

## OBSERVACIÓN DE AEROSOL DE ORIGEN SAHARIANO SOBRE EL ATLÁNTICO CENTROORIENTAL

J. Pérez Marrero., M.G. Villagarcía y O. Llinás,  
Instituto Canario de Ciencias Marinas. Apdo 56, Taliarte, Telde, 35200, Gran Canaria.  
jpmarrero@iccm.rcanaria.es

### RESUMEN

Tres eventos recientes de aerosoles saharianos se emplean para comparar su influencia sobre las señales de dos sensores de color del océano: MOS y SeaWiFS. Mientras que los valores de reflectancia de aerosoles difieren marcadamente los parámetros de corrección atmosférica poseen una distribución espectral muy similar que se ajusta muy bien a modelos de la forma:  $\epsilon(\lambda, 750) = \exp(-C(750-\lambda))$ , en los que C varía con el contenido de aerosol sahariano, verificándose que la relación  $C_{MOS} / C_{SeaWiFS}$  permanece constante independientemente de la concentración de aerosoles. Esto permite una intercalibración indirecta de ambos sensores que no está afectada por la alta variabilidad característica de este fenómeno.

### ABSTRACT:

Using three recent events of saharan dust, we compared the influence of these aerosols over MOS and SeaWiFS signals. Although aerosol reflectance values differ sharply from one sensor to another, the spectral distributions of the atmospheric correction parameter follow nearly the same pattern given by  $\epsilon(\lambda, 750) = \exp(-C(750-\lambda))$ , where C varies with aerosol loading. It was found that the ratio  $C_{MOS} / C_{SeaWiFS}$  is constant regardless of particle concentration, thus it is possible to achieve a vicarious intercalibration which is not affected by the high variability which is typical of this phenomenon.

**Palabras Clave:** Aerosoles saharianos, MOS, SeaWiFS, corrección atmosférica.

**Keywords:** Saharan aerosols, MOS, SeaWiFS, atmospheric correction.

### INTRODUCCIÓN

En la región noroccidental africana gran parte de la variabilidad en la transmitancia atmosférica se debe a la presencia "cambiante" de aerosoles de origen sahariano, eventos conocidos en la región como Calimas. Las partículas aerotransportadas recogidas sobre el Atlántico poseen generalmente radios entre 0.1 y 0.3  $\mu\text{m}$ . [Junge, 1972] y siguen una distribución de tamaño-concentración de tipo Junge [Prospero, 1997]. Kalu [1977] estableció su origen

en llanuras aluviales de Argelia y Libia. Bajo ciertas condiciones atmosféricas que favorecen su movilización y transporte arriban a las Islas Canarias desde el Sureste [Pérez-Marrero, 1998; Sancho et al., 1996].

Se adopta una aproximación multisensor - SeaWiFS y MOS- apoyada por observaciones de la reflectancia emergente del agua, realizadas en una campaña conjunta entre equipos de DLR e ICCM en aguas de Canarias en los meses de Agosto y Septiembre de 1997. Las características ópticas de los aerosoles saharianos, derivadas a partir de las medidas de cada uno de los sensores y las predichas por modelos de uso generalizado en teledetección, se comparan para tres eventos de Calima recientes (Agosto 1997, Febrero 1998 y Marzo 1998).

### MÉTODO:

Se define un transecto perpendicular a la costa marcado MP en la figura 1, del que se extraen los valores de radiancia del satélite (radiancia en el exterior de la atmósfera  $\rho_s(\lambda)$ ) para cada una de las escenas disponibles. Al mismo tiempo se calculan los parámetros de la visualización ( $\theta$ ,  $\theta_0$ ,  $\phi_r$ ). Con estos datos se calcula la reflectancia debida a los aerosoles usando la ecuación:

$$\rho_s(\lambda) = \rho^A(\lambda) + \rho^R(\lambda) + t \rho^w(\lambda)$$

Donde la reflectancia medida por el sensor se considera la suma de los componentes debidos a la dispersión molecular o de Rayleigh  $\rho^R$ , más la debida a las partículas  $\rho^A$ , o de Mie, junto a la emergente del océano  $\rho^w$  disminuida proporcionalmente al valor de la transmitancia difusa de la atmósfera  $t(\lambda)$ . Se evaluó el valor de  $\rho^A(\lambda)$  con las siguientes consideraciones:

-los valores de  $\rho^w(\lambda) = \pi L_u(\lambda) / E_d(\lambda)$  se midieron usando un espectroradiómetro sumergible HIRES desarrollado por DLR [Zimmermann, 1998] al suroeste de la isla de Gran Canaria en agosto de 1997. Para estas aguas se cumple en el verano la aproximación del pixel oscuro debido a su bajo contenido en pigmentos, sedimentos y materia orgánica.

-Para la transmitancia difusa de la atmósfera se emplea una aproximación simple de la forma:  $t = \exp\{(-0.5 \tau^R + \tau^{0.3}) \sec \theta\}$  [Gordon et al., 1983].

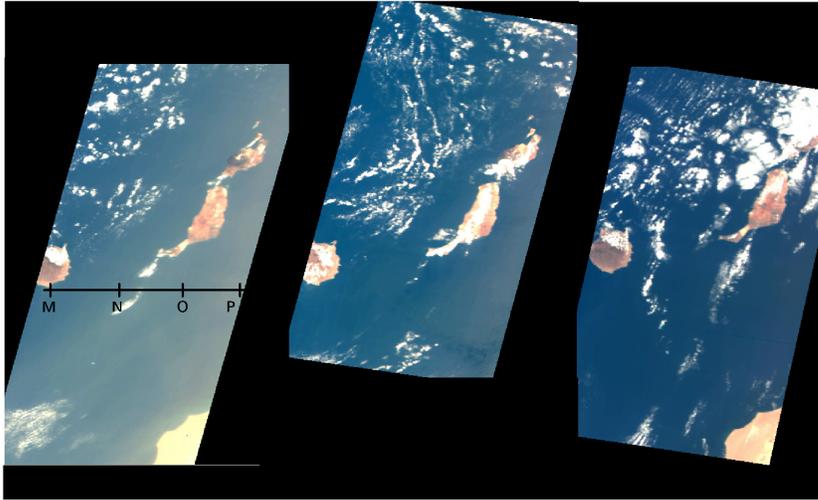
- La reflectancia debida a las moléculas gaseosas se ha calculado a partir de los espesores ópticos  $\tau^i$  y  $\tau^{Oz}$  haciendo uso de las relaciones dadas en Singh [1992].

A partir de los valores obtenidos para la reflectancia debida a los aerosoles se puede evaluar su espesor óptico para cada uno de los sensores admitiendo un modelo de dispersión simple [Gordon y Wang, 1994]., Es decir que la interacción entre los mecanismos de dispersión de Mie y de Rayleigh no

Finalmente se han evaluado para cada uno de los sensores los correspondientes parámetros de corrección atmosférica  $\epsilon(\lambda_i, \lambda_j) = \rho^a(\lambda_i) / \rho^a(\lambda_j)$  y su dependencia con la longitud de onda, a fin de estimar el tipo de ley potencial que mejor describe a los aerosoles saharianos desde el punto de vista de los sensores remotos.

**RESULTADOS:**

**Sensor MOS:**En la figura 1 se muestra una secuencia de imágenes del sensor MOS sobre las



Color Composites of bands 7 (652 nm), 4 (517 nm) and 2 (445 nm) of MOS-B sensor over the Canaries  
 Left: 22 August 1997. Middle 27 August 1997. Right 1 September 1997

se tiene en cuenta:

$$\rho^A = t^A \omega_0 P \Psi / 4 \mu_0 \mu$$

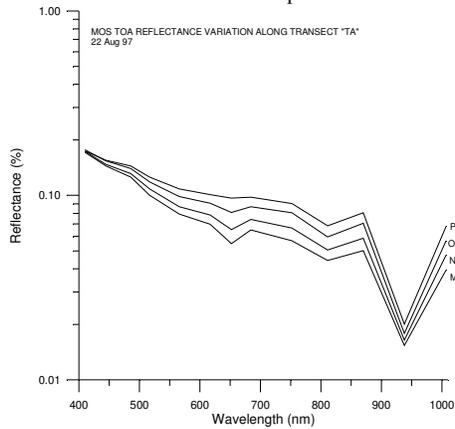
Donde  $\rho^A = \rho^A(\lambda, \omega_0, \theta, \theta_0, \phi, \phi_0)$  es la reflectancia difusa debida a los aerosoles;  $\tau^A(\lambda, \theta)$  es el espesor óptico de los aerosoles;  $\omega_0(\lambda)$  es el albedo de dispersión simple de los aerosoles, que porta la información sobre el tipo de aerosoles.  $P_0 = P(\theta, \theta_0, \phi, \phi_0)$  es la función de fase, la probabilidad de que un fotón dispersado alcance el detector. Por último  $\theta$  y  $\theta_0$  son los ángulos cenitales del satélite y del sol respectivamente y  $\phi, \phi_0$  son los correspondientes ángulos azimutales. La validez de esta relación implica, que a una longitud de onda dada y para una geometría de visualización concreta se verifica una dependencia lineal entre la reflectancia de los aerosoles  $\rho^A$  y su espesor óptico  $\tau^A$ , en la que la pendiente de la recta depende de las propiedades ópticas del tipo de aerosol en cuestión dado por  $\omega_0$  que se ha fijado arbitrariamente.

Canarias orientales durante la campaña de validación del sensor MOS efectuada al sur de Gran Canaria en agosto y septiembre de 1997, para la que se dispone de medidas in situ de  $\rho_w$ . Se aprecia claramente en la primera imagen de la secuencia un patrón de turbidez paralelo a la costa aficana, con un gradiente de albedo perpendicular a la misma (paralelo al transecto MP), patrón que se desvanece a lo largo de la secuencia de imágenes. La reflectancias medidas en el exterior de la atmósfera en algunos puntos de la línea MP se presentan en la figura 2.

De la figura 2 observamos claramente que el efecto de los aerosoles sobre  $\rho_s$  aumenta con la longitud de onda. Destaca el comportamiento del canal 7 (654.3 nm) de este sensor que se muestra muy sensible al contenido de aerosoles: así en situación de baja concentración de aerosoles se puede apreciar un

mínimo relativo en  $\rho_s(\lambda)$  que va desapareciendo a medida que la carga de aerosoles aumenta. Este efecto es mucho mas evidente en la distribución espectral de reflectancia en el punto M (ver figura 1) a lo largo de la secuencia de escenas.

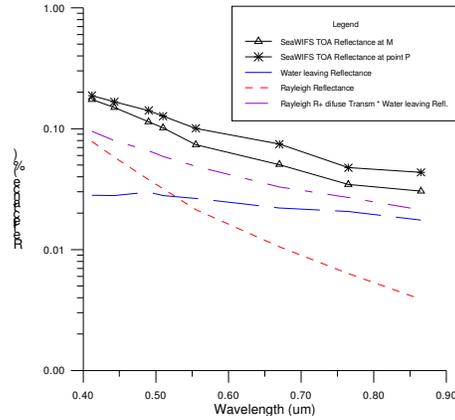
El 11 de febrero de 1998 tuvo lugar el desarrollo inicial de un evento de Calima de grandes dimensiones, en este caso la nube de polvo posee la forma de una lengua que se propaga desde Cabo Yubi hasta alcanzando las Islas de Fuerteventura y Lanzarote desde el sureste. Al observar escenas sucesivas de otros sensores se comprueba la gran velocidad de desarrollo de este tipo de eventos.



**Figura 2: Reflectancia en el exterior de la atmósfera medida por el MOS sobre el transecto MP en la imagen del 22 de Agosto de 1997.**

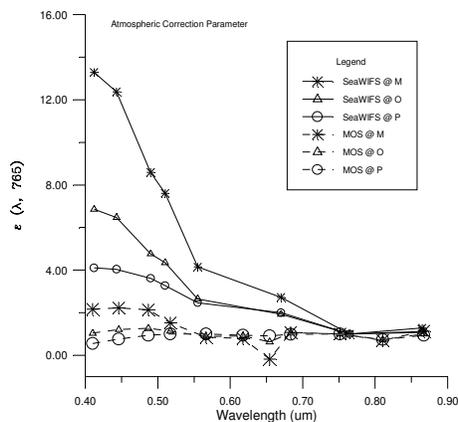
**Sensor SeaWIFS:** No existe cobertura de este sensor para el 11 de Febrero de 1998 sobre esta zona. (El 10/2 no son apreciables los aerosoles, mientras que el día 12/2 su máximo desarrollo impide su caracterización por saturación de los detectores).

Para la comparación se ha recurrido por tanto a otra imagen, como es la del caso del 20 de Marzo de 1998 en la que se da una situación muy similar a la descrita en febrero del mismo año. Aunque la distancia temporal entre ambas escenas introduce cierto grado de incertidumbre, hay que decir que ésta no se puede evitar; incluso utilizando imágenes del mismo día debido a la gran variabilidad espacio temporal que poseen estos fenómenos.



**Figura 3: Componentes de la reflectancia atmosférica, sobre el transecto MP para la imagen SeaWIFS del 20 de Marzo de 1998.**

En la figura 3 se presentan las distintas componentes de la radiación medida por el seawifs a través de la lengua de polvo Sahariano correspondiente al 20 de Marzo de 1998. En este caso mantenemos el transecto dada la similitud de la lengua de aerosoles con la descrita anteriormente. La reflectancia de aerosoles derivada de cada uno de los sensores presenta marcadas diferencias a longitudes de onda larga mientras que en el azul los valores son bastante similares. En términos relativos el aumento en reflectancia de aerosoles a través de las plumas siguen el mismo patron espacial, sin embargo en valor absoluto hay diferencias sensibles. Así en la lengua descrita para el MOS  $\Delta\rho^a$  es del orden de 0.04 unidades (con un valor máximo de 0.05 para el canal 7) frente a valores próximos a 0.01 en el caso del SeaWIFS.



**Figura 4: Distribución espectral del parámetro de corrección atmosférica  $\epsilon(\lambda, 750)$  a través de dos lenguas de polvo sahariano; para los eventos del 11 de Febrero (MOS) y 20 de Marzo (SeaWIFS) de 1998.**

#### DISCUSION:

Las diferencias se deben básicamente a problemas de calibración radiométrica entre los detectores [Wang y Franz, 1998]. Dada la gran variabilidad de los eventos de aerosol sahariano, no es aconsejable la calibración indirecta que algunos autores proponen [Sturm, 1998], por lo que se ha preferido el uso de parámetros relativos.

El parámetro de corrección atmosférica  $\epsilon(\lambda, 750)$  definido como el cociente  $\rho^a(\lambda) / \rho^a(750 \text{ nm})$ . Su valor para cada uno de los sensores se representa en la figura 6. Esta magnitud, que es inversamente proporcional al espesor óptico de los aerosoles, dista mucho de ser espacialmente homogénea y presenta una dependencia de  $\lambda$  más acentuada que la que se encuentra utilizando simulaciones para diversos tipos de aerosol [Gordon y Wang, 1994].

Finalmente se verificó el grado de ajuste entre las observaciones experimentales y las teóricas para la distribución espectral de  $\epsilon(\lambda, 750)$ : El ajuste por mínimos cuadrados con respecto a la ley de Armstrong:  $\epsilon(\lambda, 750) = (\lambda/750)^n$ , arroja valores de  $r^2$  superiores a 0.9 para SeaWIFS mientras que para MOS, son ligeramente inferiores, en especial para concentraciones altas de aerosol.

Wang y Gordon [1994] han propuesto un modelo de la forma  $\epsilon(\lambda, 750) = \exp(-c(750-\lambda))$ . El

comportamiento de las observaciones se ajusta más a este modelo, así para SeaWIFS se obtienen valores de  $r^2 > 0.93$  y para MOS está en todos los casos por encima de 0.9. El valor del coeficiente  $c$ , se encuentra que varía con la concentración de los aerosoles y es diferente para cada sensor si bien la proporción entre ambos es constante:  $c_{\text{mos}} / c_{\text{seawifs}} = 1.63 \pm 0.03$ .

#### CONCLUSIONES:

La comparación de los efectos de los aerosoles saharianos sobre las señales de los sensores MOS y SeaWIFS muestran la diferente sensibilidad de ambos sensores al contenido atmosférico de aerosoles. Se ha detectado en la banda 7 del sensor MOS un comportamiento particularmente sensible al contenido atmosférico de polvo sahariano. En esta longitud de onda, ausente en el sensor SeaWIFS, existe una banda de absorción de vapor de agua, por lo que el aumento de la reflectancia detectado puede estar relacionado con la disminución del contenido de este constituyente atmosférico durante los eventos de Calima.

Debido a la gran variabilidad espacio temporal que exhibe el fenómeno estudiado, las calibraciones indirectas que se basan en el ajuste de los valores de radiancia de canales equivalentes para imágenes coincidentes no puede considerarse adecuado. Como alternativa se plantea un ajuste de los parámetros de corrección atmosférica de cada sensor que resulta independiente del momento de adquisición de las escenas.

#### REFERENCIAS

- Cachorro, V., Durán, P., de Frutos, M., Hernández, S., Betegón, M., 1997. Determinación de los parámetros de entrada para los algoritmos de corrección atmosférica en el rango de longitudes de onda 300-2500 nm. En Teledetección aplicada a la gestión de los recursos naturales y el medio ambiente marino. Editores Hernández Sande C y Arias Rodríguez, J. Santiago de Compostela, 1997
- Gordon, H. R. Clark D. K. Brown J. W. Brown O. B. Evans R. H. Broenkow W. W. 1983. Phytoplankton pigment concentrations in the Middle Atlantic Bight: comparison between ship determinations and Coastal Zone Color Scanner estimates. Applied Optics. vol 22, pp 20-36
- Gordon, H. R. and Wang, M. 1994. Retrieval of water-leaving radiance and aerosol optical thickness over the oceans with SeaWIFS: A preliminary Algorithm. Applied Optics. Vol 33. Pp: 443-452
- Griggs, M. 1975. Measurements of atmospheric aerosol optical thickness over water using ERTS-1 data. Journal of the Air Pollution Control Association, vol 25, n°6, pp 622-626
- Griggs, M. 1983. Satellite measurements of tropospheric

aerosols. *Advances in Space Research*. vol 2,nº5. pp 109-118

Junge, C. E.1972 Our knowlwdge of the Physico-Chemistry of aerosols in the undisturbed marine environment. *Journal of Geophysical Research*, vol 77,nº27

Kalu, A. E. 1977 The african dust plume: Its characteristics and propagation across West Africa in winter. en *Saharan Dust. Mobilization, transport, deposition*. SCOPE,14. C.Morales Editor

Pérez Marrero, J. 1998 Aplicación de la radiometría infrarroja a las observaciones oceanográficas en el Atlantico Centro-Oriental. Tesis Doctoral. Departamento de Física.. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 198 págs.

Prospero, J. M. Savoie D. L. Carlson T. N. Nees R. T. 1977 Monitoring saharan dust transport by means of atmospheric turbidity measurements en *Saharan Dust. Mobilization, transport, deposition*. SCOPE,14. C.Morales Editor

Rao, C. R. N. Stowe L. L. McClain E. P.1989 Remote sensing of aerosols over the oceans using AVHRR data. Theory , practice and applications. *International Journal of Remote Sensing*, vol 10, nº 4,5, pp 743-749

Sancho, P. de la Cruz J. Díaz A Martín F. Hernández E. Valero F. Albarrán B.1992 A five year climatology of back trajectories from the Izaña baseline station, Tenerife, Canary Islands. *Atmospheric Environment*, vol 26A, nº 6, pp 1081-1096

Stowe, L. L.1991 Cloud and aerosol products at NOAA/NESDIS. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology (Global and Planetary Change Section)*, nº 90, pp 25-32

Sturm, B.1998 A simple atmospheric correction algorithm applied to contemporaneously taken SeaWIFS and MOS data.. 2nd International workshop on MOS-IRS and Ocean Colour, Berlin. Institute of Space Sensor Technology, DLR

Wang, M. Franz B. A.1998 A vicarious intercalibration method between MOS and SeaWIFS. 2nd International workshop on MOS-IRS and Ocean Colour,Berlin Institute of Space Sensor Technology, DLR

Wang, M. Gordon H. R.1994 A simple, moderately accurate atmospheric correction algorithm for seawifs. *Remote Sensing of Environment*. vol 50, pp: 231-239

Zimmermann, G. 1998 MOS- IRS ground truth program. Instruments, campaigns and results. 2nd International workshop on MOS-IRS and Ocean Colour, Berlin. Institute of Space Sensor Technology, DLR