

## Medidas de extinción espectral, radiancia de cielo y componentes atmosféricos durante las campañas SPARC 2003 y 2004.

J.L. Gómez-Amo<sup>(1)</sup>, V. Estellés<sup>(1)</sup>, E. Sañudo<sup>(1)</sup>, M. P. Utrillas<sup>(1)</sup>, J. A. Martínez-Lozano<sup>(1)</sup>, J.C. Forted<sup>(2)</sup>, M. Pujadas<sup>(3)</sup>, F. Molero<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Grupo de Radiación Solar de Valencia, C/ Dr. Moliner 50, 46100 Burjassot, Valencia. Maria.P.Utrillas@uv.es

<sup>(2)</sup>Departamento de Termodinámica, Universidad de Valencia C/ Dr. Moliner 50, 46100 Burjassot, Valencia.

<sup>(3)</sup>Contaminación Atmosférica, Departamento de Medio Ambiente, CIEMAT, Edificio 23, Avda. Complutense 22, 28040 Madrid manuel.pujadas@ciemat.es

### Resumen

En este trabajo se describen los resultados obtenidos durante las campañas SPARC (SPECTRA Barrax Campaign) 2003 y 2004, por los grupos de caracterización atmosférica participantes en las mismas. Nos centramos básicamente en la determinación del espesor óptico de aerosoles a partir de medidas de extinción con un Licor 1800 y un Cimel 318NE.

### 1. Introducción

En los veranos de 2003 y 2004, durante el mes de Julio, se llevaron a cabo en Barrax (Albacete), las campañas SPARC (SPECTRA Barrax Campaign) 2003 y 2004 respectivamente [1]. Estas campañas fueron financiadas por la ESA (European Space Agency) y en ellas participaron grupos de las Universidades de Valencia, Castilla-La Mancha, Jaume I de Castellón, Estrasburgo, Nápoles y Utrecht, así como de los siguientes Centros de Investigación: Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), Instituto Nacional de Meteorología (INM), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete (ITAP), Laboratoire pour l'Etude de le Rayonnement Energetique (LURE, Paris), Institute National de la Recherche Agronomique (INRA, Avignon), Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR, Roma) y Alterra (Wageningen).

La mayor parte de las actividades llevadas a cabo en estas campañas estaban relacionadas con la preparación de la finalmente desestimada propuesta SPECTRA de la ESA [2], pero también se diseñaron experiencias para obtener parámetros biofísicos a partir de los datos de MERIS [3]. Otro objetivo de las campañas fué testear y simular distintos procesos

atmosféricos a partir de los datos proporcionados por CHRIS-PROBA [4].

En todos los casos, para poder realizar las oportunas correcciones atmosféricas de las imágenes de satélite, es necesario conocer los componentes atmosféricos presentes, en concreto aerosoles, ozono y vapor de agua. Los Grupos de Radiación Solar (Valencia) y de Contaminación atmosférica (CIEMAT, Madrid) son los responsables de las medidas atmosféricas llevadas a cabo, para este fin, durante estas campañas.

### 2. Medidas experimentales

Para la realización de las medidas experimentales se utilizaron un espectrorradiómetro Licor modelo Li-1800, un fotómetro Cimel modelo CE318-2, y un fotómetro Micotops II.

Las medidas espectrales de irradiancia, global y directa, se han realizado mediante un espectrorradiómetro Li-cor 1800 (Figura 1), que permite un rango de medidas entre 300 y 1100 nm con una resolución de 6 nm aproximadamente. Para las medidas de irradiancia directa en incidencia normal se ha utilizado un tubo limitador de radiancia de 4.7° de abertura de campo de visión.



Figura 1: Espectrorradiómetro Licor 1800.

Martínez-Lozano et al. [5] han analizado recientemente la precisión de este instrumento, encontrando que, en el intervalo visible, es del orden del 5% en medidas de irradiancia global, y del orden del 3% en medidas de irradiancia directa.

El fotómetro Cimel CE318-2 (Figura 2) consiste en un cabezal que alberga la optoelectrónica sensora al cuál se le acopla un tubo colimador doble, para la medida tanto de irradiancia directa como de radiancia de cielo. El cabezal por su parte contiene una rueda de 8 filtros interferenciales que determinan los canales de medida dados por las longitudes de onda nominales de 440, 670, 870, 940 y 1020 nm, con una anchura de banda (FWHM) de 10 nm.



Figura 2: Fotómetro Cimel 318

Por su parte el Microtops II es un fotómetro portátil, que opera en cinco canales, capaz de proporcionar directamente el contenido total de ozono, el vapor de agua y el espesor óptico de aerosoles a 1020 nm en toda la columna atmosférica. Cada uno de estos canales dispone de un colimador con un campo de visión de 2.5° y deflectores para eliminar las reflexiones internas. Además incorporan un filtro interferencial de banda estrecha y un fotodiodo adecuado para cada banda

Las medidas se llevaron a cabo en Barrax (Albacete), en la campaña SPARC-2003 durante los días 12 a 14 de Julio y en la campaña SPARC-2004 del 14 al 18 de Julio. En ambas campañas se midió radiación directa y global con el espectrorradiómetro Licor y radiación directa con el fotómetro Cimel con una frecuencia de 15 minutos. También se midió, con el fotómetro Cimel, la radiancia del cielo cada hora aproximadamente.

En las Figuras 3 y 4 se representan, a modo de ejemplo, las curvas espectrales de irradiancia directa obtenidas con el espectrorradiómetro Licor-1800 a

mediodía solar, en las dos campañas respectivamente.

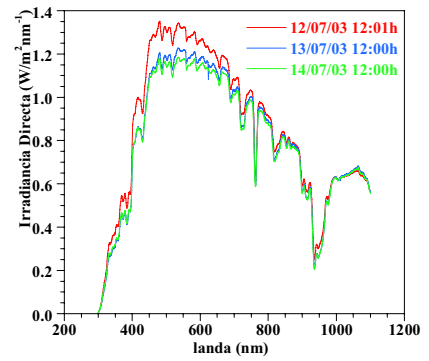


Figura 4: Medidas de irradiancia directa, a mediodía solar, obtenidas con el Licor 1800, durante SPARC 2003.

A su vez, en la Figuras 5 y 6 se han representado, a modo de ejemplo, algunos valores correspondientes a la radiancia de cielo (en el plano almucantar) para todos los canales del Cimel 318, para los días 14 de julio de 2003 (SPARC 2003) y 14 de julio de 2004 (SPARC 2004).

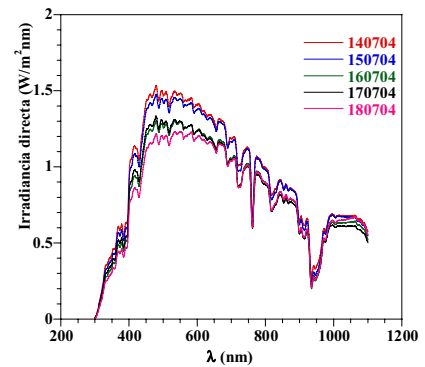


Figura 4: Medidas de irradiancia directa, a mediodía solar, obtenidas con el Licor 1800, durante SPARC 2004.

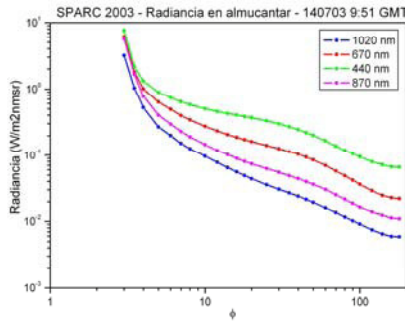


Figura 5: Medidas de radiancia de cielo, en el plano almucantar, para las 09:50 del día 14 de julio de 2003.

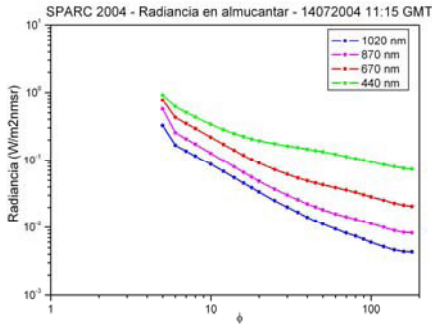


Figura 6: Medidas de radiancia de cielo, en el plano almucantar, para las 11:15 del día 14 de julio de 2004.

### 3. Metodología

El espesor óptico de aerosoles se obtiene a partir de la irradiancia espectral directa, mediante la ley de Bouguer-Lambert-Beer:

$$E_{n\lambda} = (1/\rho^2) E_{0\lambda} \exp(-\tau_{T\lambda} m) \quad (1)$$

donde  $\rho$  es la distancia relativa media Tierra-Sol,  $E_{0\lambda}$  es la irradiancia en el límite de la atmósfera,  $m$  es la masa óptica relativa y  $\tau_{T\lambda}$  es el espesor óptico total para los diferentes procesos atmosféricos.

A partir de  $\tau_{T\lambda}$  se puede obtener el espesor óptico de aerosoles  $\tau_{a\lambda}$  mediante la expresión:

$$\tau_{a\lambda} = \tau_{T\lambda} - \tau_{R\lambda} - \tau_{O\lambda} - \tau_{W\lambda} - \tau_{g\lambda} \quad (2)$$

donde  $\tau_{R\lambda}$  es el espesor óptico debido a la dispersión molecular (Rayleigh),  $\tau_{O\lambda}$  es el espesor óptico debido a la absorción por ozono,  $\tau_{W\lambda}$  es el espesor óptico debido a la absorción por vapor de agua, y  $\tau_{g\lambda}$

es el espesor óptico debido a la absorción por el resto de gases atmosféricos.

Una vez obtenido el espesor óptico de aerosoles ( $\tau_{a\lambda}$ ), su dependencia con la longitud de onda se determina a partir de la ley de Angstrom [6]:

$$\tau_{a\lambda} = \beta \lambda^{-\alpha} \quad (3)$$

siendo  $\lambda$  la longitud de onda en micrómetros y  $m$  la masa óptica relativa. El significado de  $\alpha$  y  $\beta$  así como la forma del ajuste se puede encontrar con mucho más detalle en Martínez-Lozano et al. [7].

### 4. Resultados y discusión

En las Figuras 7 y 8 se ha representado la evolución del espesor óptico de aerosoles para todos los días de medida y todas las longitudes de onda medidas con el fotómetro Cimel, para ambas campañas. En la Figura 9 se presenta la comparación entre los valores del espesor óptico proporcionados por el Cimel y el Licor-1800, durante la campaña SPARC2004. La desviación entre ambas medidas se resume en la Tabla I, donde se ha representado para cada longitud de onda común el valor del error cuadrático medio (RMS), en valores absolutos.

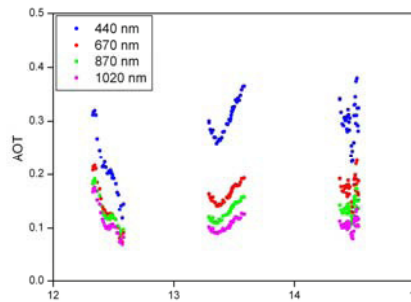


Figura 7: Espesor óptico de aerosoles, para las bandas del Cimel, durante la campaña SPARC2003.

En la Figura 9 observa que el valor del espesor óptico de aerosoles aumenta a partir del tercer día de campaña. Esta variación en el espesor óptico se debe a un cambio en el tipo de aerosoles presentes en la atmósfera. Este cambio se manifiesta en los valores del exponente de Angstrom ( $\alpha$ ), que se ha representado en la Figura 10. Valores altos de  $\alpha$  indican un predominio de aerosoles de pequeño tamaño [8] (primeros días de la campaña), mientras que valores bajos de este parámetro indican la presencia de aerosoles más gruesos (días 16 a 18 de la campaña).

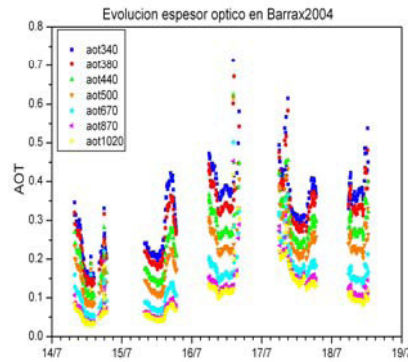


Figura 8: Espesor óptico de aerosoles, para las bandas del Cimel, durante la campaña SPARC2004.

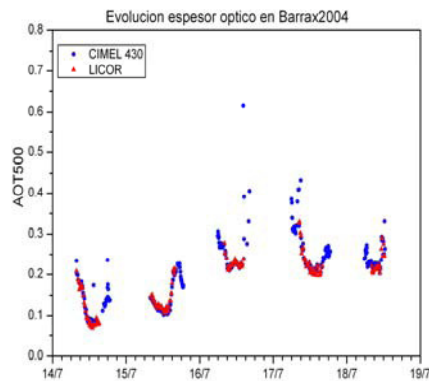


Figura 9: Comparación de los valores del espesor óptico de aerosoles proporcionados por el Cimel y el Licor.

Tabla 1: Comparación de los valores de espesor óptico obtenidos con el Licor y el Cimel

| $\lambda$ (nm) | RSMD  |
|----------------|-------|
| 340            | 0.030 |
| 380            | 0.014 |
| 440            | 0.016 |
| 500            | 0.008 |
| 670            | 0.020 |
| 870            | 0.017 |
| 1020           | 0.050 |

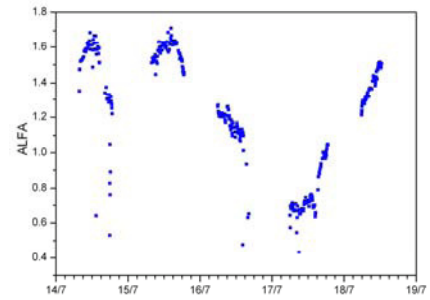


Figura 10: Evolución del coeficiente  $\alpha$  de Angstrom para la campaña SPARC2004.

## 5. Agradecimientos

La campaña SPARC2004 fue financiada por la ESA bajo el contrato 18307/04/NL/FF. Víctor Estellés actualmente disfruta de una beca FPI de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología.

## 6. Referencias

- [1] SPARC Data Acquisition Report. Contract No. 18307/04/NL/FF, ESTEC, Netherlands, 2005.
- [2] European Space Agency (ESA), Reports for assessment, in The Five Candidate Earth Explorer Core Missions: SPECTRA, ESA SP-1257 (5), ESA Publ. Div., ESTEC, Netherlands, 2001.
- [3] <http://envisat.esa.int/instruments/meris/>
- [4] <http://www.chris-proba.org.uk/>
- [5] Martínez-Lozano, J.A. et al., "Intercomparison of spectroradiometers for global and direct solar irradiance in the visible range", *J. Atmos. Ocean Tech.*, 20, 997-1010, 2003.
- [6] Martínez-Lozano J.A., M.P. Utrillas, F. Tena, and V. Cachorro, "The parametrization of the atmospheric aerosol optical depth using the Angstrom power law", *Solar Energy*, 63, 303-311, 1998.
- [7] Angstrom, A., "On the atmospheric transmission of sun radiation and on the dust in the air", *Geogr. Ann.*, 11, 156-166, 1929.
- [8] Pedrós, R., J. A. Martínez-Lozano, M. P. Utrillas, J. L. Gómez-Amo and F. Tena (2003), "Column-integrated aerosol optical properties from ground-based spectroradiometer measurements at Barrax (Spain) during the Digital Airborne Imaging Spectrometer Experiment (DAISEX) campaigns". *J. Geophys. Res.*, 108, doi :10.1029/2002JD003331.