

ESTIMACIÓN DE LA EMISIVIDAD ESPECTRAL CON DATOS TÉRMICOS ASTER DE LA ISLA DE TENERIFE

A. Barreto, M. Arbelo, L. Núñez-Casillas, P. Hernández-Leal, A. González-Calvo y A. Alonso-Benito.

*Grupo de Observación de la Tierra y la Atmósfera (GOTA), Departamento de Física, Universidad de La Laguna,
38200, La Laguna, Tenerife, Islas Canarias, España.*

RESUMEN

Se ha realizado una comparación entre la emisividad superficial obtenida por medio de *Temperature and Emissivity Separation* (TES) y *Normalized Emissivity Method* (NEM). Para ello se han utilizado imágenes ASTER para cuatro días y seleccionado tres áreas test dentro de la Isla de Tenerife, situadas a más de 1800 m de altura, y otra en el mar, con el fin de estudiar la mejora introducida en su determinación debida a la reducción del efecto atmosférico. Se han encontrado diferencias importantes en el contraste espectral para las zonas de pinos, mar y roca volcánica 1, de entre 0.015 a 0.111. Mientras, para la zona de contraste espectral moderado (roca volcánica 2) el resultado es excelente.

ABSTRACT

A comparison of surface emissivity retrieved by means of *Temperature and Emissivity Separation* (TES) and *Normalized Emissivity Method* (NEM) has been developed. ASTER images for four days and three different test areas within Tenerife Island have been used, located over 1800 m, and one more in the sea surface. This different range will be used to reduce atmospheric effect on emissivity satellite-retrieved. Significant differences in spectral emissivity have been found for vegetation, sea surface and volcanic rock 1 (from 0.015 to 0.111) while results obtained for volcanic rock 2 are excellent.

Palabras clave: emisividad, NEM, TES, ASTER.

INTRODUCCIÓN

La radiación emitida por una superficie a una longitud de onda dada, dentro del rango infrarrojo térmico, es una función no sólo de su temperatura, sino que depende también de su emisividad. Se trata de un parámetro muy importante para los estudios del balance radiativo terrestre en onda larga, base de cualquier estudio o modelización climática. Sin embargo su valor es altamente dependiente de la composición de la superficie, sobre todo con su contenido de humedad, rugosidad y tamaño de sus partículas constituyentes. También varía con la longitud de onda en la cual es medida, resolución y ángulo de observación. Esto da una idea de la complejidad que se presenta a la hora de su estimación. Si, además, esta estimación se realiza por medio de técnicas remotas en el infrarrojo térmico se convierte en una tarea muy complicada. A causa del acoplamiento temperatura-emisividad, para cada medida multiespectral remota de radiancia superficial tendremos información proveniente de N canales, siendo $N+1$ el número de incógnitas de nuestro sistema de ecuaciones (N emisividades y 1 valor de temperatura). Este acoplamiento hace que debamos introducir información adicional que rompa la indeterminación matemática de nuestro sistema. En este sentido, se

han desarrollado en los últimos años numerosos algoritmos para resolverlo a través de la introducción de distintas aproximaciones o suposiciones que logren convertir el problema en uno determinado. Son los denominados *algoritmos de separación*. Sus resultados se encuentran aún lejos de proporcionar datos de emisividad globales de alta calidad para su incorporación en estudios climáticos, sobre todo cuando son particularizados para superficies conocidas como grises, en las cuales su espectro de emisividad es típicamente constante, e invariable con la longitud de onda. Para tales superficies, como pueden ser las cubiertas vegetales, la superficie del mar o superficies rugosas (donde ocurren múltiples reflexiones), los algoritmos típicos de separación fallan sustancialmente (Schmugge et al, 2002 y Jimenez-Muñoz et al, 2006).

En este trabajo se ha evaluado la respuesta de dos algoritmos ampliamente usados para la obtención del espectro de emisividad superficial: *Temperature and Emissivity Separation* (TES) y *Normalized Emissivity Method* (NEM). Este estudio se ha llevado a cabo usando imágenes ASTER IR correspondientes a 4 días (02/03/03, 26/03/06, 16/04/08 y 19/06/08). Los espectros de emisividad fueron obtenidos en dos zonas bien diferenciadas de la Isla de Tenerife, ambas situadas a una altura

superior a los 1800 m. Esto garantizará que el efecto de absorción atmosférico principalmente debido a la presencia del vapor de agua quede minimizado.

ALGORITMOS EVALUADOS

Método de emisividad normalizado (NEM)

Fue desarrollado por Gillespie et al. (1998), y supone una emisividad constante, ϵ_{NEM} , en todos los N canales de un determinado píxel. Así se pueden obtener las N temperaturas de brillo a través de las radiancias corregidas del efecto de la atmósfera. En este punto, la mayor de las temperaturas así obtenidas es usada como primera aproximación de la temperatura superficial, y se obtienen las emisividades de canal. Esto significa que ϵ_{NEM} será siempre recuperada en el canal donde ocurre la temperatura máxima, que coincide con el canal donde la emisividad es mayor.

Separación de Temperatura y Emisividad (TES)

Desarrollado por Gillespie et al (1998), asimila las características de los modelos previos, como NEM, usado para realizar una primera estimación de la temperatura de la superficie terrestre, RATIO, que genera un espectro de cociente de emisividades que preserva la forma pero no la amplitud, y *Maximum-Minimum Difference* (MMD), que recupera su amplitud a partir de una relación entre el contraste espectral y la emisividad mínima, obtenida de medidas de laboratorio. Con todo esto, la temperatura y la emisividad superficial pueden ser obtenidas con una precisión de 1.5 K y 0.015, respectivamente.

De acuerdo con Gillespie et al (1998), y con el fin de minimizar el error introducido en los parámetros obtenidos con este algoritmo para el caso de superficies de MMD reducido, conocidas como grises, se propone calcular la emisividad mínima de acuerdo con la ecuación 1.

$$\epsilon_{min} = 0.99 - MMD \quad (1)$$

De esta nueva consideración surge el algoritmo catalogado como TES*, para diferenciarlo respecto del TES tradicional.

ÁREAS DE ESTUDIO

Parque nacional Las Cañadas del Teide

La Isla de Tenerife es la parte emergida de un vasto complejo volcánico que culmina en los 3718 m de altura del Volcán Teide. Las Cañadas es su principal componente, localizado en la parte central de la isla a más de 1900 m de altitud, y compuesto por numerosos tipos de coladas volcánicas surgidas de las distintas erupciones

históricas produciendo un extenso mosaico de sub-áreas de composición homogénea.

Además, el predominio del flujo de vientos alisios en las Islas Canarias trae consigo una estructura atmosférica vertical típica en la que se mantiene una parte importante del vapor de agua atmosférico concentrado bajo una altitud media de 1500 m. Esto nos proporcionará una oportunidad única para minimizar el efecto de la atmósfera sobre los datos de satélite usando una zona test de referencia situada sobre la esta capa de inversión.

Se han seleccionado dentro de esta zona dos coladas diferenciadas, catalogadas con las abreviaturas V1 y V2, no presentando ninguna de ellas ningún tipo de cobertura vegetal ni variación significativa en su composición.

○ *Colada de Montaña Chahorra (V1)*: Se trata de un área volcánica homogénea de 4.9 km² de extensión situada a 1980 m de altura dentro de Las Cañadas justo al oeste del complejo Teide-Pico Viejo. Está compuesta por lava del tipo tetra-fonolita.

○ *Fisura eruptiva fonolítica de Montaña Blanca (V2)*: Constituyen coladas fonolíticas muy viscosas y en bloque de corto recorrido que discurrieron por la ladera sur de Montaña Blanca.

Bosque de coníferas

Se trata de un área densamente vegetada en el Valle de la Orotava, cubierto por *pinus canariensis*. Está situada a más de 1800 m sobre el nivel del mar. Presenta las mismas condiciones atmosféricas que las zonas test anteriores debido a su localización sobre el estrato que confina la mayor parte de la concentración de vapor de agua atmosférico. Su extensión es de aproximadamente 3.5 km en la dirección norte-sur y de 8.5 km en la este-oeste. Además, esta especie vegetal no presenta variaciones importantes en su ciclo vegetal a lo largo del año.

Mar

Se ha tomado como referencia de cuerpo de emisividad bien conocida la superficie del mar con el fin de estudiar la mejora en el término de corrección atmosférica a través de la comparación de su impacto sobre un cuerpo situado a nivel del mar y otro situado sobre la capa de inversión. En particular, se ha seleccionado una superficie situada en la vertiente sureste de la Isla, frente al municipio de Güímar.

RESULTADOS

Espectros de emisividad de las zonas test

Los espectros de emisividad de las distintas

zonas volcánicas en estudio y de la zona cubierta por vegetación fueron determinados mediante medidas de laboratorio siguiendo el método de la caja propuesto por Rubio et al (2003). El comportamiento espectral de la emisividad para la superficie del mar fue aproximado a un valor constante de 0.99. La figura 1 muestra el resultado para cada una de las cuatro zonas de estudio.

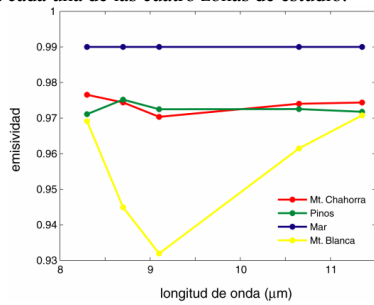


Figura 1.- Espectro de emisividad de las cuatro zonas de estudio.

Puede comprobarse como existen dos tipos bien diferenciados de superficies según el comportamiento de su espectro de emisividad: de bajo contraste (zonas VI, pinos y mar) y de contraste moderado (V2).

Comparación entre algoritmos

A continuación se realizará un estudio de comparación entre el espectro obtenido para cada tipo de superficie haciendo uso de los algoritmos TES, TES* y NEM y datos ASTER corregidos atmosféricamente mediante el código de transferencia radiativa MODTRAN (Berk et al, 1999) incorporando datos de la atmósfera en el momento de la toma de datos extraídos del radiosondeo local proporcionado por la Universidad de Wyoming (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>).

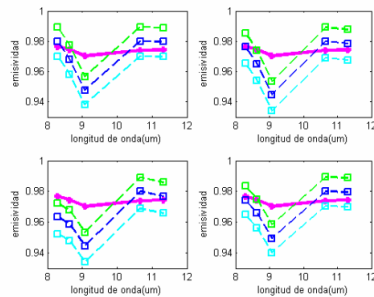


Figura 2.- Espectro de emisividad obtenido por TES (cian), TES* (verde) y NEM (azul) para la zona 1 en los días (a) 02/03/03, (b) 26/03/06, (c) 16/04/08 y (d) 19/06/08.

A la vista de los resultados de la figura 2, podemos comprobar como para la zona V1 los tres algoritmos obtienen un contraste espectral muy similar y elevado, entre 0.037 y 0.032, frente al medido en laboratorio (0.006). Esta discrepancia apuntaría a posibles deficiencias en la corrección atmosférica asociadas al canal ASTER 12, más afectado por los efectos de absorción del ozono atmosférico. De cualquier manera, parece que el algoritmo NEM es el que ofrece unos resultados más satisfactorios para esta zona.

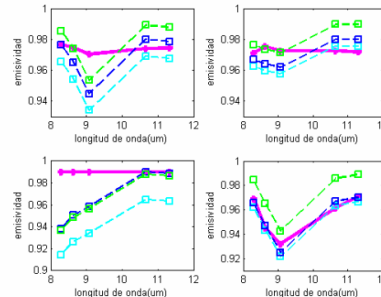


Figura 3.- Espectro de emisividad obtenido por TES (cian), TES* (verde) y NEM (azul) para la zona 2 en los días (a) 02/03/03, (b) 26/03/06, (c) 16/04/08 y (d) 19/06/08.

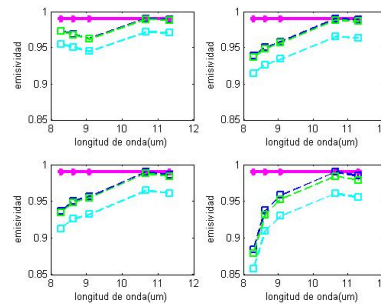


Figura 4.- Espectro de emisividad obtenido por TES (cian), TES* (verde) y NEM (azul) para la zona 3 en los días (a) 02/03/03, (b) 26/03/06, (c) 16/04/08 y (d) 19/06/08.

La figura 3 muestra los resultados obtenidos para la zona que corresponde al bosque de pinos. De nuevo un contraste espectral irreal es introducido por los tres algoritmos en estudio, de entre 0.022 y 0.015. Si lo comparamos con el contraste de la muestra medida en laboratorio (0.004) podemos afirmar que se están introduciendo errores significativos en su determinación. Respecto a la zona 3 (mar), la figura 4 muestra de nuevo una clara discrepancia en la emisividad espectral, que traducida a errores en su contraste espectral suponen

diferencias de entre 0.028 a 0.111. Errores superiores se encuentran para el día 19/06/08, donde el contenido de agua precipitable atmosférica en el nivel superficial era claramente superior (no mostrado). Así, estas diferencias tan importantes se podían deber a imprecisiones muy significativas en la corrección atmosférica introducida en los canales 10-12, más afectados por los procesos de absorción del vapor de agua. Sin embargo, para los días en los que esta variable tiene una influencia menor (02/03/03 y 26/03/06) se comprueba que el espectro obtenido continúa introduciendo un contraste irreal, al igual que en las dos regiones anteriores. De entre los tres algoritmos estudiados para esta zona podemos comprobar como el TES es el que peor resultados obtiene, mientras que, en general, NEM es el que más aproxima el espectro obtenido al considerado de referencia, aunque con resultados muy similares al algoritmo TES^{*}.

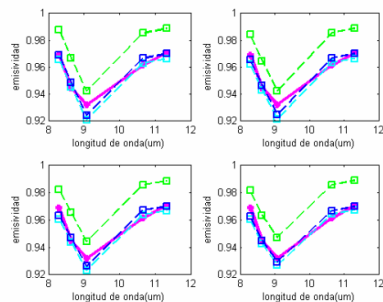


Figura 5.- Espectro de emisividad obtenido por TES (cian), TES^{*} (verde) y NEM (azul) para la zona 4 en los días (a) 02/03/03, (b) 26/03/06, (c) 16/04/08 y (d) 19/06/08.

Por último, se muestra en la figura 5 el espectro para la superficie volcánica catalogada como V2, la cual posee un contraste espectral moderado, a diferencia de las tres anteriores. A pesar de estar situada a la misma altura que la zona de vegetación y la zona V1 hemos obtenido por medio de TES y NEM un resultado excelente. Sin embargo, las discrepancias observadas para TES^{*} hacen que sea descartado. Se trata sin lugar a dudas de estos últimos los que mejores resultados obtienen, no produciendo el algoritmo TES mejoras significativas respecto a su primer módulo NEM.

CONCLUSIONES

Los resultados de los algoritmos TES, TES^{*} y NEM para las zonas de bajo contraste espectral (V1, pinos y mar) muestran su incapacidad para recuperar espectros de emisividad de bajo contraste espectral. Sin embargo, obtienen un resultado

excelente para la zona de contraste espectral moderado (V2). Dado que las zonas V1, V2 y la superficie cubierta de pinos se encuentran situadas aproximadamente a la misma altura sobre el nivel del mar, y todas ellas sobre la capa de inversión, es presumible que el efecto atmosférico sobre los datos remotos quede minimizado, lo cual queda demostrado con los resultados obtenidos en la zona V2. Todos estos factores descartan a las imprecisiones en la corrección atmosférica como causantes de la incertidumbre en la emisividad recuperada por medio de datos remotos para superficies grises y apuntan a la necesidad de introducir un algoritmo propio para su determinación en el caso de este tipo de superficies.

Este estudio muestra también que tanto TES como TES^{*} no producen una mejora significativa respecto de la emisividad obtenida mediante el algoritmo NEM.

BIBLIOGRAFÍA

- Berk, A., Anderson, G. P., Acharya, P. K., Chetwyn, J. H., Bernstein, L. S., Shettle, E. P., et al. 1999. *Modtran 4 user's manual*. Air Force Research Laboratory, Space Vehicles Directorate, Air Force Materiel Command, Hascom AFB, MA, 95 pp.
- Gillespie, A. R., Matsunaga, T., Rokugawa, S. & Hook, S. J. 1998. Temperature and emissivity separation from Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36, 1113-1125.
- Jimenez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Gillespie, A., Sabol, D. & Gustafson, W. T. 2006. Improved land surface emissivity over agricultural areas using ASTER NDVI. *Remote Sensing of Environment*, 103, 474-487.
- Rubio, E., Caselles, V., Coll, C., Valor, E. & Sospedra, F. 2003. Thermal-infrared emissivities of natural surfaces: improvements on the experimental set-up and new measurements. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 24, no. 24, 5379-5390.
- Schmugge, T., French, A., Ritchie, J. C., Rango, A. & Pelgrum, H. 2002. Temperature and emissivity separation from multispectral thermal infrared observations. *Remote Sensing of Environment*, 79, 189-198.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (Proyecto de Investigación CGL2007-66888-C02-01/CLI).