

EL EFECTO DE LOS AEROSOLES EN LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR MEDITERRÁNEO: BASES DE DATOS GHR SST MEDSPIRATION Y PATHFINDER

A. B. Ruescas (*), M. Arbelo (**), J. A. Sobrino (*) y C. Mattar (*).

(*) *Imaging Processing Laboratory, Department de Física, Universidad de Valencia, Valencia, España.*

(**) *Grupo de Observación de la Tierra y la Atmósfera, Dpto de Física F.E.E.S, Universidad. de La Laguna, La Laguna, España.*

RESUMEN

En este trabajo hemos identificado y evaluado los errores en la temperatura superficial del mar (TSM) extraída mediante imágenes de satélite, causados por grandes concentraciones de aerosoles troposféricos absorbentes en el Mar Mediterráneo. Las diferencias entre la TSM derivada del *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) y la TSM *in situ* tomada por boyas se incrementan conforme aumentan las concentraciones de aerosoles. Las diferencias pueden alcanzar los 2° C con altas concentraciones de aerosoles y son mayores durante los meses de verano. Hemos analizado dos bases de datos diferentes que cuentan con medidas coincidentes de TSM satélite y TSM *in situ*: *Pathfinder Matchup Data Base* (PFMDB) y *Medspiration Matchup Data Base* (MMDB). También hemos añadido un índice de aerosoles, el del Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS AI), que se ha hecho coincidir con los datos de la PFMDB para poder comparar el error ocasionado en dos áreas geográficas diferentes, el Atlántico Norte y el Mar Mediterráneo.

ABSTRACT

In this study, we identify and evaluate the errors in satellite sea surface temperature (SST) retrievals caused by large quantities of absorbing atmospheric aerosols in the Mediterranean Sea. Biases between the SST derived from Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) and the *in situ* SST data taken by buoys increase in line with the aerosol concentration. Differences reach 2°C with high aerosol concentrations and those differences are generally higher in summer months. We included aerosol data into two different match-up databases of *in situ* and satellite SST measurements: the Pathfinder Matchup Data Base (PFMDB) and the Medspiration Matchup Data Base (MMDB). We also used an aerosol index, the Total Ozone Mapping Spectrometer aerosol index (TOMS AI), which was matched-up with PFMDB data and included for comparing North Atlantic and Mediterranean processes.

Palabras clave: TSM, aerosoles, Pathfinder, Medspiration, TOMS, Mar Mediterráneo, Atlántico Norte.

INTRODUCCIÓN

Cuando se trata de extraer la temperatura superficial del mar (TSM) mediante imágenes de satélite para el estudio de la dinámica de las capas superiores del océano relacionada con aplicaciones climáticas, es necesario obtener una alta precisión en la medida. Se considera una medida apropiada, hablando en términos globales, cuando el error medio no supera los 0,3° C como requerimiento mínimo, aunque sería deseable que este no llegara a 0,1° C (Walton *et al.*, 1998). En algunas regiones oceánicas, elevadas concentraciones de aerosoles pueden introducir altas desviaciones de las estimaciones de la TSM mediante sensores infrarrojo-térmicos. El polvo mineral que es levantado por las masas de aire en áreas desérticas y que se mantiene suspendido por un tiempo determinado en capas medias de la troposfera puede

llegar a absorber la radiación infrarroja emitida por la tierra y causar este tipo de errores. Las plumas de polvo que se generan en el Norte de África son las más prominentes y persistentes, cubriendo una gran parte de los océanos cuando son desplazadas por el viento, tanto vertical como horizontalmente (Torres *et al.*, 1998).

El objetivo del trabajo consiste en identificar y evaluar los errores en la TSM causados por la absorción de los aerosoles troposféricos a escala regional, en el Mar Mediterráneo (entre 25°-50° N latitud y 15° W-45° E longitud) y la zona tropical del Atlántico Norte (entre 10-30° N latitud y 0-60° W longitud). La identificación de las concentraciones de aerosoles se hace mediante algunos productos que se adjuntan a las bases de datos de medidas coincidentes (*match-ups*) de TSM satélite-TSM *in situ*, la *Pathfinder Matchup Data*

DATOS

El sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) ha sido utilizado con profusión para la extracción de la TSM desde sus inicios en 1981. Sus tres canales en el infrarrojo térmico son los usados en la generación de algoritmos de TSM aplicando una técnica *split-window* ampliamente conocida; el algoritmo no lineal de TSM (*Non-linear SST, NLSST*) resumido en Kilpatrick *et al.*, 2001. Los datos de TSM extraída desde satélite y la TSM *in situ* se han hecho coincidir en las dos bases de datos arriba mencionadas, la PFMDB y la MMDB, en dos periodos de tiempo diferentes separados por una década. La TSM de la MMDB ha sido calculada por la organización *Ocean & Sea Ice Satellite Application Facility*³. Los datos de la PFMDB cubren el periodo que va desde el 4 de septiembre de 1997 al 31 de Diciembre de 1998, mientras que la MMDB incluye datos desde el 1 de enero de 2006 al 31 de diciembre de 2008.

Los productos de aerosoles dependen de la concentración de éstos, de la altitud en la que se encuentren, de sus propiedades ópticas y de los ángulos de visión de los instrumentos con los que se estén midiendo. En este trabajo se han utilizado tres productos derivados de la concentración de aerosoles de tres instrumentos diferentes: el espesor óptico del SeaWiFS (AOT) que se empareja a los datos de la PFMDB (Arbelo *et al.*, 2005), la profundidad óptica del AVHRR (AOD) incluida en la MMDB, y se añade también el resultado del índice de aerosoles derivado del *Total Ozone Mapping Spectrometer* (TOMS AI)⁴ que se hizo coincidir con la PFMDB para comparar el comportamientos de las cuencas Mediterránea y Atlántica (Arbelo *et al.*, 2003). Una diferencia de importancia entre los dos primeros productos (AOT del SeaWiFS y AOD del AVHRR) y el AI del TOMS es que los dos primeros son capaces de detectar concentraciones débiles de aerosoles muy cerca de la superficie, mientras que el último sólo detecta aerosoles absorbentes a partir de un 1 Km. de altura. Este hecho es de gran relevancia ya que la capa de aerosoles desciende en invierno a los 900 mb, es decir, se acerca a la superficie, y también su espesor se ve afectado.

METODOLOGÍA

La metodología seguida ha consistido en calcular la diferencia entre la TSM *in situ* y la TSM por satélite para cada base de datos, extrayendo lo que llamaremos errores de la TSM o residuos. Estos errores se han agrupado en diversos intervalos según el producto de aerosoles utilizado para observar la dependencia que puede darse en cada caso: 7 rangos de AOT en la PFMDB de 0,0 a 0,35, y 15 rangos de AOD en la MMDB de 0,0 a 2,5. Los rangos de AI van de 0,0 a 5,0, siendo 5,0 la más alta concentración de aerosoles. Estos residuos deberían ser positivos ya que la TSM derivada de las boyas *in situ* debe ser más cálida que la TSM satélite. La radiación ascendente absorbida por la capa de aerosoles que no alcanza el sensor hace medir una temperatura más baja de la que realmente habría. Para evitar errores debidos a otras fuentes (contaminación por nubes a nivel sub-píxel, mal funcionamiento de los sensores, etc.), los datos han sido previamente filtrados, restringiéndose a diferencias máximas de entre 0-3° C. Para evitar también los efectos de las termoclinas diurna y estacional se analizaron sólo datos nocturnos.

RESULTADOS

El número total de observaciones en el mar Mediterráneo para cada grupo de datos es de 1.172 para el PFMDB y 21.707 para la MMDB. El gráfico correspondiente a la PFMDB (Figura 1) muestra un comportamiento particular de los residuos, con un máximo de 0,8° C con bajos valores de AOT (<0,05) y un error medio cercano a 0,5° C. Los datos de la MMDB registran valores más altos tanto en los rangos de AOD como en los residuos (Figura 2). Hay una clara relación del aumento del valor de los residuos con el incremento de la concentración de aerosoles, con máximos que alcanzan 1,5° C en los últimos rangos de AOD (1,8-2,0). Para analizar la dinámica estacional estudiamos como se comportan los errores por meses en ambas bases de datos. Los resultados se muestran en las figuras 3 (PFMDB) y 4 (MMDB). La Figura 3 presenta una relación no directa entre los meses de mayores concentraciones de aerosoles con las diferencias máximas de temperatura.

¹ <http://podaac.jpl.nasa.gov/PRODUCTS/p216.html>

² <http://www.medspiratoin.org>

³ <http://www.osi-saf.org/>

⁴ <http://toms.gsfc.nasa.gov/>

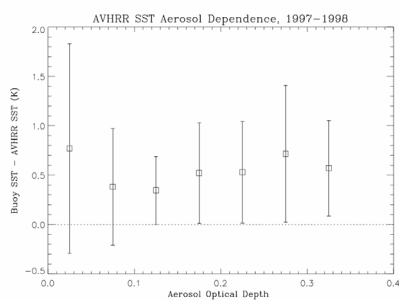


Figura 1. Residuos AVHRR vs. AOT, datos nocturnos PFMDB.

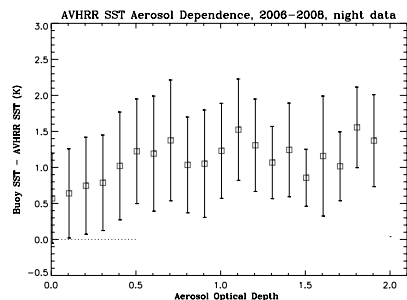


Figura 2. Residuos AVHRR vs. AOD, datos nocturnos MMDB.

A partir de abril de 1998 hay un ligero aumento de los residuos que parece responder a la progresiva entrada masiva de aerosoles. Sin embargo lo destacable es el aumento de residuos en los meses que van de octubre a diciembre de 1998, que no se corresponde en absoluto con la tendencia a la baja de las concentraciones de aerosoles. En diciembre de 1998 el índice de AOT es de 0,06 y la diferencia entre SST *in situ* y SST satélite es de 1,74° C.

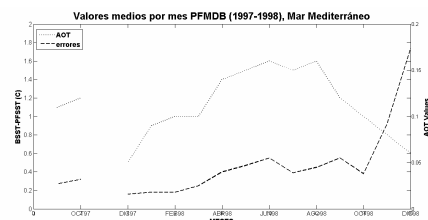


Figura 3. Valores medios por mes, datos nocturnos, Mar Mediterráneo, PFMDB.

En la Figura 4 se observa como hay tres picos en los valores de los residuos en junio 2006 (0,99° C), abril 2007 (1,36° C) y mayo 2008 (1,25° C). Estos picos van a la par del aumento constante de los residuos. Un aumento que parece continuarse

a lo largo de todo el año, y parece tener una clara relación con los incrementos en la concentración de aerosoles: 0,47 en junio 2006, 0,28 en abril 2007 y 0,77 en mayo 2008. Otros dos picos son visibles pero no parecen estar relacionados con los valores de AOD: en julio 2007 toma un valor de 0,93° C con un AOD de sólo 0,18 y en octubre 2008 hay 1,03° C de error con un AOD de 0,11. También sorprenden los bajos valores de los residuos en junio de 2008, especialmente tras los altos valores alcanzados el mes precedente.

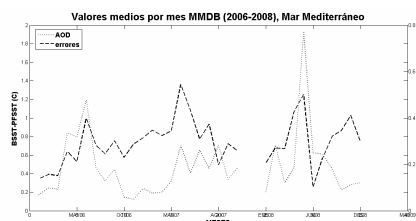


Figura 4. Valores medios por mes, datos nocturnos, Mar Mediterráneo, MMDB.

Si utilizando los datos de la PFMDB, comparamos la dependencia estacional de los residuos entre la región tropical del Atlántico Norte y el Mar Mediterráneo en el periodo 1997-1998 observamos un aumento gradual de los residuos conforme aumenta el AI del TOMS, especialmente en los meses de verano. Los valores del Mediterráneo (Figura 5), con 449 datos, aumentan y descienden casi en un ajuste perfecto, como parece ocurrir en el Atlántico Norte tropical con 291 datos (Figura 6). Sin embargo parece haber de nuevo una excepción en los meses de noviembre y diciembre en el Mar Mediterráneo, cuando los valores del AI se mantienen bajos, 0,08 para noviembre y diciembre, mientras los residuos sobrepasan 1° C en ambos casos (1,09° C en noviembre y 1,29° C en diciembre). Hay que destacar también los valores relativamente altos de los residuos en la cuenca del Atlántico durante el mes de enero, superando también 1° C, aunque los valores de AI son relativamente más altos que en el caso del Mediterráneo (0,43).

DISCUSIÓN

La primera pregunta que habría que hacerse tras el análisis de los resultados es cuál es el proceso atmosférico dominante en el Mar Mediterráneo durante el otoño que provoca una respuesta tan inesperada en la supuesta relación lineal que existe entre las concentraciones de aerosoles troposféricos y los errores en la diferencia de la TSM.

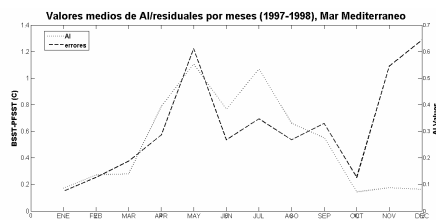


Figura 5. Medias mensuales, Mar Mediterráneo, datos nocturnos, PFMDB.

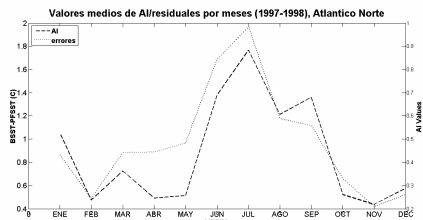


Figura 6. Medias mensuales, Atlántico Norte, datos nocturnos, PFMDB.

La respuesta más plausible, descartando previamente la acción del viento (análisis no mostrado aquí), es la propia temperatura del mar durante el otoño, mucho más cálido que la atmósfera y la tierra que rodea el Mediterráneo. La particular configuración geográfica de esta cuenca semi-cerrada y la alta inercia térmica del mar le permite retener el calor obtenido durante la alta insolación de los meses de verano, ayudado por su elevada capacidad térmica. La diferencia térmica entre el mar y la capa atmosférica inmediatamente superior es especialmente alta durante el otoño y el invierno. Es la causa principal de la mayor parte de las perturbaciones atmosféricas de este periodo y parece ser también responsable de los altos residuos entre la temperatura *in situ* y la TSM tomada por el satélite durante estos meses. Esto se comprueba en parte en la Tabla 1 donde se ha añadido, a los datos tomados por la radiosonda lanzada desde Cagliari (Cerdeña, 39,23° N, 9,05° E) a 5 metros de la superficie, las medidas de temperatura tomadas por una boya y por el satélite entre las coordenadas 37-39° N 7-9° E. Por su parte, el comportamiento de los residuos en junio de 2008 podría responder al efecto de la elevación de las temperaturas en capas altas de la atmósfera debidas a la intrusión de masas de aire cálidas desde bajas latitudes, produciendo un descenso en las diferencias reales entre las medidas de la TSM.

Tabla 1. Temperaturas en °C según niveles de presión atmosférica (radiosonda 16560).

PRESSURE(mbar)	20 Dic 06	22 Dic 06
BSST (-1.5 m)	17.72	16.9
SSST (0 m)	15.6	14.8
1000	11.8	11.2
925	7.2	6
850	2.4	2.6
800	-4.3	-4
700	-6.7	-7.3
650	-10.2	-10.5
550	-12.2	-14.7
500	-18.3	-19.8
400	-22.7	-25.3
350	-33.9	-38.5

Actualmente continuamos investigando otros posibles factores atmosféricos que nos ayuden a explicar mejor el anómalo comportamiento encontrado en los residuos de la TSM en otoño en el Mar Mediterráneo, como el vapor de agua en la atmósfera, la estabilidad atmosférica, etc.

BIBLIOGRAFÍA

- Arbelo, M., Podesta, G. P., Hernandez-Leal, P. A. & Diaz, J. P., 2003, Use of TOMS data to correct the Saharan dust effects on SST retrievals from satellite, *Advances in Space Research*, Vol.32, 2175-2180.
- Arbelo, M., Hernandez-Leal, P., Perez-García, S. & Gonzalez-Calvo, A., 2005, SeaWiFS data to detect AVHRR-derived SST affected by aerosols. *Advances in Space Research*, Vol.36, 783-786.
- Kilpatrick, K., Podesta, G., & Evans, R., 2001, Overview of the NOAA/NASA AVHRR Pathfinder algorithm for SST and associated matchup database, *Journal of Geophysical Research*, vol.106, pp.9179-9197.
- Torres, O., Bartia, P. K., Herman, J. R., Ahmad, Z. & Gleason, J., 1998, Derivation of aerosol properties from satellite measurements of backscattered ultraviolet radiation: theoretical basis, *J.G. R.*, 103, 17099-110.
- Walton, C. C, Pichel, W. G., Sapper, F. J. & May, D. A., 1998, The development and operational application of nonlinear algorithms for the measurement of sea surface temperatures with NOAA polar-orbiting environmental satellites, *JGR*, 103, 127999-28012.

AGRADECIMIENTOS

Gracias al apoyo del MEC de España (CGL2007-66888-C02-01/CLI). También al soporte de la *Generalitat Valenciana* por medio de las becas posdoctorales en centros de excelencia de la CV.