

MAPAS DE TEMPERATURAS MENSUALES DE EUROPA A PARTIR DE LOS DATOS DEL AATSR

J. M. Galve, C. Coll, V. Caselles, E. Valor, J. M. Sánchez, M. Mira, V. Garcia, M. Bisquert y E. Caselles.

*Departamento de Física de la Tierra y Termodinámica, Facultad de Física, Universitat de Valencia.
C/Dr. Moliner, 50. 46100 Burjassot, Valencia. joan.galve@uv.es*

RESUMEN

Los mapas mensuales de temperatura de superficie terrestre (LST) son necesarios para realizar estudios climáticos. La teledetección es la principal herramienta para obtener estos mapas. Por ello, hemos utilizado el producto LST del AATSR instalado en el satélite Envisat. El producto LST utiliza un algoritmo de split-window que depende del contenido vertical de vapor de agua en columna (W) y del ángulo de observación. Además, hemos utilizado el algoritmo propuesto en Galve et al. (2008), basado en el modelo split-window de Coll y Caselles (1997) y que depende explícitamente de la emisividad y de W. Este algoritmo ha sido comprobado con medidas de campo a en la zona de validación de Valencia obteniendo un error de $\pm 0,5$ K. Con estos algoritmos se confeccionaron mapas de LST de Europa con una resolución espacial de $0,05^\circ$ utilizando las emisividades medias mensuales del producto MOD11_8D del sensor MODIS, mientras que W se obtuvo a partir del producto global de análisis troposférico del NCEP. Para estimar la calidad de estos mapas se redujo la resolución espacial hasta 1° y se comparó la LST obtenida con la que nos da el producto de NCEP en ambos casos. Los resultados más óptimos se obtuvieron con el algoritmo de Galve et al. (2008) que ofrece una diferencia media de ± 1.2 K mientras que con el producto LST de AATSR la diferencia media es de ± 1.7 K.

ABSTRACT

Land Surface Temperature (LST) monthly maps are necessary in climatic studies. Remote sensing is a key tool to obtain these maps. For this, we used the LST product of AATSR on board Envisat. This product uses a split-window algorithm which depends on vertical column water vapour content (W) and the viewing angle. Moreover, the algorithm proposed in Galve et al. (2008) was also used, which is based on the Coll and Caselles (1997) split-window model and depends explicitly on the emissivity and W. This algorithm was tested with concurrent ground measurements in the Valencia validation site, yielding an error of ± 0.5 K. With both algorithms we perform LST maps over Europe with spatial resolution of 0.05° using the emissivities given in the monthly average of the MODIS MOD11_8D product. Regarding W, we obtain it through the NCEP global Tropospheric Analyses product. In order to evaluate the quality of the maps we resampled these to 1° pixel size for comparison with the LST from the NCEP Global Tropospheric Analyses product. The most similar algorithm with NCEP LST is Galve et al. (2008) with a difference lower than ± 1.2 K. Regarding the maps obtained from AATSR LST product, the difference was close to ± 1.7 K.

Palabras clave: LST, AATSR, mapas mensuales.

INTRODUCCIÓN

Los mapas mensuales de temperatura de la superficie terrestre (LST, por sus siglas en inglés) nos permite realizar estudios climatológicos sobre una zona determinada. Hasta la actualidad, el sensor Advanced Along Track Scanning Radiometer (AATSR) a bordo del satélite Envisat no ofrecía este tipo de producto. En este trabajo presentamos mapas mensuales de LST para el año 2007 sobre Europa obtenidos con ese sensor.

Para realizar estos mapas utilizamos dos tipos de algoritmos de LST: el producto ofrecido por

el propio sensor (AATSR_LST, Prata, 2002) y el propuesto en Galve et al.(2008). Estos mapas se realizaron entre las coordenadas 72° N - 11° W y 35° N - 42° E con una resolución espacial de $0,05^\circ$ de latitud / longitud.

Para estimar la calidad de estos mapas se redimensionaron a una resolución espacial de 1° de latitud / longitud y se compararon con la temperatura de superficie terrestre ofrecida por el Nacional Center for Environment Prediction (NCEP) en el producto de análisis troposférico a escala global que tiene una resolución espacial de 1° de latitud /longitud.

En la sección de metodología describimos los algoritmos utilizados y los productos necesarios para calcular la LST. Posteriormente estimaremos la calidad de los mapas generados. Las conclusiones se presentaran en la última sección.

METODOLOGÍA

El sensor AATSR mide en siete bandas: cuatro distribuidas en el visible (0,55 μm , 0,66 μm y 0,87 μm), tres en el infrarrojo cercano (1,6 μm) y tres más en el infrarrojo medio y el térmico (3,7 μm , 11 μm y 12 μm). Este sensor es capaz de medir en dos modos de visión distintos: uno llamado nadir, con un ángulo de visión respecto del nadir (θ) inferior a 23,5° y una resolución espacial de 1 km^2 ; y otro llamado forward, con un θ comprendido entre 53° y 55°, con una resolución espacial de 3 km^2 .

Algoritmos

El producto de LST ofrecido por el sensor AATSR (AATSR_LST) se basa en un algoritmo del tipo split-window (Prata, 2002). Este algoritmo utiliza una combinación lineal de temperaturas de brillo en las bandas 11 μm y 12 μm (T_{11} y T_{12} , respectivamente), en visión nadir. Este algoritmo se puede escribir como:

$$LST = a_{f,i,w} + b_{f,i} (T_{11} - T_{12})^n + (b_{f,i} + c_{f,i}) \cdot T_{12} \quad [1]$$

donde $n = \cos(\theta/5)$ y los coeficientes a , b y c dependen del tipo de superficie (i), de la fracción de cobertura vegetal (f), contenido vertical de vapor de agua en columna (W) y de θ .

Además de este algoritmo, para realizar los mapas se utilizó el algoritmo propuesto en Galve et al. (2008) para este sensor en visión nadir (ASWn). Este algoritmo se basa en el modelo split-window propuesto por Coll y Caselles (1997) el cual obtiene la LST a partir de una combinación cuadrática de diferencia de temperaturas de brillo de las bandas 11 μm y 12 μm con coeficientes constantes y que además depende explícitamente de la emisividad (ϵ , emisividad media y $\Delta\epsilon$, la diferencia espectral entre los canales), de W y de θ . Los coeficientes de este algoritmo fueron obtenidos a partir de la regresión de las simulaciones realizadas a una amplia colección de radiosondeos terrestres distribuidos globalmente (CLAR, Galve et al, 2008). Estas simulaciones se realizaron considerando tres θ (nadir, 11,6° y 26,1°). Este algoritmo puede escribirse como:

$$LST_{ASWn} = T_{11} + 0.024 + 0.782(T_{11} - T_{12}) + 0.302(T_{11} - T_{12})^2 + (1 - \epsilon) \left(52.57 + 1.13 \frac{W}{\cos(\theta)} - 1.023 \left(\frac{W}{\cos(\theta)} \right)^2 \right) - \Delta\epsilon \left(79.2 - 11.06 \frac{W}{\cos(\theta)} \right) \quad [2]$$

Debido a que no existen mapas de emisividad para este sensor, para aplicar este algoritmo se utilizó la emisividad media mensual a partir del producto de 8 días de LST y ϵ del sensor MODIS (MOD11_8D, Wan 1999) ya que este sensor posee dos bandas que son similares a las bandas 11 μm y 12 μm del AATSR.

Para poder aplicar este algoritmo también necesitamos una estimación del W para cada píxel y escena. El NCEP proporciona mapas globales de W a escala de 1° de latitud/longitud cada 6 horas. Debido a que el efecto en la temperatura de los errores en W es inferior a ± 0.1 K (Galve et al., 2008) podemos utilizar como valor de W el más próximo espacialmente e interpolado temporalmente entre los mapas anterior y posterior de NCEP.

Mapas de LST

Para la realización de los mapas se creó una cuadrícula que cubre la zona entre las coordenadas 72° N - 11° W y 35° N - 42° E, con un tamaño de celdilla de 0,05° x 0,05° de latitud / longitud que corresponde a una área de alrededor de 5x5 km^2 .

Para realizar los mapas con el AATSR_LST se obtuvo la media de la LST en cada una de las celdillas de la cuadrícula para cada día. Posteriormente, se realizó la media mensual de todas las imágenes de cada mes. Para evitar errores estadísticos debidos a fallos de procesado o nubes no detectadas, no consideramos los valores de LST que se diferencian de la media en más del triple de la desviación estándar (σ) de cada uno de los píxeles. Los mapas para meses representativos de cada estación obtenidos con este algoritmo se muestran en la Figura 1. En el caso de los mapas obtenidos con el ASWn, en un primer momento se calculó la media en cada celdilla de T_{11} , T_{12} y θ eliminando también aquellos valores que se desvían más de $\pm 3\sigma$.

La LST se calculó para cada celdilla y día utilizando la emisividad y la W correspondiente. Finalmente se calculó la media mensual de las LST sin considerar aquellas que se diferenciarán en más de $\pm 3\sigma$. Los mapas obtenidos con este algoritmo, para los mismos meses de la Figura 1, se muestran en la Figura 2.

TEST DE CALIDAD

Ambos algoritmos han sido validados con medidas de campo obteniendo errores de $\pm 0,5$ K (Galve et al., 2008) para el algoritmo ASWn. En Coll et al. (2006 y 2009) se demostró que el producto AATSR_LST posee un error mayor de ± 3 K, debido

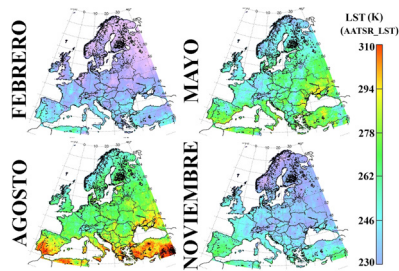


Figura 1.- Mapas mensuales de LST generados a partir del algoritmo AATSR_LST para los meses representativos de las estaciones del año 2007.

Para poder estimar la calidad de los mapas generados se han comparado con la temperatura de superficie (T_s) obtenida a partir del producto NCEP. Esta T_s se obtuvo con la interpolación temporal entre los mapas de T_s ofrecidos por el NCEP anteriores y posteriores a la hora de paso de la misma forma en que se obtuvieron los mapas de W. Se calcularon mapas mensuales de LST- T_s para ambos algoritmos (Figura 3 para el algoritmo AATSR_LST y Figura 4 para el algoritmo ASWn).

Un resumen de estos resultados lo podemos encontrar en la Figura 5, en donde se muestra la diferencia media mensual (rombos para el caso del algoritmo AATSR_LST y cuadrados para el algoritmo ASWn) y donde las líneas muestran la diferencia media más y menos la desviación estándar (la línea discontinua para el algoritmo AATSR_LST y la línea continua para el caso del ASWn). Los mapas obtenidos con el producto AATSR_LST muestran un comportamiento más estable presentando una subestimación media durante todo el año de $-1,2$ K. La máxima desviación ocurre en septiembre con una subestimación de $-1,9$ K y la mínima en abril ($-0,7$ K). Para estimar la variabilidad que aparece en estos mapas obtuvimos la σ media en cada mapa. La σ media obtenida para todo el año fue de $\pm 1,1$ K. Así pues, el error absoluto medio obtenido durante todo el año es de $\pm 1,7$ K.

Respecto a los mapas obtenidos con el algoritmo ASWn, estos muestran mejores resultados presentando una subestimación media durante todo

a que en el procesado de este producto se utilizan mapas de clasificación de usos de suelo con una resolución espacial de $0,5^\circ$ latitud / longitud y unos mapas de cobertura vegetal mensual con la misma resolución espacial. Se ha demostrado que estos mapas poseen un tamaño de píxel excesivamente grande para obtener una correcta medida de LST.

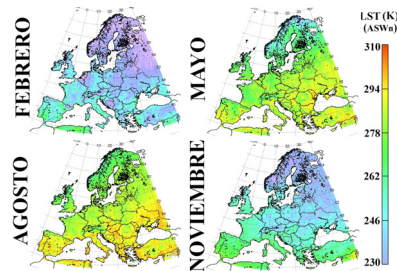


Figura 2.- Mapas mensuales de LST generados a partir del algoritmo ASWn para los meses representativos de las estaciones del año 2007.

el año de $-0,5$ K, siendo máxima en Febrero ($-1,6$ K). Entre los meses de abril y septiembre el error sistemático es prácticamente nulo (entre $-0,13$ K y $0,14$ K). Del mismo modo, la σ media durante el año es $\pm 0,9$ K. Finalmente, el error absoluto medio obtenido durante el año es $\pm 1,2$ K. Estos resultados muestran un marcado carácter estacional para el caso del algoritmo ASWn, ya que este algoritmo subestima la LST en los meses fríos (octubre – marzo) mientras que en los meses calidos (abril – septiembre) el error sistemático tiende a ser despreciable. Esto puede ser debido a que en los meses fríos la emisividad proporcionada por el sensor MODIS puede que no sea aplicable para el sensor AATSR. Esta estacionalidad no aparece en los resultados para el caso del algoritmo AATSR_LST, sin embargo, en los meses de verano aparece una mayor desviación estándar que en los demás. Hay que destacar el hecho de que con la resolución espacial de 1° latitud / longitud, se reduce el error introducido por una clasificación errónea y que aparece en las campañas de validación, cuando se compara con extensiones inferiores a $0,5^\circ$. Aunque esta resolución reduce el efecto, no se puede descartar el hecho de que el error en la clasificación pueda ser la causa de la subestimación que aparece durante todo el año.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado mapas mensuales de LST a partir de datos del sensor AATSR durante el año 2007 para ser utilizados en estudios climatológicos. Estos mapas se realizaron

sobre Europa (72° N - 11° W y 35° N - 42° E) con una resolución espacial de 0,05° latitud / longitud.

Se han realizado dos versiones diferentes de mapas dependiendo del algoritmo utilizado: en el

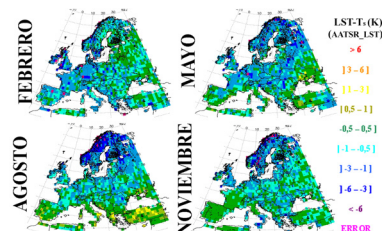


Figura 3.- Mapas mensuales de LST-Ts para el caso del algoritmo AATSR_LST.

primero se utilizó el producto de LST del sensor y en el segundo se utilizó el algoritmo de LST por Galve et al. (2008) Para analizar la calidad de estos mapas se ha comparado con mapas de T_s obtenidos a partir del producto de análisis troposférico a escala global ofrecido por el NCEP.

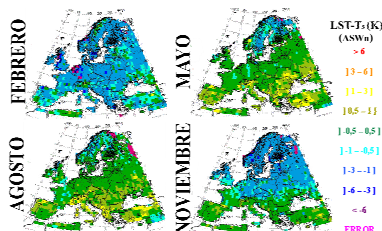


Figura 4.- Mapas mensuales de LST-Ts para el caso del algoritmo ASWn.

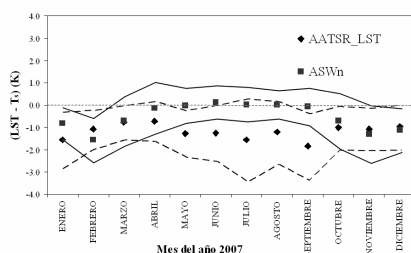


Figura 5.- Diferencia media mensual entre la LST calculada a partir de los algoritmos utilizados (AATSR_LST en rombos o ASWn en cuadrados) y la temp. de superficie (T_s) obtenida a partir del producto NCEP.

Los resultados obtenidos muestran un error absoluto medio de $\pm 1,7$ K prácticamente constante durante todo el año. Cabe destacar que este algoritmo muestra un error sistemático de alrededor -1,2 K para todo el año. Sin embargo, los resultados para el caso del algoritmo ASWn muestran un error absoluto medio de $\pm 1,2$ K, aunque a diferencia del caso con el AATSR_LST, el error sistemático muestra un carácter estacional, subestimando alrededor de 1 K en los meses fríos (octubre - abril) mientras que en los meses cálidos (mayo - septiembre) no aparece ningún error sistemático. Esta estacionalidad puede deberse a que los mapas propuesto de emisividades utilizados no son validos, sobre todo en los meses fríos.

BIBLIOGRAFÍA

Coll, C., Caselles, V., Galve, J.M., Valor, E., Niclòs, R., & Sánchez, J.M. 2006. Evaluation of split-window and dual-angle correction methods

for land surface temperature retrieval from Envisat/AATSR data. *J. Geophys. Res.*, 111, 12105 doi 10.1029/2005J D006830.

Coll C, Hook, S.J. & Galve J.M. 2009, Land Surface Temperature from the Advanced Along-Track Scanning Radiometer: Validation over inland waters and vegetated surfaces. *IEEE Trans. on Geosciences and R. Sensing*, 47 (1), 350-360.

Coll, C. & Caselles, V. 1997. A split-window algorithm for land surface temperature from Advance Very High Resolution Radiometer data: Validation and algorithm comparison. *J. Geophys. Res.*, 102, 16697-16713.

Galve J.M., Coll, C., Caselles V. & Valor E. 2008. An Atmospheric Radiosounding database for generating Land Surface Temp. Algorithm. *IEEE Trans. on Geosciences and R. S.*, 46 (5), 1547-57.

Prata, A.J. 2002. Land surface temperature measurement from space: AATSR algorithm theoretical basis document, technical report, 34 pp., CSIRO Atm. Res., Aspendale, Australia.

Z. Wan. 1999. MODIS Land Surface Temperature. *Algorithm theoretical basis document* NAS5-31370.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Fred Prata por su ayuda en este trabajo. Ha sido financiado por el MEC (Proyecto CGL2007-64666/CLI, cofinanciado con fondos FEDER de la UE, la acción complementaria CGL2007-29819-E, y la beca de F. P. I. de J.M. Galve.