

# Observación radiométrica de la superficie del mar en condiciones de nubosidad persistente

L. Maroto\*, J. Pérez-Marrero\*, O. Llinás\*, M. J. Rueda\*, L. García-Weil\*\*, L. Cardona\* y M. Villagaracía\*  
 lmaroto@iccm.rcanaria.es

\* *Instituto Canario de Ciencias Marinas (ICCM). Dpto. de Oceanografía.  
 Apdo. 56. 35200 Telde. Gran Canaria*

\*\* *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPC). Dpto. de Física.  
 35017 Las Palmas de Gran Canaria*

## RESUMEN

Se presenta un producto de satélite optimizado para estudios de mesoescala, obtenido como una mejora de la imagen media. El producto optimizado como media que es, no ofrece una visión instantánea del medio, pero sin embargo es adecuado para el estudio en mesoescala de áreas marinas sometidas a condiciones de nubosidad persistente, ya que proporciona una visión continuada en el espacio y en el tiempo. Ambas características le confieren una gran utilidad en la observación y seguimiento de las estructuras oceanográficas. El ritmo de la variación en el tiempo para fenómenos marinos es del orden de varios días, por lo que el proceso estadístico no merma de forma significativa ninguna característica física sino que por el contrario aumenta la posibilidad de observarlas ya que es capaz de secuestrar las señales que más se conservan y elimina las que provocan ruido en la información. Se presentan también los resultados de la validación de este producto.

**PALABRAS CLAVE:** TSM (temperatura superficial del mar), imágenes multitemporales, mesoescala.

## ABSTRACT

An optimum satellite product with added value obtained as an improvement of average image is presented. The average optimal product does not provide an instantaneous view of the area; however it is adequate to study at mesoscale level marine areas under cloudy conditions. It gives a continuous vision in time and in space. Both characteristics confer it a great use for observation and monitoring of oceanographic structures. The rate of time variation in the ocean of marine phenomena is in the order of several days so the statistical process does not significantly affect any physical characteristic. On the contrary, it improves the possibility to catch the permanent signal and remove noisy signals. Validation results are also presented for the proposed product.

**KEY WORDS:** SST (sea surface temperatura), multi-temporal imagery, mesoscale.

## INTRODUCCIÓN

El coste económico que supone la realización de campañas oceanográficas y el elevado esfuerzo humano que conlleva la obtención de datos en el medio marino, hace que la teledetección se ofrezca como la única herramienta que proporciona un conjunto substancial de datos para una zona determinada gracias a su gran cobertura espacial y temporal. Sin embargo, y a pesar de su utilidad, para sensores que operan en el rango visible e infrarrojo, como es el caso del AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), la nubosidad se presenta como un problema que puede llegar a dete-

riorar un programa de trabajo ya planteado. Para solventar este problema, es frecuente el uso de imágenes promedio para varios días, como las que están disponibles en la base de datos pathfinder (Vazquez *et al.*, 1998). En el caso de la citada base de datos, se obtienen valores cada 7 días con una resolución aproximada de 9 Km/píxel y aún así, se presentan gran cantidad de huecos debido a la presencia de las nubes.

Para los estudios oceanográficos en mesoescala es importante obtener una información continuada en el tiempo y en el espacio, con una mayor resolución espacial. Para la mejora de la continuidad temporal se propone la utilización de una

media móvil de 6 días por considerarse ésta una medida de tiempo aceptable comparada con el ritmo de variación en el que suceden los fenómenos marinos de mayor interés. La media móvil ofrece una visión dinámica del entorno pero a menudo presenta amplias zonas de la imagen con discontinuidades en la información, que corresponden a medidas contaminadas por efecto de las nubes y los aerosoles. En especial, los bordes de las nubes, y posibles nubes de tamaño inferior a un píxel, producen valores de reflectancia y/o temperatura de brillo que son difíciles de clasificar radiométricamente.

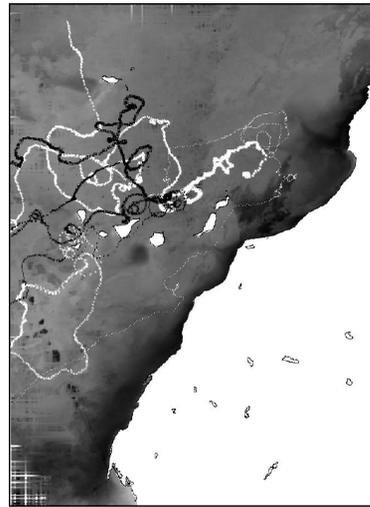
Resulta de interés por tanto trabajar en la mejora de la media para obtener un producto de utilidad para los estudios de oceanografía a mesoescala, es decir, un producto continuo en el tiempo y en el espacio, con resolución espacial suficiente y precisión en las medidas. En este estudio se presenta un procedimiento para obtener este tipo de información junto con la validación de los resultados, comparándolos con un conjunto extenso de medidas *in situ* obtenidas a partir de sensores instalados en boyas de deriva.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Datos

Imágenes de satélite; a partir de 361 pases diurnos del sensor AVHRR a bordo del satélite NOAA-16, que cubren el periodo comprendido entre julio de 2004 y junio de 2005, se han obtenido productos diarios de temperatura superficial del mar (TSM) y espesor óptico de aerosoles (AOT). La TSM como medida oceanográfica de interés en sí, y el AOT como índice cuantitativo de la carga de aerosoles atmosféricos.

El enmascaramiento de nubes y aerosoles fuertes para la TSM, se basa en la intercomparación de los valores de reflectancia en los canales visible e infrarrojo próximo del sensor AVHRR, y en la diferencia entre las temperaturas de brillo de los canales de 11 y 12 micras en relación al parámetro de corrección atmosférica ( $\epsilon = \rho_{067} / \rho_{08}$ ) (Pérez-Marrero *et al.*, 2002; McClain *et al.*, 1985). Sobre los píxeles clasificados como "marinos" se aplica un algoritmo tipo split-window, y se referencian sobre una malla equiangular con una resolución aproximada de 1 milla náutica/píxel.



**Figura 1.** Trayectoria de las boyas lanzadas en el año 2004 (en blanco) y 2005 (en negro) en coincidencia espacio-temporal con el estudio.

El área de estudio corresponde a la ventana 20°N-35° N y 9°W-20° W (Figura 1). Las imágenes diarias sirven de base para la generación de diversos productos multitemporales que se discuten más adelante.

A fin de validar estos productos multitemporales satelitales se han usado datos obtenidos a través de boyas WOCE-TOGA que se lanzan mensualmente en el punto ESTOC (Estación Oceánica Europea localizada en el 29°10N 15°30W). Estas boyas disponen de sensores para medir temperatura superficial del mar (a 1 m de profundidad) y la transmiten vía ARGOS junto con su posición. Del conjunto de éstas boyas se seleccionaron 9 enmarcadas espacio-temporalmente en nuestro entorno de trabajo habitual, cuyas trayectorias están representadas en la Figura 1.

### Metodología

La herramienta utilizada para muestrear sobre las imágenes y extraer los datos (TSM o AOT) coincidentes en posición y día con el recorrido de las boyas fué SIMOM (Pérez-Marrero *et al.*, 2005)

Para el promediado temporal de las imágenes se ha optado por el cálculo de una media condicionada, esto es, un promedio en el que se consideran solo aquellos valores que cumplen la siguiente condición: las medidas de TSM de las imágenes individuales no se diferencian del valor máximo para el periodo en mas de 4°C. De esta manera se trata de evitar el sesgo que introducen los valores afectados por nubes, al

L. Maroto, J. Pérez-Marrero, O. Llinás, M. J. Rueda, L. García-Weil, L. Cardona y M. Villagarcía

tiempo que se evita, en lo posible, el uso del valor máximo como solución (Maroto *et al.*, 2005).

En la Figura 2a, se observa el efecto de este proceso de mejora de la imagen media (en adelante *newmed*), en ella la línea continua representa la temperatura obtenida por una de las boyas derivan-

tes, los valores obtenidos por la media directa se han representado mediante círculos, mientras que los valores obtenidos tras el proceso anterior se han representado con X. Es evidente que este proceso elimina gran parte de los píxeles con valores anormalmente bajos, contaminados por nubes.

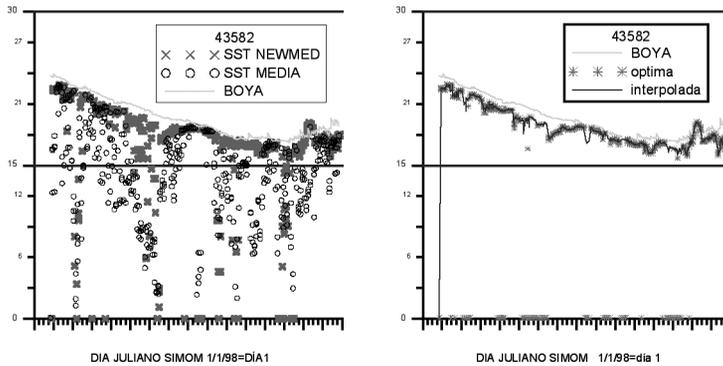


Figura 2. Series lagrangianas de TSM extraídas por la boya 43582, entre julio y abril de 2005.

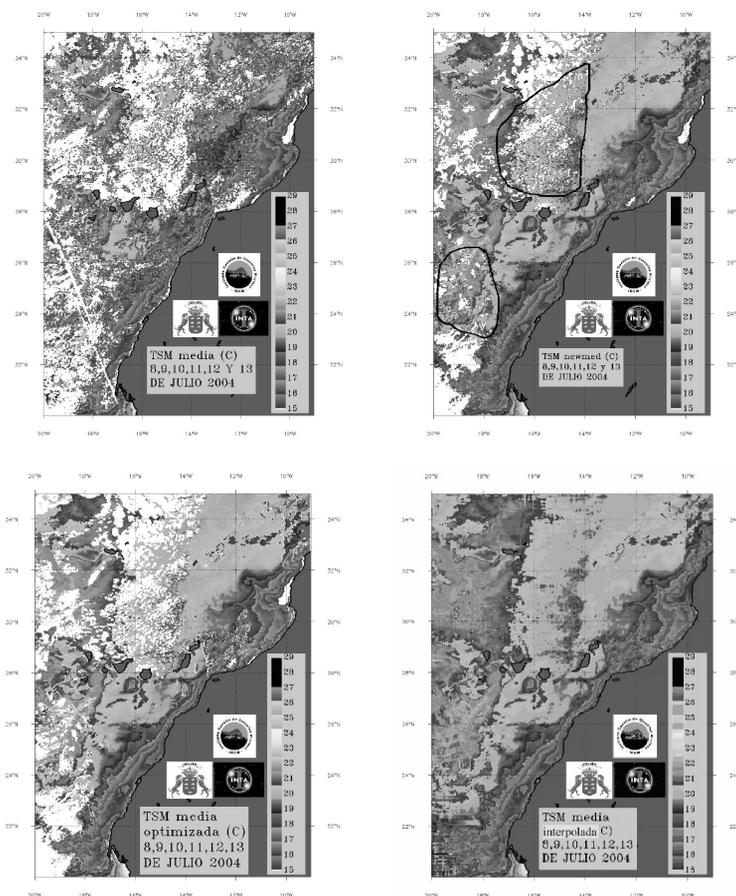


Figura 3. Imágenes multitemporales de TSM para los días 8, 9, 10, 11, 12 y 13 Julio de 2004 a) media, b) newmed, c) optimizada, d) interpolada.

A pesar de la mejora introducida quedan todavía valores anómalos, si bien concentrados en determinados periodos. El efecto sobre la imagen se puede apreciar si comparamos los paneles a y b de la Figura 3. En el primero de ellos, media normal, el análisis oceanográfico es difícil debido a las discontinuidades introducidas por la nubosidad. El segundo panel (b) (*newmed*) la continuidad mejora si bien existen algunas zonas, señaladas mediante polígonos negros, de aspecto moteado, que vienen a corresponder a los símbolos X de la Figura 2a.

La clasificación de estos puntos y su posterior tratamiento se lleva a cabo mediante una máscara binaria obtenida a partir de la imagen derivada para la misma escena. La máscara captura los píxeles con una variación espacial mayor a  $0.36^{\circ}\text{C}/\text{píxel}$ , a los que asigna el valor cero, en otras palabras, se agrandan las nubes. Este nuevo producto se nombra como *optimo* (Figura 3c) y su ventaja es que podrá ser manejado con total confianza teniendo la certeza de que todos los valores no nulos son mediciones de TSM. En la Figura 2b se aprecia el efecto de eliminar estos píxeles que corresponden a los bordes de las estructuras nubosas.

Por último y en un intento de ofrecer una imagen ideal, se construye una imagen interpolada en el espacio, limpia de nubes, que ofrezca una visión continuada de la superficie marina para ese momento. La interpolación se realiza espacialmente para la escena concreta, tanto en la vertical como en la horizontal, adoptándose finalmente el valor mayor entre ambos. A este producto se le denomina *interpolada* (Figura 3d).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

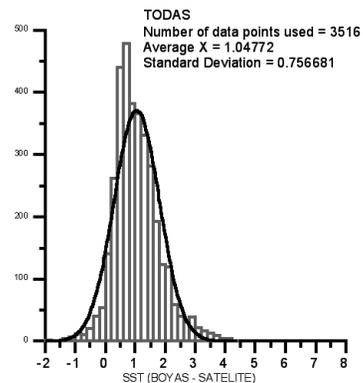
### Validación

En la Tabla 1 se comparan las diferencias entre la medida de la boya y el satélite para una de las boyas, tanto para el conjunto de las imágenes diarias como el de las imágenes optimizadas. El producto presentado consigue una disminución de la diferencia media, de la desviación de la medida al tiempo que mejora el coeficiente de correlación lineal entre las medidas.

	N pares	$r^2$	Error medio ( $^{\circ}\text{C}$ )	Desviación estándar
Diarias	292	0.59	1.26	1.67
Óptima	511	0.79	0.76	0.58

**Tabla 1.** Estadísticos de la comparación de temperaturas de la boya 43585 y el AVHRR.

El conjunto del material empleado (9 boyas en total) proporciona un total de 3516 pares válidos boya satélite para la comparación dentro del área y periodo considerados. La distribución de las diferencias entre las medidas muestra un comportamiento gaussiano en torno a un error en la estimación de TSM de  $1.04^{\circ}\text{C}$  de media para el producto optimizado (Figura 4).



**Figura 4.** Histograma de la distribución de diferencias en la medida de TSM por la boya y el producto satelital optimizado.

Aunque la temperatura medida por el satélite se corresponde bastante bien con la de la boya, existen sin embargo algunos errores o desfases con la verdad terrena que se pueden atribuir a la presencia de aerosoles; se observa que picos de AOT provocan desajustes entre las dos medidas. También es destacable que el incremento de error ocurre simultáneamente para muchos casos, lo que teniendo en cuenta que las boyas no coinciden temporalmente en su lanzamiento y que transitan por diferentes zonas, parece indicar que el error se debe a fenómenos de tipo atmosférico más que a posibles vicios del tratamiento estadístico.

## CONCLUSIONES

- Para muchas aplicaciones operativas se necesitan estimaciones continuas de la temperatura superficial del mar. En el presente trabajo se ofrece un producto satelital que produce estimaciones fiables de TSM en áreas con cobertura

L. Maroto, J. Pérez-Marrero, O. Llinás, M. J. Rueda, L. García-Weil, L. Cardona y M. Villagarcía

nubosa persistente y resulta válido para estudios oceanográficos.

- Para la obtención del producto *optimizado* fue muy importante la clasificación de los píxeles por medio de la máscara derivada.
- Valores por encima de 0.3 en el espesor óptico de aerosoles, inducen siempre distanciamientos de TSM medida por el satélite con respecto a los valores reales.
- El producto es solapable con otros parámetros escalares o vectoriales. La sinergia entre múltiples fuentes de información para un escenario común ayuda a la interpretación y facilita la identificación y seguimiento de estructuras mesoescales.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el MEC a través de los proyectos SEXCODE (VEM2003-20567/INTER) e INTEGCAN (CGL2004-02235/CLI). Las imágenes de partida empleadas se han obtenido del CREPAD en Maspalomas.

## BIBLIOGRAFÍA

- PÉREZ-MARRERO, J., LLINÁS, O., MAROTO, L., RUEDA, M. J. y CIANCA, A. 2002. Saharan dust storms over the Canary Islands during winter 1998 as depicted from the advanced very high-resolution radiometer. *Deep Sea Res. Part I* 49: 3465-3479.
- McCLAIN, E. P., PICHEL, W. G. y WALTON, C. G. 1985. Comparative performance of AVHRR based Multichannel Sea Surface Temperature. *J. Geophys. Res.* 89 (C3): 3655-3661.
- MAROTO, L., PÉREZ-MARRERO, J., RUEDA, M. J., CARDONA, L., VILLAGARCÍA, M., GODOY, J. y LLINÁS, O. 2005. Análisis mesoescalar de datos oceanográficos a través de productos satelitales mejorados. *Teledetección Avances en la Observación de la Tierra*. M. Arbelo, A. González y J. C. Pérez Eds. AET, Tenerife, pp 203-207.
- PÉREZ-MARRERO J., MAROTO, L., RUEDA, M. J., CARDONA, L., GODOY, J., BARRERA, C. y LLINÁS, O. 2005. Una herramienta para la fusión de datos oceanográficos obtenidos mediante satélites. En *Teledetección Avances en la Observación de la Tierra*, M. Arbelo, A. González y J. C. Pérez Eds. AET, Tenerife, pp. 167-170.
- VÁZQUEZ, J., PERRY, K. y KILPATRICK, K. 1998. NOAA/NASA AVHRR Oceans Pathfinder Sea Surface Temperature Dataset User's Referente Manual versión 4.0, JPL Publication D-1407.