

Radiación UV solar en isla Robert, Shetland del Sur, Antártica.

ERNESTO FERNÁNDEZ¹, RAÚL MORALES² y WANDA QUILHOT¹.

RESUMEN

En la base Risopatrón, isla Robert, Antártica, durante enero de 1996 se realizaron mediciones de radiación UV utilizando los métodos espectrorradiométrico y actinométrico. Las irradiaciones máximas en las regiones espectrales UV-A y UV-B, determinadas en días con cielos despejados, se producen entre las 13:00 y 14:00 hrs. (hora local). Los registros actinométricos desarrollados muestran una correspondencia lineal con las mediciones espectrorradiométricas ($r = 0.9936$) y permiten validar su uso a escala local y regional, comparándose estas mediciones con otros registros actinométricos obtenidos en el territorio nacional sudamericano.

Palabras clave: Radiación ultravioleta, actinómetro, radiómetro.

UV Radiation at Robert Island, South Shetland, Antarctica.

ERNESTO FERNÁNDEZ¹, RAÚL MORALES² and WANDA QUILHOT¹.

ABSTRACT

Solar ultraviolet radiation measurements by means of chemical actinometry and spectroradiometric instrumental were carried out at the Risopatrón base on Robert Island, Antarctic, during January 1996. The maximum irradiances of the UV-A and UV-B spectral range were detected between 13:00 and 14:00 hrs (Local time) under clear sunny days. The actinometric measurements agree our spectroradiometric determinations ($r = 0.9936$) and permit us to propose this method for local and regional scale measurements after comparing these results to those developed in the Chilean southamerican territory.

Key words: UV radiation, actinometer, radiometer.

INTRODUCCION

El ecosistema antártico es muy sensible a los cambios ambientales. En la actualidad, uno de los cambios ambientales más significativos es el aumento de la radiación ultravioleta solar (UV-solar) debido a la disminución del ozono estratosférico. La disminución del ozono total ha resultado en un pequeño aumento de la radiación UV-B (280-320 nm) que alcanza la superficie de la Tierra (Bojkov 1995), afectando a los sistemas vivos (Smith *et al* 1992, Larmer 1991). La sobreexposición a la radiación

¹Escuela de Química y Farmacia, Facultad de Medicina, Universidad de Valparaíso, Casilla 5001, Valparaíso, Chile.

²Centro de Química Ambiental, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Casilla 653, Santiago, Chile.

UV-B en la Antártica, por sus efectos acumulativos podría ser dañina para los vegetales. Sin embargo, existen evidencias que algunas especies sintetizan compuestos fotoprotectores como flavonoides en musgos (Markham *et al.*, 1990) compuestos antioxidantes (Hidalgo *et al.*, 1994) y absorbentes de radiación UV (Hidalgo *et al.*, 1992; Fernández *et al.*, 1996) en líquenes. En un estudio realizado por Quilhot *et al.*, (1991) se demostró el aumento en la concentración de un metabolito líquénico en los meses de mayor exposición a la radiación UV. El Programa Polar (UV Radiation Monitoring Network) de la NSF, consiste en una red a escala planetaria, con estaciones en la Antártica (Polo Sur, McMurdo y Palmer), en Sudamérica (Ushuaia) y en el hemisferio norte (San Diego y Barrow en Alaska). Mediciones de radiación UV desarrolladas en este programa han sido determinantes en establecer que en el hemisferio sur, en particular en la Antártica, sistemáticamente ha estado incidiendo más radiación solar UV-B que en el hemisferio norte para períodos primaverales comparables bajo igualdad de condiciones de registro (Booth *et al.*, 1995). Además de estas estaciones de medición de radiación UV, con alta resolución espectral, las determinaciones mediante el empleo de satélites artificiales como Nimbus-7, algunos años atrás y Meteor-3, entre otros, también han permitido manejar índices de radiación UV con bastante precisión en diferentes zonas del planeta, a pesar del inconveniente de no poder hacer mediciones a nivel del suelo. Sin embargo, la naturaleza de las condiciones atmosféricas y climáticas propias de diferentes latitudes, así como la imposibilidad de disponer de un mayor número de estos sofisticados espectrorradiómetros, hacen de los registros a escala regional y local una necesidad fundamental para estudios biológicos *in situ*, toda vez que, como es de nuestro conocimiento, la disminución del ozono estratosférico alcanza su máxima disminución en los meses de septiembre y octubre. En algunos años, como en 1990, los valores bajos de ozono persistieron hasta fines de diciembre (Frederick *et al.*, 1994).

Por otra parte, determinaciones radiométricas están necesariamente supeditadas a las especificaciones y vida útil de los componentes instrumentales, así como a las calibraciones con frecuencias estándares, las que con el uso van alejándose de la exactitud requerida. Es así que la confiabilidad de mediciones realizadas por radiómetros portátiles o de estaciones locales o regionales es baja, de no mediar una estandarización única tanto en su diseño como en sus componentes. Esta situación genera una suerte de dispersión de datos que hacen difícil su empleo y comparación.

Al comparar datos provenientes de la red de radiómetros de la Dirección Meteorológica de Chile (Cuadro 1) respecto de la NSF y de la Universidad de Sydney, Australia, para determinaciones en el rango UV-B, podemos apreciar una significativa disparidad en la magnitud de los registros (Cuadro 2).

En este trabajo se presentan mediciones de radiación UV-solar realizadas en la Base Risopatrón, Antártica, mediante un método actinométrico y uno espectrorradiométrico.

El método actinométrico (Morales *et al.*, 1994), a diferencia del espectrorradiométrico, es independiente de las condiciones de calibración, siendo por lo tanto dependiente de la sección eficaz del proceso cuántico que involucra una reacción fotoquímica de primer orden en su rango lineal de irradiación solar.

Cuadro 1

Irradiancia UV-B solar determinada mediante espectrorradiómetro en Base Presidente Frei (62° 25' S.) Antártica y Pudahuel (33° 23' S.) Santiago, de la Dirección Meteorológica de Chile * (DMCh).

Estación	Irradiancia media (mW/m ²)	Irradiancia máxima (mW/m ²)	Mes (año 1993)
B. Frei	133.0	346.9	Septiembre
Pudahuel	385	488.8	
B.Frei	350.0	674.9	Octubre
Pudahuel	485.5	672.6	
B.Frei	463.9	719.0	Noviembre
Pudahuel	625.4	706.6	
B.Frei	406.1	643.4	Diciembre
Pudahuel	572.0	740.0	

(*) Boletín de Radiación Ultravioleta 1993, Vol.2, No 9 al 12.

Cuadro 2

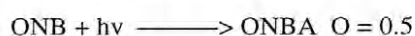
Irradiancia UV-B solar determinada a diferentes latitudes mediante espectrorradiómetro en estaciones de la National Science Foundation (NSF), Sydney (Universidad de Sydney, Australia) y Dirección Meteorológica de Chile (DMCh).

Estación	Latitud	Irradiancia media (mW/m ²)	Irradiancia máxima (mW/m ²)	Período
Palmer NSF	64°46'S	1700	3200	Sep. - Dic. 1993
Base Frei DMCh	62°25'S	338	719	Sep. - Dic. 1993
Pudahuel DMCh	32°23'S	535	740	Sep. - Dic. 1993
Sydney Australia	33°05'S	4390	—	Sep. - Dic. 1993

MATERIALES Y METODOS

Las mediciones de radiación UV se realizaron diariamente en la Base Risopatrón, isla Robert, islas Shetland del Sur (62° 22' 55" S. y 59° 39' 50" O.) en enero de 1996. Se empleó un espectrorradiómetro UVX de banda UV-A y UV-B y un actinómetro químico sensible al espectro UV total. El espectrorradiómetro posee un sensor para la zona UV-A (320-380 nm) centrado en 365 nm y otro para la zona UV-B (270-350 nm) centrado en 310 nm. Los sensores se expusieron en dirección perpendicular al sol. Determinaciones realizadas en San Antonio (33° 36' S.) Chile, a nivel del mar, mostraron ser equivalentes con registros radiométricos realizados a una latitud similar en Sydney, Australia (33° 30' S.) (Moore and Zhou, 1994), para la misma estación del año: 2.09 y 1.90 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, respectivamente.

El actinómetro utilizado fue una solución metanólica de o-nitrobenzaldehído (ONB) 0,25 mM. Las soluciones en celdas de cuarzo se expusieron a la luz por períodos de 30 a 120 s. Los espectros de absorción de ONB y del ácido o-nitrosobenzoico (ONBA) se registraron en un espectrofotómetro Shimadzu UV 150-2. El rendimiento cuántico (O) del proceso fotoquímico de conversión de ONB a ONBA es de 0,5 en toda la región UV (Leighton y Lucy, 1934).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 3 presenta los registros de las mediciones de radiación UV obtenidos en un día despejado (14.01.96) en donde la irradiancia máxima se produjo entre las 13:00 y 14:00 hrs.

Cuadro 3

Mediciones de radiación UV en el curso de un día (14.01.96). Base Risopatrón, isla Robert.
Métodos espectrorradiométrico y actinométrico.

Hora (W/m ²)	Espectrorradiométrico $\mu(\text{mol}/\text{m}^2\text{s})$		Actinométrico		
11:00	24.0	31.1	12:00	24.8	32.2
13:00	28.0	34.6	14:00	26.0	32.5
18:30	14.0	16.9	19:30	8.0	12.0

El coeficiente de correlación para los valores obtenidos por los métodos radiométrico y actinométrico fue $r = 0,9936$.

En el Cuadro 4 se presentan los registros de los valores máximos diarios de radiación UV correspondientes solamente a los días despejados durante el mes de enero de 1996.

Cuadro 4

Valores máximos de radiación UV diarios en el mes de enero 1996, determinados por los métodos espectrorradiométrico y actinométrico, en Base Risopatrón, isla Robert.

Día	Hora	Actinométrico UV($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$)	Radiométrico	
			UV-A (W/m^2)	UV-B* (mW/m^2)
11	12:00	31.8	2.80	2380
13	11:30	—	2.61	2240
13	12:00	—	2.85	2520
14	13:00	34.6	2.60	2300
21	12:00	32.6	2.50	2130
22	13:00	34.4	2.58	2160
24	14:00	31.7	2.46	2100
26	13:00	34.7	2.50	2160
30	13:00	31.7	2.47	2090

(*) Datos normalizados con radiómetro VLX-3W Cole Parmer. Mediante un ajuste proporcional de tipo trapezoidal, se normalizó el área total de la lectura UV-B al rango 308-312 nm, zona de mayor eficiencia del sensor.

Finalmente, hemos realizado una comparación de la intensidad del flujo fotónico determinado en la Base Risopatrón con sitios de otras latitudes nacionales en una escala de cobertura regional, que resulta ser perfectamente congruente con el gradiente de intensidad esperado. Así se observa en el Cuadro 5 que la radiación UV registrada espectrorradiométricamente en la estación McMurdo (NSF), equivalente al rango de 21 a 26 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$, sigue una tendencia creciente que se desplaza de nuestra posición de observación hacia el trópico, hasta alcanzar un rango de 56 a 70 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$ en San Antonio, Chile.

Cuadro 5

Rango de intensidad de flujo fotónico solar ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$) determinado por el método actinométrico en días despejados.

Lugar	Latitud	Fecha	UV (A+B)
San Antonio (V Región)	33° 36' S	Octubre 1991	56-70
Villarrica (IX Región)	39° 15' S	Septiembre 1995	44-60
Base Risopatrón (Antártica)	62° 23' S	Enero 1996	30-35
McMurdo (Antártica)	77° 51' S	Octubre 1989	21-26 (*)

(*) Booth *et al.*, Programa [NSF (1991)].

De ahí que la fidelidad de las determinaciones actinométricas las hacen ser un método insustituible en el interés de medir con exactitud o establecer el orden de magnitud propio de las radiaciones incidentes en un lugar dado. A su vez permiten calibrar secuencias de mediciones espectrorradiométricas, particularmente para la puesta en marcha de espectrorradiómetros de terreno o portátiles, estos últimos indudablemente de mayor ventaja en la velocidad con que se detectan las irradiancias solares.

La precisión en las mediciones de radiación UV es vulnerable a causa de problemas en la calibración de los instrumentos, errores en la longitud de onda, etc. Es por ello que las comparaciones sobre niveles de radiación en diferentes lugares y aún en un mismo sitio, pero con distintos instrumentos, a menudo están sujetos a error. La calibración de los instrumentos es una condición fundamental. Prueba de ello es que mediciones de radiación UV-B realizadas en Sidney, Australia (33° 05' S.) (Moore and Zhou, 1994) y San Antonio (33° 36' S.) Chile, fueron de 0,209 mW/cm² y 0,19 mW/cm², respectivamente, para la misma estación del año. La coincidencia en las mediciones da validez al método actinométrico empleado.

Los resultados informados en este trabajo con los métodos actinométrico y radiométrico, si bien no son comparables entre sí, demuestran una buena correlación ($r = 0.9936$) que asegura la confiabilidad en las mediciones.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la revisión del manuscrito hecha por los especialistas consultados y al Instituto Antártico Chileno por el financiamiento del Proyecto 003 INACH.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BOJKOV, R., 1995. La cambiante capa de ozono. Organización Meteorológica Mundial y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- BOOTH, C.R., T. LUCAS, T. MESTECHJINA, J.R. TUSSON, D.A. NEUSCHULER and J.H. MORROW, 1995. "NSF Polar Programs UV Spectroradiometer Network 1993-1994 Operations Report", p.41.
- BOOTH, C.R., T. LUCAS, J. YEH and D. NEUSCHULER, 1991. Antarctic UV spectroradiometer monitoring program. Biospherical Inst. Tech. Ref. 90-2b.
- FERNANDEZ, E., W. QUILHOT, I. GONZALEZ, M.E. HIDALGO, X. MOLINA and I. MENESES, 1996. Photoprotector capacity of lichen metabolites against UV-B radiation. *Cosmetic & Toiletries* 111:69-74.
- FREDERICK, J.E., S.B. DIAZ, I. SMOLSKAIA, W. ESPOSITO, T. LUCAS and C.R. BOOTH, 1994. Ultraviolet radiation in the high latitudes of South America. *Photochem. Photobiol.* 60, 356-362.
- HIDALGO, M.E., E. FERNANDEZ, W. QUILHOT and E. LISSI, 1992. Solubilization and photophysical and photochemical behaviour of depsides and depsidones in water and Brij-35 solutions at different pH values. *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* 67: 245-254.

- HIDALGO, M.E., E. FERNANDEZ, W. QUILHOT and E. LISSI, 1994. Antioxidant activity of depsides and depsidones. *Phytochem.* 37: 1585-1587.
- LARMER, B., 1991. Life under the ozone hole. *Newsweek*, Dec. 43.
- LEIGHTON, P.A. and F.A. LUCY, 1934. The photoisomerization of o-nitrobenzaldehyde. I. Photochemical results. *J. Chem. Phys.*, 2: 756-759.
- MARKHAM, K., A. FRANKE, D.R. GIVEN and P. BRONWSEY, 1990. Historical antarctic ozone level trends from herbarium specimen flavonoids. *Bull. Liason Groupe Polyphenols* 15: 230-235.
- MOORE, D. y ZHOU, W., 1994. Photodegradation of sulfamethoxazole: A chemical system capable of monitoring seasonal changes in UVB intensity. *Photochem. Photobiol.* 59(5), 497-502.
- MORALES, R.G.E., G.P. JARA, y S. CABRERA, 1994. Solar ultraviolet radiation measurements by o-nitrobenzaldehyde actinometry. *Limnol. Oceanogr.* 38: 703-705.
- QUILHOT, W., W. PEÑA, E. FLORES, M.E. HIDALGO, E. FERNANDEZ and G. LEIGHTON, 1991. Temporal variation in usnic acid concentration in *Usnea aurantiaco-atra* (Jaq. Bory.) Ser. Cient. INACH 41: 99-106.
- SMITH, R.C., B.B. PREZELIN, K.S. BAKER, R.R. BIDIGARE, N.P. BOUCHER, T. COLEY, D. KARENTZ, S. MAC INTYRE, H.A. MATLICK, D. MENZIES, M. ONDRUSEK, Z. WAN and K.J. WATERS, 1992. Ozone depletion: Ultraviolet radiation and phytoplankton biology in antarctic waters. *Science*, 255: 952-959.