

Anomalías en el canal 4 del NOAA-14 AVHRR

M. Arbelo¹, G. Podestá² y P.A. Hernández-Leal¹
marbelo@ull.es

¹ Grupo de Observación de la Tierra y la Atmósfera. Departamento de Física. Universidad de La Laguna. 28300 La Laguna, Islas Canarias, España.

² Remote Sensing Group. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, Miami, FL 33149, USA.

RESUMEN

Se analizan los errores en las temperaturas de brillo del canal 4 del sensor AVHRR a bordo del satélite NOAA-14. Estos errores implican una baja frecuencia de ocurrencia para algunos valores y un aumento para otros. Los errores parecen estar relacionados con la conversión analógica-digital. Desafortunadamente, no es posible identificar y separar los valores erróneos. El mayor problema se encuentra para valores bajos de la temperatura de brillo, por lo tanto, debemos ser cautos a la hora de usar las temperaturas de la superficie del mar en latitudes altas (inferiores a 6°C), ya que podrían conllevar errores sistemáticos superiores a 0,5°C.

PALABRAS CLAVE: temperatura superficial del mar, AVHRR, errores, latitudes altas.

ABSTRACT

Errors in brightness temperatures for channel 4 in the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) onboard the NOAA-14 spacecraft are examined. The errors involve a low frequency of occurrence for some values, and a corresponding enhancement of frequency for others. Errors appear to be related to the conversion of analog to digital values. Unfortunately, it is not possible to identify and separate erroneous values. The most apparent errors in geophysical products derived from AVHRR's channel 4 occur at low brightness temperatures, therefore sea surface temperatures in high latitudes (below about 6°C) and cloud-related products must be used with caution, as they may have systematic errors as large as 0.5°C

KEY WORDS: sea surface temperature, AVHRR, errors, high latitudes.

INTRODUCCIÓN

La serie temporal de la temperatura superficial del mar (TSM) obtenida con datos de los sensores NOAA-AVHRR (National Oceanic and Atmospheric Administration - Advanced Very High Resolution Radiometer) durante los últimos 20 años, resulta ser fundamental para caracterizar el clima de los océanos. Sin embargo, la utilización de estos datos en estudios climáticos requiere de estimaciones tan precisas y libres de errores sistemáticos como sea posible.

Es difícil validar los campos globales de TSM de satélite con medidas *in situ*, cuya distribución espacial y temporal suele ser muy dispersa. Una alternativa consiste en comparar campos de TSM de diferentes sensores. Por ejemplo, Podestá *et alii*. (2003) compararon campos de TSM globales del sensor Terra-MODIS (Terra-MODerate resolution

Imaging Spectroradiometer), el NOAA-16 AVHRR y el NOAA-14 AVHRR entre sí, promediando las diferencias diarias para un periodo de casi un año (octubre 2000 - septiembre 2001). Podestá *et alii*. (2003) encontraron que no había diferencias apreciables entre MODIS y NOAA-16 AVHRR, mostrando un comportamiento similar. En cambio, las estimaciones de la TSM para el NOAA-14 eran significativamente más frías (< -0,5 °C) que las del NOAA-16, especialmente para TSM inferiores a 4 °C. Nuestro objetivo es explorar las causas de este anómalo comportamiento del NOAA-14 AVHRR.

DATOS

Los datos utilizados en este trabajo fueron extraídos de Pathfinder Matchups Data Base (PFMDB), que contiene medidas realizadas por boyas fijas y

a la deriva, simultáneas en el tiempo y en el espacio con observaciones del sensor NOAA-14 AVHRR. El periodo estudiado abarca desde el 25 de enero de 1995 al 31 de diciembre de 1999. Más información sobre esta base de datos se encuentra disponible en Internet, en la dirección [www.rsmas.miami.edu/groups/rrsl/pathfinder/].

Así mismo se utilizaron imágenes del sensor AVHRR de los satélites NOAA-14 y 16 para el periodo 31 de octubre al 2 de noviembre de 2000.

PROBLEMAS CON LAS TEMPERATURAS DE BRILLO DEL AVHRR Y LOS VALORES DE TSM

El algoritmo utilizado para estimar la TSM fue el desarrollado en el contexto del Proyecto Pathfinder (PFSST) (Kilpatrick *et alii*, 2001). PFSST se fundamenta en la formulación clásica del NLSST (Non-Linear Sea Surface Temperature) (Walton *et alii*, 1998) y es una función de las temperaturas de brillo de los canales 4 y 5 del AVHRR (T_4 y T_5) y de una primera aproximación de la TSM. La primera aproximación usada para estimar la PFSST con el NOAA-14 y el NOAA-16 es la misma: la OISST (Optimally Interpolated Sea Surface Temperature) (Reynolds y Smith, 1994) de forma que esta cantidad no puede ser la responsable de las diferencias observadas en la TSM con el NOAA-14 y NOAA-16 Podestá *et alii*. (2003). Así pues, nuestra atención debe centrarse en los valores de T_4 y T_5 .

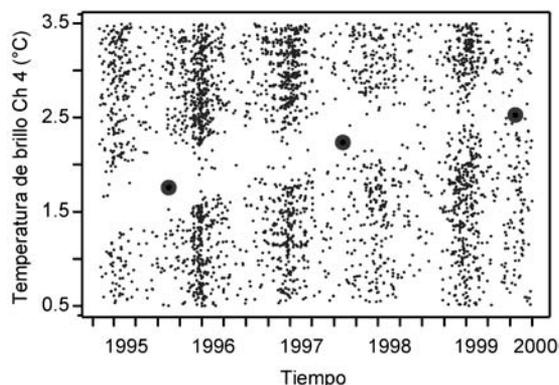


Figura 1. Series temporales de la temperatura de brillo del canal 4 del NOAA-14 AVHRR de la base de datos Pathfinder. Círculos grandes indican temperaturas de brillo correspondientes a nivel digital 511 (ver texto para explicación).

Haciendo una representación gráfica (Fig. 1) de la serie temporal de los valores de T_4 del NOAA-14 disponible en la PFMDB, encontramos un espacio claramente diferenciado del resto con una densidad de valores reducida. Los intervalos que definen este espacio cambian a lo largo del tiempo: a principios de 1995 se sitúa entre $1,3^{\circ}\text{C} < T_4 < 1,9^{\circ}\text{C}$, mientras que en 1999 sería de $2,4^{\circ}\text{C} < T_4 < 3,0^{\circ}\text{C}$. Es decir, una diferencia superior a 1°C . Este comportamiento no se encuentra para T_5 .

Esta falta de valores para T_4 se asocia no sólo con valores desaparecidos o menos frecuentes de la TSM, sino también con errores en las TSM estimadas. Muchos de los valores en la proximidad de esa área parecen ser erróneos y por lo tanto, introducen errores en la TSM. La figura 2 muestra los residuos de la TSM (in situ menos TSM de satélite) como una función de la TSM in situ. Se representan dos conjuntos de puntos. Los círculos se corresponden con “matchups” situados en la parte inferior de la zona carente de datos ($T_4 < 1,5^{\circ}\text{C}$). Las cruces son los “matchups” de la parte superior, con $3,0^{\circ}\text{C} < T_4 < 5,0^{\circ}\text{C}$. Los “matchups” de la zona inferior tienden a producir residuos positivos de la TSM (mediana = $0,43^{\circ}\text{C}$), es decir, subestimación de los valores obtenidos desde satélite. Por el contrario, los “matchups” de la parte inmediatamente superior tienden a producir residuos negativos (mediana = $-0,17^{\circ}\text{C}$), es decir, sobreestimación de las TSM desde satélite. Más allá de estos valores, los residuos no muestran errores sistemáticos: para valores de TSM $\geq 6,0^{\circ}\text{C}$, la mediana de los residuos ronda entorno a cero. No se detecta esa aproximación de los errores a cero para valores alejados de la parte inferior de la franja sin datos, pudiendo ser debido a la dispersión de las observaciones in situ.

ANÁLISIS DE LOS VALORES ANÓMALOS DE T_4 EN EL NOAA-14

Los valores erróneos y desaparecidos de T_4 del sensor AVHRR a bordo del NOAA-14 podrían estar relacionados con problemas del convertidor analógico-digital (CAD) del instrumento. El CAD convierte los voltajes continuos del radiómetro en valores discretos desde 0 a 1023 (10 bits de resolución radiométrica) por aproximación sucesiva. Un voltaje de entrada en el CAD se compara con un umbral inicial (definido por la electrónica del sensor). Si la entrada es mayor que este umbral, se activa el bit más significativo (primer orden), en otro caso no.

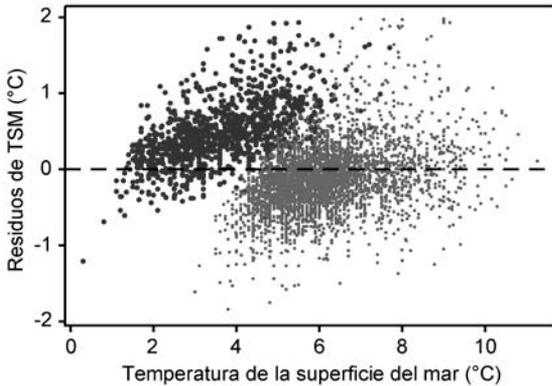


Figura 2. Residuos en función de la TSM in situ para los "matchups" del NOAA-14, periodo 1995-1999. Círculos negros indican "matchups" con $T_4 < 1,5$ °C. Cruces grises corresponden a "matchups" con $3,0$ °C $< T_4 < 5,0$ °C.

Los voltajes superiores o inferiores al valor de referencia inicial se comparan entonces en un segundo nivel de umbrales que definen el status del segundo bit más significativo, y así hasta que todos los bits estén resueltos.

Si los umbrales en el CAD no coinciden con los valores nominales en el momento del lanzamiento del satélite, podría ocurrir que algunos valores digitales de salida fueran erróneos. Podestá *et alii.* (2003) simularon esta conversión analógica-digital demostrando como el problema con el CAD del AVHRR del NOAA-14 podría dar lugar a un desdoblamiento de ciertos niveles digitales en el canal 4 y simultáneamente a un aumento artificial de otros niveles digitales, lo que provocaría en este último caso una subestimación de la TSM desde satélite. Desafortunadamente, los valores digitales incorrectos no pueden ser reconocidos y aislados de los correctos, por lo que sería prudente suponer que las cantidades obtenidas de esos valores pueden ser potencialmente equivocadas.

VALORES DIGITALES OBSERVADOS EN EL AVHRR

Con objeto de confirmar la presencia de problemas potenciales in el CAD del NOAA-14 AVHRR, extrajimos las cuentas digitales de los canales 4 y 5 para áreas oceánicas al sur de 40° S desde el 31 de octubre al 2 de noviembre de 2000. Con el propósito de comparación hicimos lo mismo para los datos del canal 4 del NOAA-16 AVHRR para las mismas

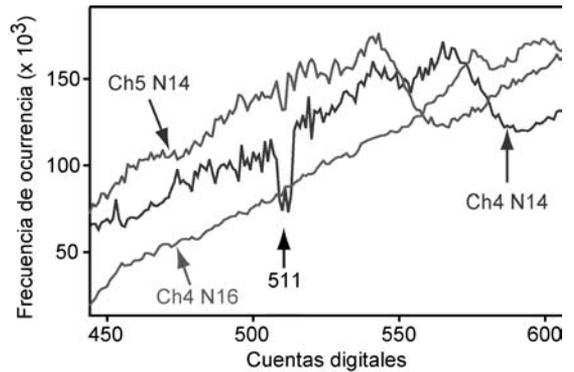


Figura 3. Distribuciones de frecuencia de los valores de cuentas digitales para los canales 4 y 5 del NOAA-14 AVHRR y el canal 4 del NOAA-16 AVHRR. Los valores se refieren a datos situados al sur de 40°S para el periodo del 31 de octubre al 2 de noviembre de 2000.

fechas y zona. La Figura 4 muestra la distribución de frecuencia de todos estos valores digitales.

Existe un marcado descenso en la frecuencia del canal 4 del NOAA-14 para valores que se sitúan entorno a la cuenta digital 511. Este valor se corresponde con la mitad de todo el intervalo digital, y por lo tanto, está asociado con el umbral del CAD para el bit más significativo. Sin embargo, hemos detectado problemas similares alrededor de valores digitales asociadas con transiciones en los bits de orden inferior. Como solo hay un CAD para todos los canales del AVHRR, deberíamos esperar problemas similares en el canal 5. Sin embargo, sólo encontramos un ligero descenso de la frecuencia de ocurrencia en el canal 5 en torno a la cuenta 511. Finalmente, para el caso del canal 4 del NOAA-16 no aparece el mismo comportamiento, sugiriendo que el problema no ocurre en todos los AVHRR. Además, la línea que representa al NOAA-16 es mucho más suave, indicándonos que el nivel de ruido en este CAD es mucho más bajo.

El paso final consiste en verificar que las cuentas digitales del canal 4 del AVHRR en torno a 511 coinciden aproximadamente con las temperaturas de brillo T_4 donde ocurren los problemas (Fig. 1). Usando los datos calibración del sensor publicados por NOAA, obtuvimos unas tablas para el canal 4 del NOAA-14 para principios de noviembre de 1995, 1997 y 1999. Para los tres años, las temperaturas de brillo del canal 4 se correspondientes al valor digital 511 fueron 1,7 °C, 2,2 °C y 2,5 °C, que indicamos con grandes círculos en la Figura 1. El

desplazamiento en la localización del área carente de datos, se debe por lo tanto, a los cambios en el tiempo de la calibración del canal 4, como consecuencia de las variaciones producidas en la temperatura de operación del sensor.

El NOAA-14 AVHRR tiene la misma tecnología que sus predecesores el NOAA-9 y NOAA-11. Hay indicios de que el CAD de estos instrumentos pueda tener los mismos problemas. Hemos detectado descenso y aumento del número de píxeles para valores de cuentas digitales de 511 y 768 (bits de primer y segundo orden, respectivamente). Sin embargo, las variaciones no son tan pronunciadas como en el NOAA-14.

CONCLUSIONES

Advertimos problemas en los valores del sensor AVHRR del satélite NOAA-14, principalmente para bajas temperaturas de brillo del canal 4. Estos problemas parecen estar asociados con la conversión analógico-digital de las radiancias detectadas por el AVHRR.

Ejemplos típicos de productos geofísicos afectados son los campos de TSM o temperaturas de nubes. El AVHRR utiliza un método de digitalización donde las cuentas digitales altas se corresponden con temperaturas de brillo bajas. Así, las bajas TSM que suelen darse a altas latitudes se verán predominantemente afectadas, ya que el bit más significativo se activa para estas condiciones. Los campos de TSM afectados incluyen temperaturas dentro del intervalo de 2 a 6 °C, pudiendo encontrarse sistemáticamente para estos casos subestimaciones o sobreestimaciones tan grandes como 0,5 °C. El impacto de estos errores no solo afecta a los campos de TSM del NOAA-14, sino que también se extiende a aquellas climatologías que hacen uso total o parcialmente de los mismos (Reynolds *et alii*, 2002), (Casey y Cornillon, 1999) y (Summer *et alii*, 2003).

Ya que no es posible identificar y excluir los valores de entrada erróneos, todas las TSM en el intervalo mencionado necesitan ser consideradas como potencialmente sesgadas. La localización geográfica de las TSM afectadas cambiará en el espacio en respuesta a la variabilidad estacional y las tendencias a largo plazo debidas a cambios en la conversión de cuentas a radiancias (Fig. 1).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (Proyecto de Investigación CGL2004-06099-C03-02/CLI.) y NASA (Proyecto "Continued Processing and Extension of the Pathfinder Oceans SST Global Dataset"). Los datos AVHRR nivel 0 fueron cedidos por NOAA vía DOMSAT.

BIBLIOGRAFÍA

- PODESTÁ, G. P., M. ARBELO, R. EVANS, K. KILPATRICK, V. HALLIWELL AND J. BROWN. 2003. Errors in high-latitude SSTs and other geophysical products linked to NOAA-14 AVHRR channel 4 problems. *Geophysical Research Letters*. 30(11): 1548, doi:10.1029/2003GL017178.
- KILPATRICK K. A., G. P. PODESTÁ, AND R. EVANS. 2001. Overview of the NOAA/NASA advanced very high resolution radiometer Pathfinder algorithm for sea surface temperature and associated matchup database. *Journal of Geophysical Research*. 106: 9179-9197.
- WALTON, C. C., W. G. PICHEL, F. J. SAPPER, AND D. A. MAY. 1998. The development and operational application of nonlinear algorithms for the measurement of sea surface temperatures with NOAA polar-orbiting environmental satellites. *J. Geophys. Res.* 103: 27999-28012.
- REYNOLDS, R. W., AND T. M. SMITH. 1994. Improved global sea surface temperature analysis using optimum interpolation, *Journal of Climate*. 6: 768-774.
- REYNOLDS, R. W., N. A. RAYNER, T. M. SMITH, D. C. STOKES AND W. WANG. 2002. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *Journal of Climate*. 15: 1609-1625.
- CASEY, K. S. AND P. CORNILLON, A. 1999. Comparison of satellite and in situ-based sea surface temperature climatologies. *Journal of Climate*. 12: 1848-1863.
- SUMMER, M. D., K. J. MICHAEL, C. J. A. BRADSHAW AND M. A. HINDELL. 2003. Remote sensing of Southern Ocean sea surface temperature: implications for marine biophysical models. *Remote Sensing of Environment*. 84: 161-173.