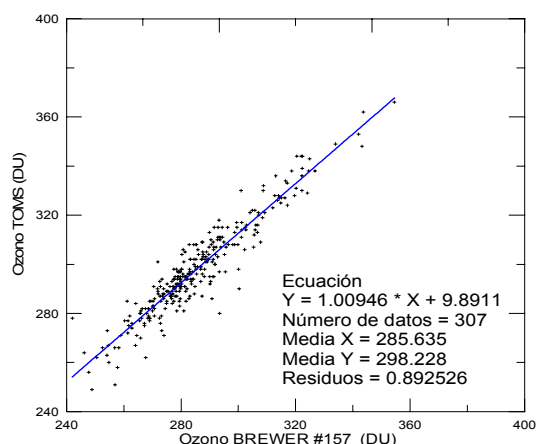


Figura 3: Comparación Brewer 157 –TOMS.

3.2 Validación del modelo de predicción de ozono.

Para cada una de las estaciones Brewer se ha comparado el ozono medido diariamente por los Brewer con el ozono predicho con el modelo. En las Tablas 1, 3 y 5 se presentan los resultados estacionales obtenidos para las estaciones de A Coruña, El Arenosillo e Izaña, respectivamente. Asimismo en las Tablas 2, 4 y 6 se presenta para las mismas estaciones la distribución de errores porcentuales. Se puede comprobar que para El Arenosillo e Izaña, en primavera y verano, los errores son siempre menores al 10 %. Los errores observados para todas las estaciones españolas son menores que los encontrados en ejercicios similares para otras estaciones europeas (Comisión Europea, 2001), siendo especialmente buenos para Izaña y El Arenosillo.

Estación de A Coruña	Ratio (M/P)	Desv. Std.	Media (%)	Max.(%)	Min.(%)	Rango (%)	No. de Obs.
Invierno	1,0174	0,0747	1,74	18,11	-7,69	25,80	90
Primavera	0,9966	0,0567	-0,33	16,86	-10,50	27,36	92
Verano	0,9886	0,0519	-1,14	8,67	-14,65	23,31	88
Otoño	1,0241	0,0711	2,41	24,18	-14,10	38,26	92

Tabla 1: Estadística estacional de la validación de ozono para A Coruña.

Diferencia porcentual (A Coruña)	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Error < 10%	93,8 %	91,67 %	94,44 %	86,5 %
Error < 5%	43,8 %	70,83 %	69,44 %	67,6 %
Error < 2,5 %	18,8 %	58,33 %	36,11 %	32,4 %

Tabla 2: Distribución estacional de errores porcentuales (A Coruña).

Estación de El Arenosillo	Ratio (M/P)	Desv. Std.	Media (%)	Max.(%)	Min.(%)	Rango (%)	No. de Obs.
Invierno	0,0975	0,0888	-2,54	8,98	-22,68	31,65	90
Primavera	0,9900	0,0517	-1,00	9,12	-7,15	16,27	92
Verano	0,9929	0,0326	-0,71	5,19	-8,44	13,63	88
Otoño	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 3: Estadística estacional de la validación de ozono para El Arenosillo.

Diferencia porcentual (El Arenosillo)	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Error < 10%	93,3 %	100,0 %	100,0 %	-
Error < 5%	20,0 %	50,0 %	86,5 %	-
Error < 2,5 %	6,6 %	35,7 %	53,8 %	-

Tabla 4: Distribución estacional de errores porcentuales (El Arenosillo).

Estación de Izaña	Ratio (M/P)	Desv. Std.	Media (%)	Max.(%)	Min.(%)	Rango (%)	No. de Obs.
Invierno	1,0235	0,0501	-2,35	13,48	-10,48	23,96	91
Primavera	1,0014	0,0329	-0,14	7,31	-9,02	16,33	93
Verano	0,9994	0,0254	0,06	5,45	-8,48	13,92	93
Otoño	1,0090	0,0277	-0,90	6,02	-11,14	17,16	92

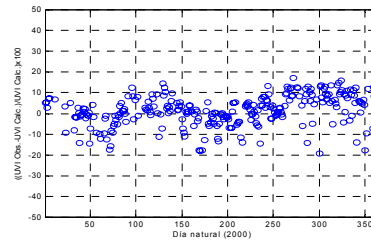
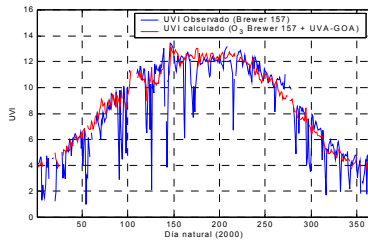
Tabla 5: Estadística estacional de la validación de ozono para Izaña.

Diferencia porcentual (Izaña)	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Error < 10%	90,8 %	100,0 %	100,0 %	98,8 %
Error < 5%	63,1 %	88,6 %	94,8 %	93,8 %
Error < 2,5 %	29,2 %	59,1 %	70,1 %	66,3 %

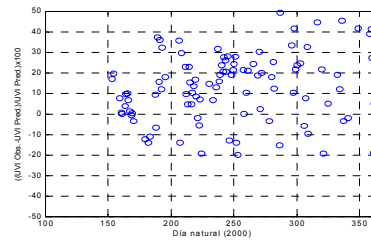
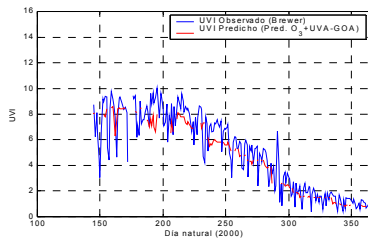
Tabla 6: Distribución estacional de errores porcentuales (Izaña).

4. Validación del modelo de predicción del UVI. Resultados

Para validar el modelo de predicción de UVI se han empleado las estaciones de Izaña y A Coruña por representar latitudes extremas en nuestro dominio. Hemos comparado el UVI observado por los *Brewer* con el UVI obtenido a partir de la predicción de ozono y el modelo de radiación UVA-GOA, obteniéndose para Izaña un valor medio de los errores de 3,87 % con una desviación estándar de 8,94 %, y para A Coruña 16,37 % y una desviación estándar de 20,18 %. Es importante tener en cuenta que en el caso de A Coruña no ha sido posible filtrar el efecto de las nubes por estar enmascarado en el rizado de la variación normal del UVI, estos resultados se pueden observar en las Figuras 4 y 5.

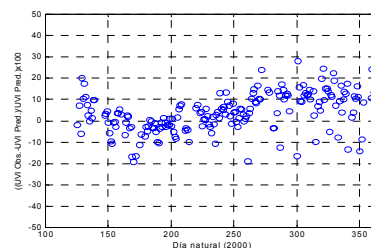
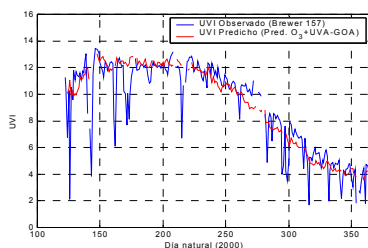


Figuras 4a y 4b: Comparación del UVI observado y predicho para Izaña y diferencia porcentual.



Figuras 5a y 5b: Comparación del UVI observado y predicho para A Coruña y diferencia porcentual.

Con el fin de validar el modelo de radiación UVA-GOA se ha comparado el UVI observado por el *Brewer* con el UVI calculado a partir del ozono observado por el *Brewer*, obteniéndose una media de los errores de 1,45 % y una desviación estándar del 7,39 %.



Figuras 6a y 6b: Comparación del UVI observado y calculado para Izaña y diferencia porcentual.

5. Conclusiones

En general se obtienen muy buenos resultados en primavera y verano, especialmente para las latitudes más bajas en las que la dinámica atmosférica no juega un papel tan marcado, y por lo tanto las predicciones de ozono son razonablemente buenas con un modelo de regresión. Para tratar de reducir los errores, especialmente en las latitudes más altas, se está trabajando en la introducción de nuevos predictores, como son las temperaturas en 200 hPa, 100 hPa y 70 hPa, dada la estrecha relación existente entre éstas y el contenido de ozono.

Hasta ahora en la predicción del UVI se da una curva diaria, suponiendo cielo despejado. Se pretende a partir de ahora introducir el efecto de las nubes en las predicciones del UVI, utilizando unos factores de modificación del mismo a partir de la predicción de nubes bajas, medias y altas. Los factores de modificación para cada tipo de nube se elegirán a partir de trabajos realizados en el marco de la Acción COST-713 y de campañas de medida realizadas en el Observatorio de Izaña y Santa Cruz de Tenerife con la cámara de cielo y los espectrofotómetros *Brewer* y *Bentham*. Por otro lado se está trabajando en la obtención de una distribución espacio-temporal a nivel nacional del espesor óptico de aerosoles, basado en observaciones con los *Brewer*, para incluirlo como parámetro de entrada en el modelo UVA-GOA.

Las predicciones diarias del UVI se encuentran disponibles desde el 10 de Junio del 2000 en la página *web* del Instituto Nacional de Meteorología, en <http://www.inm.es/web/infinet/predi/ulvip.html>.

Agradecimientos

El desarrollo de este modelo ha sido posible gracias a la beca asociada al proyecto europeo STREAMER (Small Scale Structure Early Warning and Monitoring in Atmospheric Ozone and Related Exposure to UV-B Radiation). Contrato EN V4-CT98-0756 de la UE DG XII, y la beca de “radiación Ultravioleta y ozono” de formación de postgraduados del Instituto Nacional de Meteorología. La Dra. Victoria E. Cahorro Revilla, del grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid ha proporcionado y adaptado el modelo de radiación UVA-GOA utilizado en el modelo de predicción del UVI. Los autores desean agradecer a los operadores de los diferentes *Brewer* del INM y del INTA su trabajo, fundamental para el desarrollo de este modelo de predicción del ozono y del UVI.

Referencias

- Carreño V., Redondas A., Cuevas E., Índice Ultravioleta para la población (Edición Canarias),TF-1275/2001, 2001.
- Comisión Europea, UV-B Forecasting final report, COST Action 713, Geneva, Switzerland, 2001.
- Cuevas, E., K. Lamb, A. Bais, Total Ozone Contents derived by Different Instruments and Soundings, Meteorological Publications No 27, Finnish Meteorological Institute, 105-119, Helsinki, 1994.
- Gil M., Yela M., Redondas A., Carreño V., Cuevas E., Schneider M., Puentedura O., Navarro M., Hase F. y Blumenstock T., Intercomparación de instrumentos de medida de la columna total de ozono en el Observatorio subtropical de Izaña (28° N, 16° W), 2ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Lagos, Portugal, (2000).
- NGDC, ETOPO5 5-minute gridded elevations/bathymetry for the world, National Geophysical Data Center, Global Relief Data CD-ROM, USA, 1993.
- Vanicek K., Frei T., Litynska Z. Y Schmalwieser A., UV-Index for the public, COST-713 Action, Brussels, 2000.
- WMO, Report of the WMO-WHO Meeting of Experts on Standardization of UV Indices and their Dissemination to the Public, Les Diablerets, Switzerland, 21-24 June 1997, World Meteorological Organization, Global Atmosphere Watch, No. 127, 1997.
- Zdunkowsky, W.G., R.M Welch y G. Korb. An investigation of the structure of typical two-stream methods for the calculation of solar fluxes and heating rates. Beitr. Phys. Atmos. 53, 147-166, (1980).