

# Medición y modelización de la irradiancia espectral solar UV incidente sobre Buenos Aires, Argentina. Determinación de irradiancia eritémica.

M. Raponi<sup>1,2</sup>, E. Wolfram<sup>1</sup>, J. Pallotta<sup>1,3</sup>, R. D. Piacentini<sup>4,5</sup>, E. Quel<sup>1</sup>

(1) CEILAP (CITEFA-CONICET), Juan B. de La Salle 4397 - B1603ALO Villa Martelli - Argentina.

(2) Becario UNSAM (3) Becario Observatorio Pierre Auger

(4) IFIR (CONICET - Universidad Nacional de Rosario), Rosario, Argentina

(5) Fac. de Cs. Exactas, Ing. y Agrim., UNRosario, Rosario, Argentina

*mraponi@citefa.gov.ar*

Se presentan mediciones de irradiancia espectral solar UV efectuadas en Villa Martelli, Buenos Aires, utilizando un *espectroradiómetro computarizado*. Los espectros registrados por dicho instrumento, son procesados mediante un software matemático y comparados con resultados obtenidos empleando el algoritmo TUV (Madronich, [www.acd.ucar.edu/TUV](http://www.acd.ucar.edu/TUV)) que soluciona la ecuación de transferencia radiativa atmosférica y permite evaluar las contribuciones relativas de los componentes atmosféricos. Se presentan además intercomparaciones con otros equipos de sensado remoto pasivo, entre ellos, un radiómetro solar GUV 541 y un radiómetro UV-B EKO MS-210D que registra valores de irradiancia eritémica (indicadora del riesgo solar). Todos los equipos mencionados se encuentran ubicados en el CEILAP (34°33' S 58°30' W, 20 m snm) y se complementan para determinar con mayor precisión esta acción biológica, íntimamente relacionada con el riesgo solar.

Measurements of solar UV spectral irradiance made in Villa Martelli, Buenos Aires, using a computerized spectroradiometer, are presented. The spectra registered by this instrument are processed by means of a mathematical software and compared with results obtained employing the algorithm TUV (Madronich, [www.acd.ucar.edu/TUV](http://www.acd.ucar.edu/TUV)) that solves the atmospheric radiative transfer equation and it allows to evaluate the relative contributions of the atmospheric components. Intercomparison with other device of passive remote sensing, among them, a GUV 541 solar radiometer and a UV-B EKO MS-210D radiometer that registers values of erythemal irradiance (indicative of the solar risk) are also presented. All the instruments are located at CEILAP (34°33' S, 58°30' W, 20 m asl) and they complement each other in order to determine with more precision this biological action, intimately related with the solar risk.

## I. INTRODUCCIÓN

Las radiaciones solares ultravioletas son las más energéticas que llegan a nivel de la superficie terrestre por fotón incidente y en consecuencia producen acciones biológicas de importancia sobre materiales y sustancias. La energía de estos fotones (particularmente los UVB) es suficientemente alta como para romper ligaduras de las moléculas que componen ciertas sustancias expuestas a esta radiación. Entre ellas, la de mayor significación es la molécula de ADN - íntimamente relacionada con los seres vivos - que tiene su máximo de acción biológica debida a la radiación solar en el entorno 305-310 nm<sup>(1)</sup>.

A nivel internacional<sup>(2), (3)</sup> se emplea la *acción biológica eritémica* (de enrojecimiento de la piel) como indicadora del riesgo de exposición al Sol, a través del *índice UV*, que se define como la *irradiancia eritémica* (producto de la irradiancia espectral solar por el espectro de acción eritémica presentado por MacKinlay y Diffey<sup>(4)</sup>, y expresado en W/m<sup>2</sup>) multiplicada por el factor 40 m<sup>2</sup>/W, de modo que este índice tome valores que van usualmente entre 0 y 10. Sin embargo, Cede et al.<sup>(5)</sup> han presentado resultados obtenidos en La Quiaca, desierto de Atacama, Argentina, con el *biómetro* (medidor de irradiancia eritémica solar marca YES) de la red de monitoreo UV del Servicio Meteorológico Nacional, que llegan a superar el valor 20 en algunos días de Diciembre-Enero. Estos resultados han sido incorporados en el Informe UNEP preparado por los máximos especialistas mundiales del tema: *Ozono, radiación UVB*

y sus efectos sobre el medio ambiente<sup>(3)</sup>, como ejemplo de riesgo extremo.

## II. IRRADIANCIA ESPECTRAL SOLAR EN BUENOS AIRES

Utilizando un sistema de sensado remoto pasivo denominado espectroradiómetro (ER) perteneciente a la Universidad Nacional de Rosario, se han efectuado en Villa Martelli, Buenos Aires, mediciones de la irradiancia solar UV incidente en superficie. El sistema consiste en un analizador espectral, una cámara CCD con sensibilidad extendida en el UV y un sistema de orientación y seguimiento solar<sup>(6)</sup>. La automatización del equipo y el desarrollo del sistema microcontrolado de posicionamiento espacial de las fibras ópticas, se está llevando a cabo en el CEILAP (CITEFA-CONICET). Actualmente el sistema cuenta con la automatización del barrido espectral y la adquisición controlada por software de los espectros solares.

Los espectros adquiridos son posteriormente comparados con señales provenientes de un radiómetro UV-B EKO MS-210D, que sensa valores de irradiancia eritémica y de un instrumento medidor solar UV de banda angosta, GUV-541 de Biospherical Instruments, San Diego, USA, que sensa en valor absoluto las irradiancias de 305, 313, 320, 340 y 380 nm, con un ancho de banda aproximado de 10 nm, calibrado respecto de un espectroradiómetro de referencia S100.

Para corroborar que los datos obtenidos por nuestro equipo son razonablemente correctos, se compararon

dichos espectros con los generados por el modelo TUV (Tropospheric Ultraviolet and Visible, versión 4.1) de Madronich/NCAR/USA, que soluciona la ecuación de transferencia radiativa atmosférica y permite evaluar las contribuciones relativas de los componentes atmosféricos. En la figura 1 se puede observar un espectro de la irradiancia solar incidente sobre el CEILAP, el 10 de septiembre de 2003 en situación de cielo despejado, y el espectro generado por el modelo. Entre los parámetros introducidos en el algoritmo de cálculo se encuentran el valor de ozono (obtenido del satélite TOMS/NASA, 326 DU), el espesor óptico de aerosoles (AOD 340nm=0.37, fotómetro solar CIMEL - AERONET/NASA) y la reflectividad del suelo en el UV (0.05).

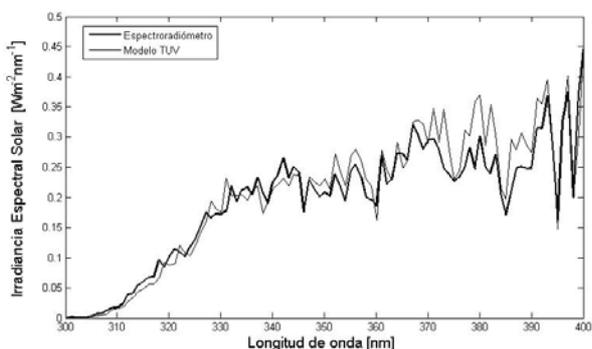


Figura 1: Irradiancia espectral solar UV medida en el CEILAP, Gran Buenos Aires, el 10 de septiembre de 2003, entre las 16:08 y 16:10 horas locales (=UT -3h), en condiciones de cielo claro (línea gruesa) y curva generada por el modelo TUV (línea delgada).

Para adquirir los espectros en la región UV, se seleccionó una de las tres redes de difracción que posee el monocromador en su interior; dicha red posee 600 líneas/mm y un blaze de 300 nm (máxima eficiencia cuántica en la región UV del espectro electromagnético). Para obtener espectros de irradiancia solar en unidades adecuadas, se realizó una primera calibración utilizando los datos directamente generados en la CCD (unidades arbitrarias) y los datos calibrados provenientes del radiómetro GUV 541 ( $\mu\text{Wcm}^{-2}\text{nm}^{-1}$ ).

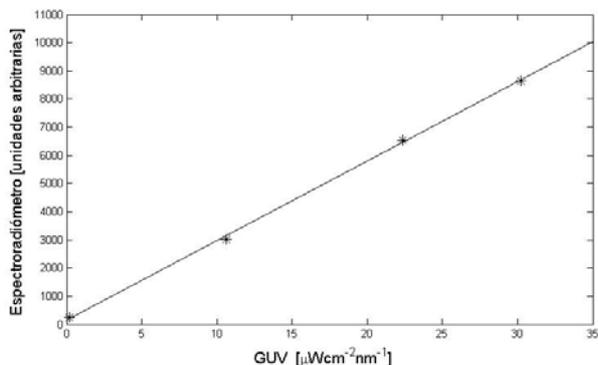


Figura 2: Curva de calibración del ER respecto del radiómetro de banda angosta GUV 541. Los puntos corresponden, desde abajo hacia arriba, a las longitudes de onda 305, 320, 340 y 380 nm. El error medio estimado es del orden del 10 %.

Graficando los valores captados por el ER en función de los obtenidos por el GUV (para las líneas de 305, 320, 340 y 380 nm) se obtiene una curva de calibración como la observada en la figura 2. En la figura 3 se observa la irradiancia espectral solar en la línea de 340 nm sensada por el radiómetro GUV 541, y la curva obtenida por el ER, luego de haber sido calibrado.

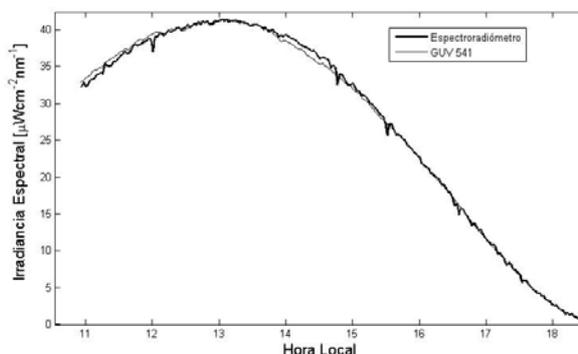


Figura 3: Curva de irradiancia espectral solar proveniente del radiómetro GUV 541 en la línea 340nm (línea delgada) y la generada por el ER, para el día 26 de agosto de 2004, en condiciones de cielo claro entre las 10:56 y las 18:25 hora local (= UT - 3 h).

Una vez captada la señal espectral, se procede a procesar dicha información de manera digital utilizando un software matemático. En la figura 4 se puede observar una representación 3D de la variación de la irradiancia espectral solar UV en función del ángulo zenital solar y la longitud de onda, para el día 26 de agosto de 2004; y en la figura 5 una proyección de esta superficie sobre el plano irradiancia-longitud de onda, para diferentes momentos del día.

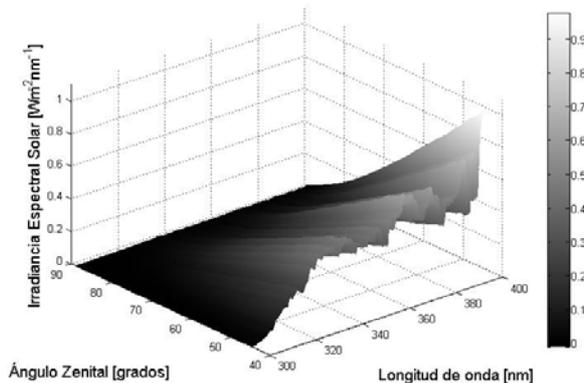


Figura 4: Representación 3D de la irradiancia espectral solar medida en el CEILAP, Gran Buenos Aires, el 26 de agosto de 2004, en condiciones de cielo claro entre las 10:56 y las 18:25 hora local (= UT - 3 h), representadas en función de la longitud de onda y el ángulo zenital solar.

Los espectros muestran las oscilaciones típicas debidas esencialmente a la estructura en la irradiancia espectral extraterrestre (ocasionada por las emisiones y absorciones propias del Sol) y en menor medida al comportamiento fuertemente oscilante de la sección eficaz de fotodisociación del ozono atmosférico terrestre a longitudes de onda del rango UVA (320-400 nm).

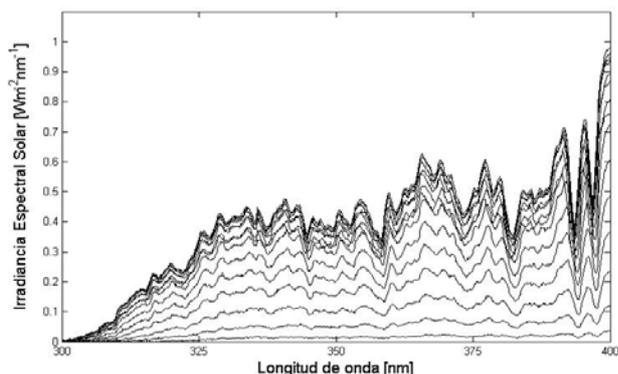


Figura 5: Irradiancia espectral solar UV del mismo día y fecha de la figura 4, pero representadas como una proyección en el plano irradiancia-longitud de onda para diferentes momentos del día, graficadas cada 30 minutos aproximadamente.

La utilización del ER computarizado permite determinar el comportamiento espectral de la radiación solar y las acciones biológicas asociadas (eritema, daño al ADN y a las plantas, etc)<sup>(3)</sup> y deducir la influencia que tienen sobre esta radiación, las nubes, el ozono y los aerosoles en suspensión, así como seguir la evolución diurna de aerosoles naturales contaminantes que pasen por encima del lugar de medición.

### III. IRRADIANCIA ERITÉMICA SOLAR

En la figura 6 se puede observar la curva de irradiancia eritémica solar (línea y círculos negros) obtenida considerando la irradiancia espectral solar determinada con el ER hasta cerca de unos 300 nm (pero algo mayor) y extrapolada con modelización matemática por ser el instrumento monocromador simple y tener el problema, por debajo de la longitud de onda antes indicada, del efecto "stray light" que dificulta las mediciones a valores menores de esta longitud de onda. Luego se multiplica esta irradiancia por la curva de acción eritémica o señal de enrojecimiento de la piel de McKinlay y Diffey<sup>(4)</sup>. También se incluyen la curva obtenida por el biómetro EKO perteneciente a CONAE (línea gruesa) y la generada utilizando el modelo TUV (línea y estrellas).

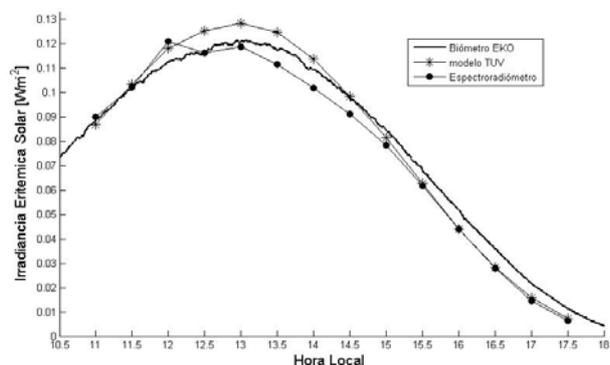


Figura 6: Irradiancia eritémica solar obtenida por el ER el 26 de agosto de 2004, en condiciones de cielo claro entre las 10:56 y las 18:25 hora local (= UT - 3 h). Se incluye como referencia la curva medida el mismo día y en el mismo lugar por el biómetro EKO y la calculada utilizando el modelo TUV.

La disminución que se observa hacia las 12:30 hs en la curva registrada por el espectroradiómetro de la figura anterior, posiblemente es debida a la presencia de alta concentración de aerosoles, la cual fue también detectada por el fotómetro solar de la Red AERONET/NASA (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>) que se encuentra instalado en el CEILAP, muy cerca de nuestro equipo.

La dosis eritémica se obtiene integrando a lo largo del tiempo la irradiancia eritémica solar y el índice UV se calcula multiplicando por el factor  $40 \text{ m}^2/\text{W}$  la curva representada en la figura. El índice máximo observable el día de la medición es de 4.8, que está en razonable acuerdo con el valor para ese día de cielo claro determinado para Buenos Aires en un trabajo anterior por Cede et al<sup>(5)</sup>.

### IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentan señales adquiridas utilizando un sistema de sensado remoto pasivo que se basa en un analizador espectral controlado por una PC. Se puede apreciar la versatilidad del sistema y su importancia como instrumento de sensado pasivo. Este nuevo sistema colaborará en el estudio y caracterización de aerosoles atmosféricos vinculados con la contaminación de origen antropogénico y la medición de radiación solar y sus acciones biológicas relacionadas, que viene llevando a cabo el CEILAP (CITEFA-CONICET) y el IFIR (CONICET -UNRosario) a través de mediciones de radiación solar y de diferentes parámetros atmosféricos.

Los resultados muestran las variaciones típicas del espectro solar en el rango UV que llega a nivel de la superficie terrestre (inferior a 400 nm). Además, aún con un *monocromador de un solo recorrido* y a pesar de la dificultad de medir a bajas longitud de onda, se pueden determinar irradiancias integradas en esta variable de acción biológica eritémica y relacionarlas con el índice UV, indicador del riesgo de exposición al Sol intenso<sup>(5)</sup>.

### AGRADECIMIENTOS

Desearnos agradecer a las instituciones que colaboraron con el aporte de becas (ver detalle al comienzo), a JICA/Embajada de Japón en Argentina y al Programa FOMEC/Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de Argentina. Este trabajo se encuadra dentro del marco del Proyecto ANPCyT PICT 6760 que realizan en forma conjunta investigadores del CEILAP y del IFIR.

### REFERENCIAS

1. Jagger, J. "Solar UV actions on living cells". Editorial Praeger, New York, 1985.
2. WMO, "Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002". WMO Report, 2003.
3. UNEP, "Environmental effects of ozone depletion and its interaction with climate change", UNEP Report, 2003.
4. McKinlay A. F., Diffey B. L. "A reference action spectrum for ultraviolet-induced erythema in human skin". In Human exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and

Regulations. W R Passchler and B F M Bosnjakovic, Editores Elsevier, Amsterdam, 1987.

5. Cede A., Luccini E., Nuñez L., Piacentini R.D. and Blumthaler M, "Monitoring of Erythema Irradiance in the Argentina Ultraviolet Network". J. Geophysical Research, D13 - 2001JD001206, 2002.
6. Raponi M., Wolfram E., Otero L., Pallotta J., Salvador J., Touron A., Gonzalez F., Piacentini R.D., Diodati F., Quel E. "Espectroradiómetro computarizado para estudios de aerosoles y especies contaminantes en la atmósfera". ANALES AFA 2003, vol. 15, 339-342.