



Utilización del radiómetro multicanal de ancho de banda moderada NILU-UV6 en la red antártica del proyecto MAR

The NILU-UV6 multichannel moderate bandwidth filter radiometer in the MAR project's Antarctic network

C. Torres⁽¹⁾, A. Redondas⁽¹⁾, E. Cuevas⁽¹⁾, M. Yela⁽²⁾ y K. Lakkala⁽³⁾

⁽¹⁾Observatorio Atmosférico de Izaña, Instituto Nacional de Meteorología, La Marina 20, nº 6, 38071, S/C de Tenerife, cjtortes@inm.es

⁽²⁾Laboratorio Central de Investigación e Instrumentación Atmosférica, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA).

⁽³⁾Ozone and UV-Radiation Research, Finnish Meteorological Institute (FMI), Finlandia.

SUMMARY

During the last years multichannel moderate bandwidth filter instruments have been used for UV radiation measurement and the reconstruction of the solar spectra. These instruments are now part of several UV and ozone monitoring networks, due to its easy management, low maintenance, robustness and high efficiency. In this work the characteristics, the algorithms for different products calculation, and the quality control and quality assurance system of the multichannel filter radiometer NILU-UV6 are presented. This instrument measures at five UV channels (305, 312, 320, 340 and 380 nm) and PAR (400-700 nm) channel. A radiative transfer model is used to calculate the total ozone content, clouds transmittance and the biologically effective UV doses. The preliminary results obtained by the NILU-UV6 instruments of the MAR project (Measurement of Antarctic radiance for monitoring the ozone layer) Antarctic network, managed by the Instituto Nacional de Meteorología (INM) and the Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), are also shown and discussed.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se están utilizando con mayor frecuencia los radiómetros multicanal de ancho de banda moderada para la medida de radiación ultravioleta (UV). Dadas sus características, estos instrumentos pueden considerarse a medio camino entre un espectroradiómetro y un radiómetro de banda ancha (*Broadband*), ofreciendo, en ciertas situaciones, ventajas frente a ellos.

Los espectroradiómetros de alta resolución proporcionan información completa sobre la radiación UV, el contenido total de ozono, el espesor óptico de nubes y el espesor óptico de aerosoles. Sin embargo, además de ser enormemente costosos, requieren la atención continuada de personal especializado para su mantenimiento, así como la realización de calibraciones y chequeos frecuentes. La dificultad en el manejo de los espectroradiómetros en regiones polares se incrementa notablemente por las condiciones meteorológicas adversas.

Los *broadband* tienen una respuesta instrumental cercana al espectro de acción eritemática pero la información que proporcionan es demasiado limitada. No son capaces de discernir entre variaciones de radiación UV causadas por variaciones en el contenido de ozono total de las que son debidas a otras causas, tales como, a la nubosidad o al albedo de la superficie. Otros inconvenientes son que los datos proporcionados por estos instrumentos no pueden ser convertidos en dosis de UV utilizando espectros de acción diferentes al del propio instrumento, y que la incertidumbre en la función de respuesta espectral puede provocar incertidumbres demasiado grandes en los datos finales, y por lo tanto, inaceptables para ángulos cenitales solares grandes (Mayer y Seckmeyer, 1996).

Entre ambos tipos de instrumentos se encuentran los radiómetros multicanal de ancho de banda moderada. Estos instrumentos dan una información completa en varios canales del espectro UV y visible, que si están bien elegidas, mejorará notablemente la información proporcionada por un *broadband* aunque nunca será tan precisa como la de un espectroradiómetro. Tal y como ha demostrado Dahlback (1996), los radiómetros multicanal son capaces de simular con gran facilidad y fiabilidad el espectro UV, siendo posible además, determinar diferentes dosis de radiación UV biológicamente activa, la columna total de ozono (Cuevas et al., 1994a), incluso bajo condiciones meteorológicas muy desfavorables, y el efecto de las nubes (CLT, *Cloud transmission factor*) (Cuevas y Dahlback, 1994b). La gran ventaja de este tipo de instrumentos es que no

poseen partes móviles, son completamente automáticos, fáciles de calibrar y notablemente más económicos que los espectroradiómetros.

Debido a estas características, se eligió el radiómetro multicanal NILU-UV6 para formar parte de la Red Antártica del Proyecto RACRUV "Red Antártica para la vigilancia y Caracterización de la Radiación UltraVioleta" (ANT98-0179), que surgió de la colaboración entre el Instituto Nacional de Meteorología (INM) y la Dirección Nacional del Antártico - Instituto Antártico Argentino (DNA/IAA). A finales de 1999 se instalaron 3 radiómetros multicanal NILU-UV6 en las bases antárticas de Belgrano II (77°52'S, 34°37'W) y Vicecomodoro Marambio (64°14'S, 56°38'W), y en la estación de Ushuaia (54°49'S, 68°19'W) del Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC). Estas tres estaciones argentinas están situadas a diferente latitud pero cercanas en longitud permitiendo el estudio simultáneo en tres regiones muy diferentes: el interior, la frontera y fuera del vórtice polar. Esta distribución permite la vigilancia y la caracterización de la evolución espacio-temporal tanto del ozono estratosférico como de la radiación UV en la región antártica y subantártica.

Este proyecto ha tenido continuación con el Proyecto Coordinado MAR "Measurement of Antarctic Radiance for monitoring the ozone layer" (REN2000-0245-C02-01/ANT) (Yela et al., 2001), dada la colaboración entre el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), el INM y la DNA/IAA.

2. DESCRIPCIÓN DEL NILU-UV6

Los radiómetros multicanal de ancho de banda moderada NILU-UV6 (Figura 1) están formados por dos módulos: la óptica de medida y la memoria interna de almacenamiento de datos (Figura 2). Ambos módulos están alojados en el interior de un contenedor cilíndrico (Diámetro 17.5 cm, Altura 16.5 cm), algo más voluminoso que un *broadband* pero mucho más compacto que un espectroradiómetro, preparado para la intemperie. La óptica de entrada se encuentra debajo de un difusor de teflón, diseñado para obtener una buena respuesta coseno, y consiste en un filtro de alta calidad y en un detector fotosensible para cada canal. El detector transforma la radiación filtrada en impulsos eléctricos que son amplificados, digitalizados y convertidos a valores absolutos de irradiancia. El detector se mantiene a una temperatura constante de 40°C por medio de un control de temperatura interno. El instrumento realiza una secuencia de medidas para cada canal, almacenando esta



información en la memoria interna. Este proceso lo realiza rápidamente por lo que se puede hablar de medidas simultáneas en todos los canales. Aunque toma medidas cada segundo sólo se almacenan promedios de 1 minuto debido a la limitación de la memoria interna. La memoria tiene una capacidad de almacenamiento de 3 semanas a partir de las cuales comienza a borrar los datos más antiguos lo que favorece a la autonomía del instrumento ya que no es necesario un ordenador para su funcionamiento. Únicamente es necesaria una fuente de corriente para la adquisición de datos y para el control de temperatura. La señal de cada canal y la temperatura del detector se vuelcan a un ordenador a través del puerto RS-232 usando un programa de adquisición.

Los NILU-UV6 miden en cinco canales dentro del espectro UV, con una longitud de onda central de 305, 312, 320, 340 y 380 nm para cada canal y con un ancho de banda de la función respuesta del filtro de aproximadamente 10 nm (FWHM). Posee además un sexto canal en el rango 400-700 nm donde mide la radiación fotosintéticamente activa (Photosynthetically Active Radiation, PAR). A partir de la función respuesta de cada canal, los radiómetros de la Red Antártica fueron calibrados en el Observatorio Atmosférico de Izaña (IZO) del INM, en una intercomparación frente a dos espectroradiómetros de referencia. La respuesta de los canales UV fue calibrada con el espectroradiómetro Bentham DM150 de IZO mientras que el PAR se realizó frente al Bentham DM150 de la Universidad de La Laguna (ULL).



Figura 1 - Radiómetro multicanal de ancho de banda moderada NILU-UV6 en Belgrano (NILU-UV6 multichannel moderate bandwidth filter radiometer at Belgrano.)

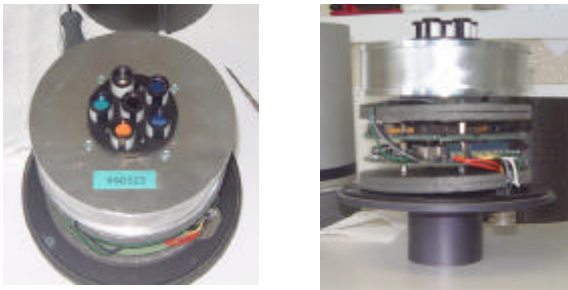


Figura 2 - Canales (izquierda) y memoria interna (derecha) del NILU-UV6. (Channels (left) and internal memory (right) of NILU-UV6.)

3. CONTROL DE CALIDAD

Dentro del Proyecto MAR, una de las principales líneas de actuación es el control de calidad de los datos de la Red Antártica. Con este fin, los NILU-UV6 son calibrados cada dos semanas con lámparas de 100W (Figura 3). Este control permite conocer la estabilidad de cada canal y la degradación óptica de los instrumentos. También, dos veces al año, se realiza un control externo con la intercomparación directa con el 'NILU-UV6 Viajero' del Instituto Meteorológico Finlandés (FMI). Este instrumento de

referencia ha sido calibrado frente al Bentham DM150 de IZO. En el caso de la Base de Belgrano, dada su localización en el interior de la región antártica, la intercomparación con el 'NILU-UV6 Viajero' no es posible. Debido a esta situación, en NILU-UV6 de esta base se sustituye anualmente por otro que ha sido calibrado y controlado en IZO.



Figura 3 - Control de calidad: Test de lámparas. (Quality control: Lamp test).

4. METODOLOGÍA DE MODELIZACIÓN

A partir de las medidas de irradiancia realizadas por NILU-UV6, se puede determinar mediante modelización el contenido total de O_3 en columna, la radiación ponderada por su acción biológica y el factor de transmitancia de las nubes. Los algoritmos que se utilizan han sido desarrollados por Dahlback (1996), y únicamente se requiere que al menos uno de los canales esté en la región UV-B (sensible al ozono y a las nubes) y otro en el UV-A (sensible a las nubes pero no al ozono).

Para la modelización se ha utilizado un modelo de transferencia radiativa por ordenadas discretas (Stamnes et al., 1988) que incluye modificaciones para la curvatura de la Tierra (Dahlback y Stamnes, 1991) necesarias para ángulos cenitales solares grandes. Este modelo considera todos los órdenes de múltiple scattering y absorción, y trata a la superficie de la Tierra como un reflector de Lambert. El modelo trabaja con una atmósfera multicapa definida con perfiles estándar de ozono, presión y temperatura (U.S. Standard Atmosphere 1976). El modelo tiene en cuenta tanto el scattering molecular como la absorción y scattering de las nubes. Las secciones eficaces de absorción del ozono fueron tomadas de Bass y Paur (1985), las secciones eficaces de scattering de Rayleigh de la fórmula empírica de Nicolet (1984) y las nubes fueron parametrizadas siguiendo el esquema de Hu y Stamnes (1993). Como espectro solar extraterrestre se utilizó el espectro solar de alta resolución Atlas3 interpolado con un paso de 1 nm y convolucionado a una función respuesta de 1 nm de FWHM.

4.1. DETERMINACIÓN DEL OZONO TOTAL

Para la determinación del contenido total de ozono se calcula el cociente entre dos canales del NILU-UV6, uno en la región UV-A (320 nm, no sensible al ozono) y el otro en el UV-B (312 nm, sensible al ozono).

$$N(z, O) = V_{320}(z) / V_{312}(z, O) \quad (1)$$

En este cociente, V es la señal de cada canal multiplicada por el coeficiente de calibración correspondiente, O el contenido total de ozono y z el ángulo cenital solar. El contenido total de ozono se obtiene con la comparación de este cociente con otro modelado para las mismas longitudes de onda.

Un ejemplo del cálculo del contenido total de ozono para la estación de Ushuaia se presenta más adelante dentro de los resultados preliminares del Proyecto MAR.



4.2. DETERMINACIÓN DE LA DOSIS DE RADIACIÓN UV BIOLÓGICAMENTE ACTIVA

La dosis de radiación UV biológicamente activa se calcula con la siguiente expresión,

$$D = (S a_i \cdot V_i) \cdot e(z, O) \quad (2)$$

donde a_i son coeficientes que dependen de la función eritemática (CIE, *Commission Internationale de l'Eclairage*), calculados con el modelo de transferencia radiativa, y $e(z, O)$ es una función error que depende del ángulo cenital solar y del contenido total de ozono. Para los NILU-UV6, sólo son necesarios 4 canales (305, 320, 340 y 380 nm) para la determinación de estas dosis de radiación UV y la función de error ($e(z, O)$) se aproxima a la unidad (Dahlback, 1996).

En la Figura 4 presentamos la serie de CIE para el año 2000 en la estación de Ushuaia. Vemos como la radiación es mínima durante el invierno austral mientras que en el resto del año es muy variable debido principalmente a la variabilidad de la nubosidad en esta región (Figura 5).

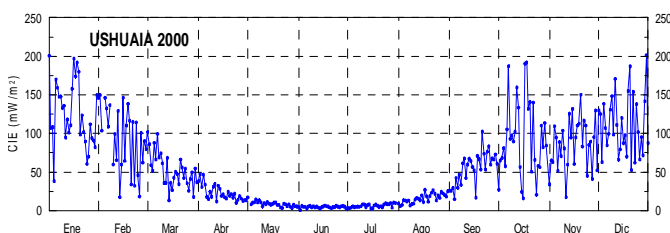


Figura 4 - Evolución del CIE en Ushuaia durante el 2000. (Evolution of CIE at Ushuaia during 2000).

4.3. DETERMINACIÓN DE LA TRANSMITANCIA DE LAS NUBES

Para la determinación de la transmitancia de las nubes se calcula el cociente entre la señal del canal de 340 nm, sensible a las nubes pero no al ozono, con el valor modelado para ese mismo canal en condiciones de cielo despejado y albedo superficial cero.

$$CLT = 100 \cdot (V_{340}(z) / V_{modelo}(z)) \quad (3)$$

En la Figura 5 representamos la serie del CLT en la estación de Ushuaia durante el año 2000. Como vemos, existe una fuerte variabilidad de la nubosidad en esta región, oscilando el valor del CLT entre un 60% y 80%.

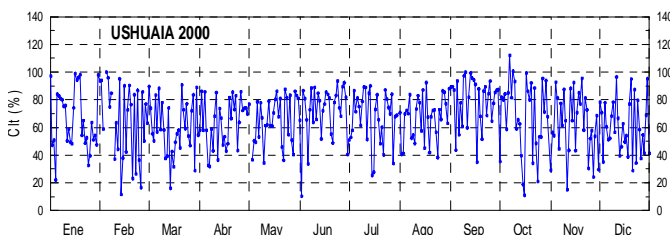


Figura 5 - Evolución del CLT en Ushuaia durante el 2000. (Evolution of CLT at Ushuaia during 2000).

5. RESULTADOS DEL PROYECTO MAR

Como primeros resultados obtenidos dentro de la Red del Proyecto MAR, se ha calculado la evolución del contenido total de ozono en la estación de Ushuaia para el año 2000, y se ha comparado con los datos de satélite obtenidos por el TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) y con el espectrómetro UV-VIS (EVA) perteneciente al INTA e integrados dentro de esta Red Antártica (Figura 6). Vemos como el NILU-UV6 da un valor de ozono muy bueno comparado con estos otros dos equipos, siguiendo en todo momento las variaciones que experimenta el ozono. En situaciones de *agujero de ozono*, contenido total de ozono menor a 220 UD (Figura 6, línea negra), el NILU-UV6 mantiene también una buena concordancia con los otros equipos.

La importancia de estos resultados reside en el hecho de que el TOMS al igual que los espectroradiómetros de tierra, no pueden medir con el sol bajo mientras que equipos como el EVA o NILU-UV6, dada su diferente técnica de medida, da muy buenos resultados bajo estas situaciones.

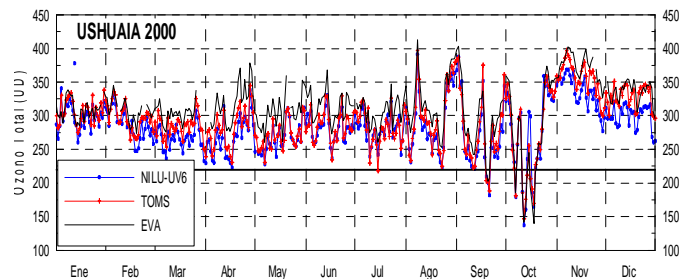


Figura 6 - Evolución del CIE en Ushuaia durante el 2000. (Evolution of CIE at Ushuaia during 2000).

Dada la fuerte dependencia de los datos que se obtienen con el NILU-UV6 con el modelo de transferencia radiativa utilizado, el resultado podría mejorar considerablemente empleando, como entradas al modelo, condiciones más reales en cada una de las estaciones. Ésta es una de las líneas de trabajo en las que se está actuando dentro del proyecto MAR para la optimización de los productos calculados con este equipo.

6. AGRADECIMIENTOS

A la beca de Formación de Postgraduados del INM asociada al Proyecto CRACRUV-MAR. A los científicos, técnicos y operadores de las estaciones argentinas, cuya labor hace posible el funcionamiento de la Red Antártica del Proyecto MAR.

7. REFERENCIAS

- Atlas3 Extra-terrestrial solar spectrum; FTP://susim0.nrl.navy.mil/pub/atlas3/ Cuevas, E., K. Lamb, A. Bais (1994): "Total ozone contents derived by different instruments and soundings", Meteorological Publications No27, Finnish Meteorological Institute, 105-119, Helsinki, 1994.
- Cuevas, E., and A. Dahlback (1994): "Location and conditions during the Nordic intercomparison of ultraviolet and total ozone instruments at Izaña", Meteorological Publications No27, Finnish Meteorological Institute, 23-26, Helsinki, 1994.
- Dahlback, A., (1996): "Measurements of biologically effective UV doses, total ozone abundances, and cloud effects with multichannel, moderate bandwidth filter instruments". *Appl. Opt.*, **35**, 6514-6521.
- Dahlback, A., and K. Stammes (1991): "A new spherical model for computing the radiation field available for photolysis and heating at twilight". *Planet. Space. Sci.*, **39**, 671-683.
- Hu, Y.X., and K. Stammes (1993): "An accurate parameterization of the radiative properties of water clouds suitable for use in climate models". *J. Climate*, **6**, 728-742.
- Mayer, B., and G. Seckmeyer (1996): "All weather comparison between spectral and broadband (Robertson-Berger) UV measurements". *Photochemistry and Photobiology*, **64**, 792-799.
- Nicolet, M., (1996): "On the molecular scattering in the terrestrial atmosphere. An empirical formula for its calculation in the homosphere". *Planet. Space. Sci.*, **32**, 1467-1468.
- Paur, R.J., and A.M. Bass (1985): "The ultraviolet cross-sections of ozone. II. Results and temperature dependence". in *Atmospheric Ozone*, Proceedings of the Quadrennial Ozone Symposium, Halkidiki, Greece, (Reidel, Hingham, Mass., 1985), 611-616.
- Stammes, K., S.C. Tsay, W.J. Wiscombe, and K. Jayaweera (1998): "Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media". *Appl. Opt.*, **27**, 2502-2509.
- U.S. Standard Atmosphere 1976, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Aeronautic and Space Administration, U.S. Air Force (GPO, Washington, D.C., 1976)
- Yela, M., S. Rodríguez, M. Gil, C. Parrondo, O. Puentedura, J. Iglesias, E. Cuevas, C. Torres, A. Redondas, J. Araujo, H. Ochoa, H. Rodríguez, M. Lombardo, S. Díaz, G. Deferrari y K. Lakkala (2001): "Proyecto MAR: Un proyecto para el estudio de la capa de ozono en la estratosfera antártica y subantártica". 3ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica, Valencia, 4 - 8 Febrero.