

Climatología por satélite de los aerosoles saharianos y del fitoplacton en el atlántico macaronésico

J. Pérez-Marrero, L. Maroto y O. Llinás
jpmarrero@iccm.rcanaria.es

Instituto Canario de Ciencias Marinas. Apdo. 56, 35200, Telde, Gran Canaria

RESUMEN

Se estudian comparativamente las climatologías obtenidas desde satélite del contenido atmosférico de aerosoles Saharianos y del contenido en fitoplacton de la capa superficial. Los archipiélagos macaronésicos se sitúan en 4 puntos muy representativos del Atlántico Subtropical Oriental.

Se encuentra periodicidad anual, es la característica principal de la variabilidad en ambos parámetros en las fronteras norte y sur del giro subtropical, Azores y Cabo Verde, y en general de la distribución de fitoplacton en toda el área, no obstante las tormentas de polvo sahariano en la zona central, Canarias y Madeira, siguen patrones climatológicos más complejos.

PALABRAS CLAVE: Teledetección, Clorofila, Aerosoles, Climatología, Atlántico Centro-Oriental.

ABSTRACT

Satellite derived aerosol optical thickness and chlorophyll concentration climatologies are compared to look for possible connections. Their variability in the Macaronesian archipelagos are studied, these are located in 4 points representative of the Subtropical Eastern Atlantic.

KEY WORDS: Remote Sensing Chlorophyll, Aerosols, Climatology, Central Eastern Atlantic.

INTRODUCCIÓN

La entrada al medio marino de partículas minerales de origen Sahariano, que viajan como aerosoles atmosféricos, constituye un aporte notable de ciertas especies químicas como silicatos, nitratos, fosfatos y metales como Fe y Al que interesan a la productividad primaria del océano. Éstas sustancias pueden influir sobre el crecimiento de las células de fitoplancton aumentando la velocidad de la fotosíntesis y con ello la producción de Oxígeno y el secuestro de CO₂ atmosférico por parte del Océano.

Cuando se dan fuertes convecciones, a menudo de origen térmico, sobre ciertas llanuras aluviales del interior del Sahara, se produce la movilización de partículas de suelo que pueden alcanzar varios Km. de altura. Cerca de las fuentes, los aerosoles abarcan varios órdenes de magnitud en tamaños, si bien las partículas pesadas se depositan a poca distancia. El transporte de las fracciones ligeras del aerosol hasta el océano se produce en una capa atmosférica estable, denominada capa de aire saha-

riano, centrada a una altura dinámica de unos 800 mb (Kalu, 1979), que puede desplazarse varios miles de Km., cruzando en muchas ocasiones toda la cuenca atlántica, detectándose su presencia en numerosas ocasiones en el Caribe. Durante su trayecto los episodios de inestabilidad atmosférica dan lugar a deposiciones de las partículas sobre el medio marino, tanto por vía seca como por vía húmeda acompañando a las precipitaciones. Una vez en el medio oceánico la incorporación al ciclo biológico del fitoplancton va a depender de que la forma química final de las distintas especies, sea la adecuada para su adsorción por éstos organismos unicelulares.

TELEDETECCIÓN

Tanto la abundancia de fitoplancton en el océano, a través de la clorofila, como la presencia de aerosoles en la atmósfera quedan bien reflejadas en la señal de los radiómetros pasivos satelitales, tales

como el AVHRR y el SeaWIFS. Además la cobertura espacio-temporal ofrecida por estos sistemas la hacen única para el estudio a gran escala de ambos fenómenos.

Sobre superficies oscuras como el océano, Se puede determinar la fracción de energía electromagnética que es retrodispersada por las partículas de aerosol en la dirección del sensor. Los cálculos de los parámetros ópticos del aerosol se basan en el hecho de que en el IR cercano, las aguas oceánicas con bajo contenido de partículas, no contribuyen a la radiancia detectada por los sensores en ventanas espectrales del tipo de 670 u 870 nm (Gordon y Wang, 1994). Si se asume un determinado comportamiento geométrico de la retrodispersión (función de fase) y unas características propias de las partículas (albedo, índice de refracción y distribución estadística de los tamaños de partículas) puede obtenerse, entre otros parámetros, el índice de extinción o el espesor óptico de los aerosoles (AOT). Que a menudo se ha correlacionado satisfactoriamente con la concentración y o la masa de partículas en la atmósfera, (Pérez-Marrero et al, 2001).

Una vez conocida la contribución de los aerosoles a la reflectancia total exoatmosférica en el IR próximo, se puede estimar su efecto sobre la señal

en los canales visibles asumiendo que se conoce el comportamiento espectral de estas partículas frente a la dispersión, (exponente de Angstrom), y que se puede parametrizar la relación entre las dispersiones elástica e inelástica. Sustrayendo la contribución atmosférica de la reflectancia en los canales azul y verde del sensor SeaWIFS, se determina la radiancia que emerge del agua de mar en longitudes de onda tales como 412, 430 y 550 nm que se utilizan para inferir de modo general la concentración de clorofila 'a' en el medio oceánico. Aunque la precisión de este algoritmo es limitada a nivel local (Pérez-Marrero et al 2002), su significancia a escala regional es notable.

Los datos utilizados en este estudio proceden del análisis semanal ofrecido por NOAA-NCEP a partir de los datos de los distintos sensores AVHRR a nivel global. Ofreciendo como producto operativo un índice AOT promediando semanalmente con una resolución espacial de 100 Km (Stowe et al, 1997). De este archivo de NOAA se usan los datos correspondientes al Atlántico Central para el periodo comprendido entre los años 1999 y 2002 incluidos.

De los archivos SeaWIFS de NASA GSFC se ha obtenido un conjunto de datos de clorofila 'a' promediados cada 8 días, correspondientes al Atlántico centro-oriental entre los años 1999 y 2002.

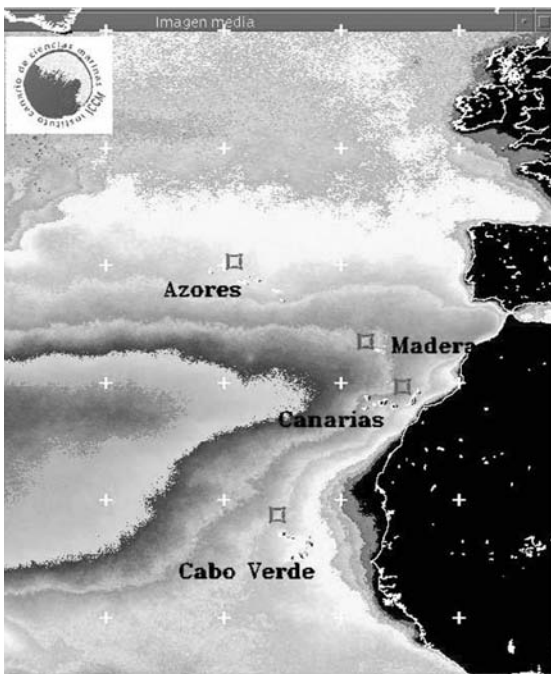


Figura 1. Posición de las zonas de especial interés junto a los archipiélagos macaronésicos. Sobrepuestos a la distribución promedio de clorofila 'a' para el periodo 1999-2002.

CLIMATOLOGÍA DE LOS AEROSOLEŞ Y EL FITOPLANCTON EN LA REGIÓN MACARONESICA

Los archipiélagos situados en la parte oriental del Atlántico norte subtropical se conocen en conjunto como archipiélagos Macaronésicos. Su disposición geográfica es idónea para el estudio de diversos fenómenos geofísicos relacionados con el continente africano, su régimen de afloramiento costero y los procesos del giro subtropical. Figura 1. Así el archipiélago de Azores está situado en la frontera norte del giro subtropical, y es alcanzada con frecuencia por el frente entre éste y el giro subpolar, es un punto oceánico bastante alejado de la influencia del margen continental. En el extremo suroriental del giro subtropical se encuentra el archipiélago de Cabo Verde donde la influencia continental es máxima, esta zona está influida por las variaciones zonales de la Zona de Convergencia Intertrópic. Entre ambos se encuentran los archipiélagos de Madeira y Canarias, en el margen oriental del giro (corriente de Canarias). En el caso de este último se

situa en la zona de interacción entre éste y el upwelling del noroeste africano

Se ha postulado que, a nivel general, los aportes de aerosoles saharianos en esta área están relacionados con la circulación general atmosférica, y en algunos lugares del Caribe conectados con el índice de oscilación noratlántica o índice NAO (Stegmann y Tindale, 1999). Éste da cuenta de la fuerza relativa de los centros de acción fundamentales que rigen la circulación atmosférica en el Atlántico Norte: El anticiclón de Azores y las bajas presiones de Islandia. Las fases (+) indican refuerzo del dipolo Azores Islandia. Existen varias aproximaciones al índice basadas en las medidas de presión atmosférica a nivel del mar (SLP) o en el análisis EOF de topografías dinámicas.

En la figura 2, se han representado las series temporales extraídas para la posición de la Estación Europea de Series Temporales Oceánicas de Canarias (ESTOC), un punto bien caracterizado desde el punto de vista oceanográfico, situado en 29°15' N, 15°30' W (Linás et al, 1999). Un punto que se viene muestreando mensualmente desde 1996 a la actualidad. El panel superior muestra la anomalía del índice NAO en la versión del NCEP, national centre for climate prediction de NOAA y esta basado en el análisis de componentes principales de la anomalía en la altura dinámica de 500 mb en el hemisferio norte. El índice NAO es la 1ª componente principal rotada resultante del análisis de la anomalía de dicha altura, que explica el 10.2% de la varianza de dicho campo. El panel central muestra la evolución del contenido de clorofila 'a' calculado semanalmente a partir de los datos del sensor SeaWiFS para un área de 0.5°x0.5° centrada en ESTOC. El panel inferior muestra la serie temporal de AOT en el mismo punto para un área equivalente.

De la figura se observa que para este lugar y periodo el carácter estacional en el contenido de fitoplancton es la característica más notable con un máximo anual en los meses de invierno (Enero-Marzo), es evidente también como en Canarias el valor máximo anual de clorofila superficial ha ido descendiendo. Por su parte la serie temporal de aerosol, no presenta este tipo de periodicidad, su carácter pulsante y su gran variabilidad interanual son sus características más destacadas en la región del Norte del archipiélago Canario.

Al comparar las funciones de autocorrelación de cada uno de los cuatro puntos seleccionados (figura 3), se comprueba el fuerte carácter esta-

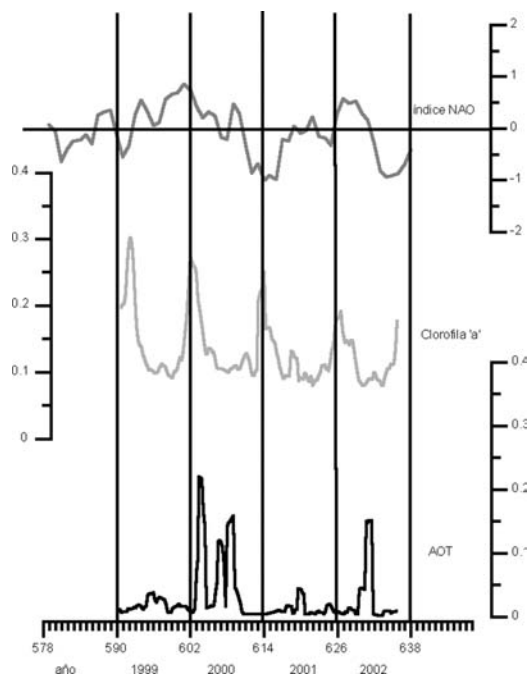


Figura 2. Series temporales de: AOT (abajo) Clorofila (medio) e índice NAO (arriba) en la posición ESTOC entre 1999 y 2002.

cional de la distribución de clorofila en todos ellos, también la distribución de aerosoles en los archipiélagos de Azores y Cabo Verde muestra este comportamiento. Además, un análisis de fase muestra que los ciclos estacionales en los extremos Norte y Sur del área macaronésica están sincronizados en cuanto a la presencia de aerosoles atmosféricos, si bien corresponden a los extremos en valores: máximos en Cabo Verde y mínimos en Azores. Los ciclos anuales de fitoplancton también están en fase entre sí y sus máximos adelantados a los de AOT. Sin embargo en los archipiélagos centrales: Canarias y Madeira este patrón estacional es muy difuso en los aerosoles y sometido a grandes fluctuaciones interanuales.

El bloom anual de fitoplancton tiene lugar en primer lugar en las Islas Canarias hacia febrero, siendo marzo el mes al que corresponden los máximos anuales a la latitud de Madeira. Llama la atención una vez más que los ciclos anuales de clorofila en Azores y en Cabo Verde estén prácticamente en fase, siendo mayo el mes en que se alcanzan los máximos en ambos archipiélagos.

La distribución de frecuencias de los valores de AOT permite establecer unos umbrales para la consideración de evento de aerosol sahariano. En este

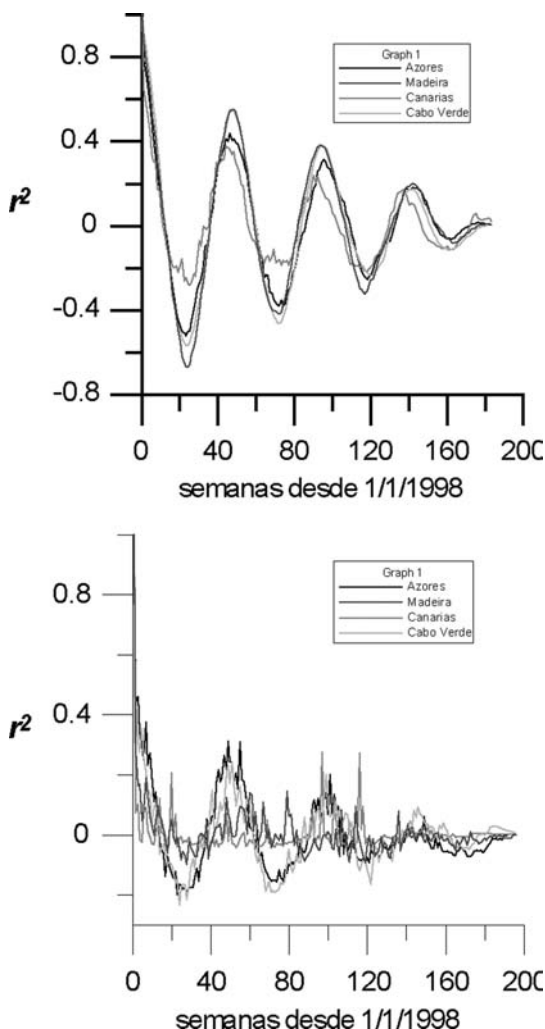


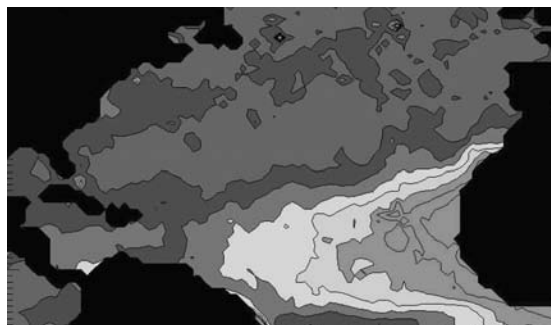
Figura 3. Función de autocorrelación para la clorofila 'a' (arriba) y el índice AOT (abajo) en cada uno de los archipiélagos macaronésicos.

trabajo proponemos definir un evento de polvo sahariano (o tormenta) cuando el valor supera francamente el valor del tercer cuartil (75%) de las situaciones. Tabla 1.

	Min	Max	Med	3 q
Madeira	0.00	0.35	0.09	0.11
Canarias	0.01	0.94	0.14	0.16
C. Verde	0.08	1.11	0.35	0.48

Tabla 1. Estadísticas globales de la distribución de AOT en los archipiélagos macaronésicos (99-02).

Utilizando el criterio anterior, puede decirse que en los casos de Canarias y sobre todo Madeira existe una tendencia de los eventos de polvo a ocurrir durante las fases positivas del índice NAO, en Canarias aproximadamente 2/3 de las situaciones detectadas entre 1999 y 2002 ocurren en estas circunstancias, mientras que las situaciones de tormenta de polvo asociadas a valores apreciablemente negativos del índice NAO son prácticamente inexistentes.



***Figura 4.** Distribución promedio de índice de espesor óptico sobre el Atlántico Norte para el período 1999-2002.

DISCUSIÓN

Se ha encontrado que la variación estacional domina la distribución de fitoplancton en toda el área macaronésica, este ciclo se adelanta en la zona de Canarias con respecto a los otros archipiélagos. También la variación del contenido atmosférico de partículas en los bordes norte y sur del giro subtropical es marcadamente estacional. En el área de Canarias sin embargo, los episodios de polvo sahariano no siguen en absoluto ese patrón estacional, estando con frecuencia asociados a valores positivos del índice NAO.

Si tomamos por ejemplo el punto ESTOC como referencia de la escala local anual (Tabla 2) se observa como el año 2000 ha sido extraordinario en el aporte de aerosoles, llegando a darse los episodios extremos detectados para la zona en marzo de ese año. El coeficiente de aumento del contenido total anual de aerosoles con respecto al año precedente fue del orden de 1.5 veces, mientras que en Cabo Verde, situado en la trayectoria principal de la pluma de aerosoles este aumento fue ligeramente inferior, 1.3. A partir del 2000 se produce una caída notable del

Todas las figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color

índice de AOT en todas las zonas. Por su parte el contenido de clorofila 'a' de las aguas situadas al norte de Canarias disminuyó continuamente, en todo el periodo, especialmente entre 1999 y 2001.

	1999	2000	2001	2002
<AOT>	0.15	0.20	0.13	0.1
AOT	1.73	2.38	1.52	1.25
Chl-a	60.8	50.2	41.3	39.3

Tabla 2. Evolución de los parámetros globales (media y total) anuales en la posición del ESTOC.

A escalas temporales inferiores, la falta de sincronismo entre los ciclos de AOT y clorofila no apunta a un acoplamiento claro entre ambos fenómenos a nivel de la cuenca macaronésica. Ésto puede indicar que el mecanismo por el cual los nutrientes y elementos aportados por las nubes de polvo son incorporados a la materia viva es determinante, por lo que se hace necesario indagar sobre: la deposición seca y húmeda, la cinética de asimilación de estos materiales y la dinámica de la superficie del océano en cada momento.

BIBLIOGRAFÍA

- KALU, A.E. 1979. The African dust plume: its characteristics and propagation across West Africa in winter. In: Morales, C. (Ed.). Saharan dust, mobilization, transport deposition. Willey, New York.
- LLINÁS, O., RODRÍGUEZ DE LEÓN, A., SIEDLER, G. y WEFER, G. 1999. ESTOC data report 95-96. Technical Reports of the Canarian Institute of Marine Sciences nº 7.
- PÉREZ-MARRERO, J., MAROTO, L., GODOY, J., VILLAGARCÍA, M., CIANCA, A., RUEDA, M.J. y LLINÁS, O. 2002. Validación de modelos para la determinación de clorofila 'a' a partir de imágenes SeaWiFS en el Atlántico centro-oriental. *Revista de Teledetección*, 17: 55-60.
- STEGMANN, P.M. y TINDALE, N.W. 1999. Global distribution of aerosols over the open ocean as derived from the coastal zone color scanner. *Global Biogeochemical Cycles*, 13 (2) : 383-397.
- STOWE, L., IGNATOV, A. y SINGH, R. 1997. Development, validation and potential enhancements to the second generation of operational aerosol product at NOAA-NESDIS. *Journal of Geophysical Research* 102 (d14) : 16923-16934.
- WANG, M.H. y GORDON, R. 1994. A simple moderately accurate atmospheric correction algorithm for SeaWiFS. *Remote Sensing of Environment*, 50: 231-239.

NOTICIAS

La revista de Teledetección insertará figuras EN COLOR, acompañando los textos de los artículos seleccionados.

Mediante esta decisión, se vuelve a recuperar uno de los objetivos iniciales de la revista. Parecía una necesidad obvia incluir los resultados gráficos en color para alcanzar mayor calidad de este instrumento de comunicación entre los miembros de la comunidad científica española que trabaja en Teledetección.

Por tanto, desde estas páginas se anima de nuevo a todos aquellos profesionales involucrados en estudios científicos o técnicos de Teledetección a que envíen sus trabajos a la revista, considerando esta nueva posibilidad.

Seguimos trabajando en la mejora de calidad de la revista. Serán bienvenidas todas aquellas sugerencias que permitan alcanzar ese objetivo.