

Validación de los perfiles atmosféricos de temperatura de los sensores Modis y AIRS mediante radiosondeos en la Península Ibérica.

C. Casanova^{(1) (2)}, A. Romo⁽¹⁾, E. Hernández⁽²⁾ y J. L. Casanova⁽²⁾

⁽¹⁾Laboratorio de Teledetección, LATUV. Universidad de Valladolid. Valladolid. Edificio I+D, Campus Miguel Delibes, 47011 Valladolid. carlos@latuv.uva.es, alf@latuv.uva.es, jois@latuv.uva.es.

⁽²⁾Departamento de Física de la Tierra II. Universidad Complutense. Madrid. Facultad de Físicas, 28040 Madrid. emiliano@fis.ucm.es.

Resumen

En el presente trabajo se muestra un análisis comparativo entre los perfiles atmosféricos de temperatura obtenidos mediante datos del sensor Modis y la sonda AIRS con sondeos convencionales. Para ello, se adoptó una metodología consistente en analizar las diferencias de temperatura entre los sondeos convencionales y los obtenidos a partir de datos de satélite para una serie de niveles de presión atmosférica tipo. Así mismo, se analizaron los valores medios y desviaciones estándar de esas diferencias. Los resultados muestran una mejor correlación entre los datos AIRS y los sondeos convencionales que entre éstos y los datos Modis.

1. Introducción

Actualmente los sondeos atmosféricos representan una de las fuentes de información más importantes para conocer la atmósfera terrestre. Por ello, cientos de globos sonda son lanzados al menos dos veces al día en numerosos puntos a lo largo del globo terrestre a fin de analizar su evolución y ahondar en su conocimiento. Sin embargo, la gran mayoría de los sondeos son realizados sobre tierra por lo que el 75% de la porción cubierta por el océano no es analizada en profundidad. Así mismo, las diferencias económicas existentes entre el Hemisferio norte y el sur ponen de manifiesto la desigual cobertura espacial que en sondeos existe entre ambas zonas.

Por otro lado, hay que tener en cuenta la alta variabilidad espacial y temporal de la mayoría de los fenómenos atmosféricos y la dificultad que entraña su análisis a través de medidas in situ. Sin duda la Teledetección se presenta como una herramienta esencial para la Meteorología ya que permite obtener una mayor cantidad de información en cualquier parte del mundo con una mejor resolución tanto espacial como temporal.

La obtención de perfiles atmosféricos de temperatura mediante el análisis de la radiación emitida en la región del infrarrojo fue sugerida por primera vez en 1956 por King [1]. Desde entonces, varios sensores han sido diseñados para medir en esas bandas y, consecuentemente, se han desarrollado sus correspondientes algoritmos de obtención de perfiles atmosféricos, como por ejemplo la sonda TOVS de los satélites NOAA y el algoritmo de extracción "itpp" desarrollado por [2].

Las plataformas de la nueva serie de satélites polares de la NASA conocida como EOS ("Earth Observing System") poseen, dentro de la amplia carga útil que transportan, instrumentos con capacidad sondeadora. El sensor Modis ("Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer") [3] posee 36 bandas espectrales comprendidas entre las 0.65 y 14.24 μm . Aunque Modis no es un sondeador per se, es posible obtener perfiles atmosféricos gracias a las 12 bandas que poseen el en dominio del infrarrojo comprendidas entre las 4.47 y 14.24 μm [4]. Por su parte, AIRS ("Atmospheric Infrared Sounder") [5] es un espectrómetro que mide en 2378 longitudes de onda cubriendo el intervalo que va desde las 3.7 μm hasta las 15.4 μm . Sin duda, AIRS representa el primer radiómetro hiperspectral del infrarrojo desarrollado específicamente para dar soporte a los sistemas de predicción a corto plazo como el NCEP (Nacional Center for Environmental Prediction) de la NOAA o el ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) [6].

Dado que mediante ambos sensores embarcados en los satélites Terra (Modis) y Aqua (Modis y AIRS) es posible obtener perfiles atmosféricos de temperatura en una escala global, una validación de los mismos resulta necesaria a fin de conocer su grado de fiabilidad así como para delimitar convenientemente las aplicaciones que de cada uno se puede esperar. En este trabajo se muestra un análisis comparativo entre los datos proporcionados por ambos detectores y los valores registrados en los sondeos convencionales.

2. Obtención de datos

2.1. Radiosondeos

Los sondeos atmosféricos que diariamente se llevan a cabo en todas las estaciones del mundo se encuentran almacenados en una base de datos de la NOAA a la que se puede acceder libremente a través de Internet. La dirección se encuentra citada en la relación de referencias [7]. De esta base se tomaron un total de 62 sondeos repartidos a lo largo del año 2004, correspondientes a 5 puntos donde se obtienen sondeos en la Península Ibérica (La Coruña, Santander, Madrid, Zaragoza y Murcia - San Javier). Todos ellos corresponden a los que se efectúan a las 11-12 GMT.

2.2. Datos Modis y AIRS

Las imágenes Modis y AIRS son capturadas en el Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid, LATUV, que posee una antena receptora de la señal transmitida por los satélites Terra y Aqua. La conversión de radiancias en valores atmosféricos se llevó a cabo mediante el software IMAPP ("International MODIS and AIRS processing package") [8] desarrollado en el CIMSS ("Cooperative Institute for Meteorological Satellites Studies") de la Universidad de Wisconsin-Madison. Para este estudio, se utilizaron las imágenes correspondientes a la pasada diurna de ambos satélites procurando elegir pases lo más perpendiculares posibles.

3. Metodología

Para poder comparar ambas fuentes de datos (sondeos convencionales y datos satélite), se optó por la utilización de una metodología ya aplicada con éxito por varios autores [9], [10] y [11]. Esta se basa en analizar las diferencias de temperatura entre los sondeos convencionales y los obtenidos a partir de datos de satélite para una serie de niveles de presión atmosférica tipo. Así mismo, se analizan los valores medios y desviaciones estándar de esas diferencias.

El problema de comparar los datos de esta manera implica que normalmente no hay coincidencia entre la localización del radiosondeo y el píxel (mismas coordenadas latitud-longitud) por lo que era necesario seguir algún criterio con el fin de poder comparar ambos tipos de datos de la manera más fiable. Siguiendo la línea de [11] en

este trabajo hemos optado por la utilización de un criterio de cercanía consistente en elegir para cada imagen el dato (píxel, tanto Modis como AIRS) más cercano, en el sentido de distancia euclídea mínima, a las localizaciones de los radiosondeos. Este procedimiento resulta el más lógico además de la ventaja que conlleva su gran sencillez.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que mientras que AIRS mide temperaturas en todo su campo de visión (FOV), no ocurre lo mismo con Modis, ya que este último sólo obtiene valores de de temperaturas en aquellos píxeles que han sido clasificados como despejados por la máscara de nubes que se genera previamente a la obtención de este producto derivado del Modis [12]. Por ello, los 62 casos elegidos corresponden a situaciones de cielo despejado.

La elección de la metodología exhibida no está exenta de un inconveniente. En efecto, hay que tener en cuenta que existe un desfase temporal entre ambas fuentes de datos puesto que la hora a la que se realiza el sondeo en tierra no coincide con la hora de pasada de ambos satélites. Normalmente, los sondeos se realizan a las 11 ó 12 horas GMT. El satélite Terra pasa por las latitudes del área de estudio en un intervalo de tiempo comprendido entre las 10-12 GMT mientras que Aqua lo hace a las 13-15 GMT.

3.1. Resultados

Aplicando la metodología expuesta en el apartado anterior, se calcularon las diferencias entre los radiosondeos y los datos satélite así como las correspondientes estadísticas.

A lo largo del año, las oscilaciones térmicas son mayores en los meses calurosos que en los fríos. Por ello, a fin de analizar si estas variaciones tendrían repercusión en la calidad de los sondeos satélite, el estudio se separó en dos estaciones: invierno (octubre-marzo) y verano (abril-septiembre).

Los resultados para invierno se muestran en la Tabla 1 para Modis y en la Tabla 2 para AIRS (la temperatura a 1000 hPa corresponde a la temperatura del aire a 2 metros del suelo).

Nivel (hPa)	Media (K)	Des. Est. (K)
1000	2.0	2.0
850	-0.6	4.3
700	1.5	1.9
500	1.2	1.4
400	1.3	1.9
300	0.5	1.1

Tabla 1: Estadísticas de las diferencias entre los radiosondeos y los perfiles Modis para invierno.

Nivel (hPa)	Media (K)	Des. Est. (K)
1000	-0.5	1.6
850	0.5	1.2
700	-0.7	0.6
500	0.4	1.4
400	-0.3	1.3
300	0.8	1.6

Tabla 2: Estadísticas de las diferencias entre los radiosondeos y los perfiles AIRS para invierno.

Así mismo, en las tablas 3 y 4 se muestran las estadísticas para los meses de verano.

Nivel (hPa)	Media (K)	Des. Est. (K)
1000	2.7	3.8
850	-4.1	3.4
700	-2.3	2.8
500	0.9	1.7
400	-0.5	2.2
300	-1.4	1.6

Tabla 3: Estadísticas de las diferencias entre los radiosondeos y los perfiles Modis para verano.

Nivel (hPa)	Media (K)	Des. Est. (K)
1000	0.0	4.0
850	-0.6	1.4
700	1.3	1.6
500	-1.0	1.2
400	-1.0	0.8
300	0.4	0.8

Tabla 4: Estadísticas de las diferencias entre los radiosondeos y los perfiles AIRS para verano.

Los resultados muestra fehacientemente como AIRS se comporta mejor que Modis en todos los niveles salvo en superficie para la época de verano. No obstante, hay que tener en cuenta que en los meses estivales las variaciones de temperatura a estas horas del día son muy elevadas en este nivel, pudiendo ser del orden de los 4 K [13], lo cual se encuentra en acuerdo con la desviación que presenta AIRS, ya que el satélite Aqua puede llegar a pasar hasta 3 horas más tarde de la hora de realización del radiosondeo. Por su parte, Modis presenta una notable homogeneidad a partir de los 500 hPa en

ambas estaciones no cumpliéndose tal norma en los niveles inferiores.

Se puede obtener un valor global de la desviación de los datos AIRS y Modis con respecto a los radiosondeos considerando todos los niveles analizados sin más que calcular la media y la desviación estándar total para cada una de las dos estaciones estudiadas. Los resultados se muestran en las Tablas 5 y 6.

Modis	Media (K)	Des. Est. (K)
Invierno	0.2	2.6
Verano	-0.7	3.4

Tabla 5: Valores globales para cada estación de la media y la desviación estándar para Modis.

AIRS	Media (K)	Des. Est. (K)
Invierno	0.0	1.3
Verano	-0.2	2.0

Tabla 6: Valores globales para cada estación de la media y la desviación estándar para AIRS.

Una valoración general de los datos puede considerarse como muy buena. En efecto, tal como señalábamos anteriormente el análisis comparativo ha sido realizado con un desfase temporal significativo. Así mismo, hay que tener en cuenta que los radiosondeos consideramos como valores de referencia presentan un error experimental por defecto ya que éstos reflejan la temperatura medida por un sensor, no la temperatura real de la atmósfera. En los aparatos de medida que se utilizan en la Península Ibérica, pertenecientes a la marca Vaisala, este error es de ± 0.5 K.

A pesar de ello las desviaciones son pequeñas, aunque debemos tener en cuenta que en esta magnitud se compensan desviaciones positivas y negativas, por lo que son más significativos los valores de las correspondientes desviaciones estándar. Considerando estas últimas, hay que resaltar que los resultados AIRS obtenidos en este trabajo se encuentran en correspondencia con la precisión que se esperaba de estos datos antes del lanzamiento del satélite Aqua [14].

A la luz de los resultados finales obtenidos podemos concluir que, aunque ambos sensores ha mostrado un excelente comportamiento, los datos Modis se muestran más apropiados para estudios climatológicos, mientras que los datos AIRS resultan fiables para la obtención de temperaturas en localizaciones puntuales.

4. Conclusiones

En el presente trabajo se ha mostrado un análisis comparativo entre los sondeos Modis y AIRS con radiosondeos convencionales. A pesar del diferente lapso de tiempo entre la obtención de los diferentes datos y la existencia de errores en las medidas de referencia, los resultados muestran un excelente comportamiento en ambos sensores, siendo éste muy bueno en los datos AIRS tal y como se esperaba de ellos resultando, por tanto, muy fiables para la obtención de temperaturas en localizaciones puntuales.

5. Referencias

- [1] King, J. I. F., "The radiative heat transfer of planet earth" *Scientific Use of Earth Satellites*, Univ. Michigan Press, Ann Arbor, Michigan, 133-136, 1956.
- [2] Smith, W. L., Woolf, H. M., Hayden, C. M., Wark, D. Q., McMillin, L. M., "The TIROS-N operational vertical sounder", *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 60, 1177-1187, 1979.
- [3] King, M. D., Kaufman, Y. J., Menzel, W. P. y Tanré, D., "Remote Sensing of cloud, aerosol and water vapor properties from the Moderate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 30, 2-27, ENE 1992.
- [4] King, M. D., Menzel, W. P., Kaufman, Y. J., Tanré, D., Gao, B., Platnick, S., Ackerman, S. A., Lorraine, A. R., Pincus, R. y Hubanks, P. A., "Cloud and aerosol properties, precipitable water and profiles of temperature and water vapor from MODIS", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 41 (2), 442-458, FEB 2003.
- [5] Aumann H.H., Chahine M.T., Gautier C., Goldberg M.D., Kalnay E., McMillin L.M., Revercomb H., Rosenkranz P.W., Smith W.L., Staelin D.H., Strow L.L. y Susskind J, "AIRS/AMSU/HSB on the aqua mission: Design, science objectives, data products, and processing systems", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 41 (2), 263-344, FEB 2003.
- [6] Goldberg M.D., Qu Y.N., McMillin L.M., Wolf W., Zhou L.H., Divakarla M., "AIRS near-real-time products and algorithms in support of operational numerical weather prediction", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 41 (2), 379-389, FEB 2003.
- [7] <http://raob.fsl.noaa.gov>
- [8] Huang H.L., Gumley L.E., Strabala K., Li J., Weisz E., Rink T., Baggett K.C., Davies J.E., Smith W.L., Dodge J.C., "International MODIS and AIRS processing package (IMAPP) - A direct broadcast software package for the NASA Earth Observing System", *Bull. Am. Met. Soc.* 85 (2): 159-161 FEB 2004.
- [9] Oettle, C. y Vidal-Madjar, D., "Estimation of land Surface temperature with NOAA 9 data" *Rem. Sens. Environ*, 40, 27-41, 1992.
- [10] Pérez Burgos, A. M., "Estimación de la Temperatura Superficial Mediante Imágenes de Satélite Utilizando un Modelo Monocanal" Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid, 150 pp., 1994.
- [11] Romo, A., "Localización de bancos de atún rojo en el Mediterráneo mediante Teledetección", Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid, 272 pp., 2004.
- [12] Ackerman, S. A., Strabala, K. I., Menzel, W. P., Frey, R. A., Moeller, C. C. y Gumley, L.E., "Discrimination clear sky from clouds with MODIS", *J. Geophys. Res.*, 103, 141-157, 1998.
- [13] Linés, A., "Climatología aeronáutica", Impreso por Iberia, *Líneas Aéreas de España, S.A.*, 368 pp., 1982.
- [14] Fetzer E., McMillin L. M., Tobin D., Aumann H. H., Gunson M. R., McMillan W. W., Hagan D. E., Hofstadter M. D., Yoe J., Whiteman D. N., Barnes J. E., RBennartz R., Vömel H., Walden V., Newchurch M., Minnett P., Atlas R., Schmidlin F., Olsen E. T., Goldberg M. D., Zhou S, Ding H., Smith W. L., y Revercomb H., "AIRS/AMSU/HSB Validation", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 41 (2), 418-431, FEB 2003.