

Determinación simultánea de las temperaturas de la vegetación y del suelo

V. Caselles, L. Redondo y Y. García

Correo electrónico: Vicente.Caselles@uv.es

*Departamento de Termodinámica, Facultad de Física, Universidad de Valencia
46100 Burjassot, España*

RESUMEN

Basándonos en el modelo desarrollado por Caselles y Sobrino (1989), se han obtenido dos expresiones que proporcionan, por separado, el valor de la temperatura a la que se encuentra el suelo y el valor de la temperatura de la vegetación a partir del valor efectivo de temperatura de un píxel mixto. Para ello partimos de dos medidas de temperatura desde satélite, obtenidas utilizando dos ángulos de observación distintos (nadir y un ángulo grande).

PALABRAS CLAVE: temperatura del suelo, temperatura de la vegetación, ATSR, SPECTRA.

ABSTRACT

Based on the model developed by Caselles and Sobrino (1989), the temperature of the vegetation and the temperature of the soil for an incomplete canopy were derived. Therefore, two measurements of the temperature from a satellite are needed. These measurements must be done from two different observation angles: nadir and a big angle.

KEY WORDS: soil temperature, vegetation temperature, ATSR, SPECTRA.

INTRODUCCIÓN

Al realizar desde satélite una medida radiométrica de una superficie natural cualquiera, se obtiene un valor de temperatura que caracteriza a toda la superficie en general (la llamada temperatura efectiva). Un modelo que da una interpretación física a este tipo de medidas es el propuesto por Caselles y Sobrino (1989). Sin embargo, éste no permite distinguir la temperatura a la que se encuentran los distintos elementos que componen, principalmente, dicha superficie: el suelo y la vegetación.

Con el fin de poder obtener por separado la temperatura propia del suelo y la de la vegetación, hemos desarrollado, a partir del modelo de Caselles y Sobrino (1989), dos expresiones matemáticas que proporcionan directamente dichas contribuciones a la temperatura efectiva de una superficie heterogénea. Para ello necesitamos que desde el satélite se realice la medida de la temperatura efectiva de la superficie terrestre desde dos ángulos de observación distintos: nadir y un ángulo grande.

MODELO DE CASELLES Y SOBRINO

La realización de medidas radiométricas en una superficie rugosa y heterogénea, presenta una mayor complejidad frente a las realizadas en una superficie lisa y homogénea, ya que deben considerarse las distintas contribuciones de las diferentes partes del sistema a la radiancia observada. Cuando se realizan medidas radiométricas sobre superficies naturales, las cuales presentan generalmente rugosidades y son heterogéneas, será necesario, pues, realizar una serie de simplificaciones. Para ello se definen unos parámetros efectivos de emisividad y temperatura que nos permitan tratar estas superficies como llanas y homogéneas.

Caselles y Sobrino (1989) definieron la temperatura efectiva de una superficie heterogénea y rugosa, considerándola como una distribución regular de elementos vegetales sobre un determinado suelo. Cada elemento vegetal se representa mediante una caja de paredes lambertianas, que presenta una determinada altura H y una longitud

L, siendo la separación entre elementos vegetales, S (Figura 1).

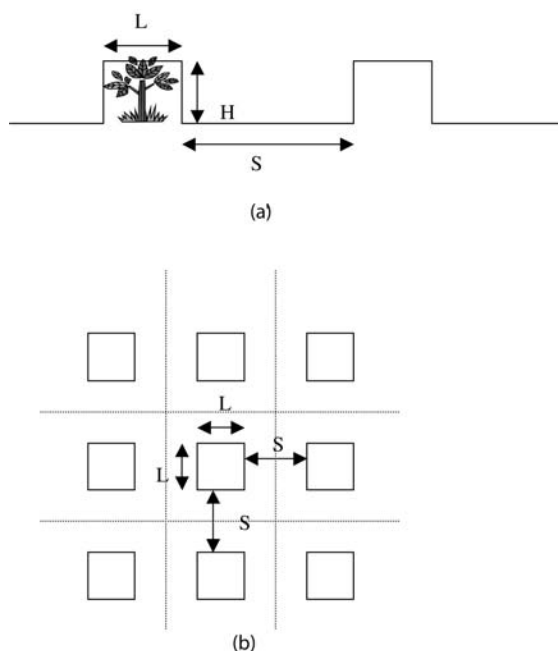


Figura 1. Modelo geométrico de una superficie vegetada. (a) Vista frontal, (b) Vista desde el nadir (Valor, 1997).

Según este modelo geométrico, la radiancia total que llega al radiómetro situado sobre una plataforma espacial, será la suma ponderada de las radiancias procedentes de la parte inferior o suelo, de la pared superior o techo, y del lateral del elemento vegetal. Así, la radiancia emitida por una superficie heterogénea viene dada por la siguiente expresión:

$$L = P_s L_s + P_t L_t + P_p L_p \quad (1)$$

siendo P_s , P_t y P_p las proporciones respectivas del suelo, techo y lateral de la rugosidad observadas por el radiómetro. Aunque P_s y P_p dependen del ángulo de observación, siempre se cumple que

$$P_s + P_p + P_t = 1 \quad (2)$$

Para estudiar una superficie heterogénea, como es el caso de un cultivo agrícola, el modelo de Caselles y Sobrino (1989) supone que las temperaturas de las distintas partes del sistema no difieren mucho de la temperatura a la que consideramos que radia el sistema en su totalidad, es decir, de su temperatura efectiva. Esto permite quedarse en los

primeros términos del desarrollo en serie de la ecuación de Planck, con lo que se obtiene una expresión para la emisividad efectiva dada por la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \varepsilon_t P_t + (\varepsilon_s + (1 - \varepsilon_s) \varepsilon_p F) P_s + (\varepsilon_p + (1 - \varepsilon_p) \varepsilon_s G + (1 - \varepsilon_p) \varepsilon_p F') P_p \quad (3)$$

Según esta expresión, la emisividad efectiva depende del ángulo de observación, a través de las proporciones, de la geometría de la rugosidad, de los factores de forma (F , F' y G) y del tipo de rugosidad por medio de las emisividades del suelo, pared y techo, ε_s , ε_p , y ε_t .

Del mismo modo, la temperatura efectiva del sistema vendrá dada por la expresión:

$$T = a T_t + b T_s + c T_p \quad (4)$$

donde los parámetros a , b y c tienen en cuenta las contribuciones a la temperatura efectiva de las temperaturas de cada uno de los elementos del sistema, y vienen dados por:

$$a = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon} P_t \quad (5)$$

$$b = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon} \left[P_s + (1 - \varepsilon_p) G' P_p \right] \quad (6)$$

$$c = \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon} \left\{ (1 - \varepsilon_s) F' P_s + \left[1 + (1 - \varepsilon_p) F'' \right] P_p \right\} \quad (7)$$

donde se cumple que $a + b + c = 1$.

Basándonos en el modelo descrito en este apartado, se puede llegar a obtener dos expresiones que nos proporcionen, por separado, la temperatura de la vegetación y la temperatura del suelo, en función de las temperaturas efectivas de esta superficie obtenidas bajo dos ángulos distintos, como veremos a continuación.

TEMPERATURA DEL SUELO Y DE LA VEGETACIÓN

En muchos casos $T_t \approx T_p$, con lo que la temperatura total del sistema presentará, por un lado, la contribución debida a la temperatura del suelo, T_s , y por otro lado, la contribución de la temperatura de la vegetación, $T_v = T_t = T_p$. Por tanto, la ecuación (4) se podrá escribir en función únicamente de las contribuciones debidas a la vegetación, T_v , y al suelo, T_s , como:

$$T = (a + c) T_v + b T_s \quad (8)$$

Por otro lado, teniendo en cuenta que los parámetros a , b y c cumplen que su suma es igual a la unidad, la expresión (8) puede reescribirse en función sólo del parámetro b :

$$T = (1 - b) T_v + b T_s \quad (9)$$

Siguiendo un razonamiento similar al anterior, se puede suponer que la emisividad de la pared y del techo se corresponderán con la emisividad característica de la vegetación, $\epsilon_p = \epsilon_t = \epsilon_v$. De esta forma, el parámetro b podrá expresarse, para el caso concreto de una superficie con vegetación, como:

$$b = \frac{\epsilon_s}{\epsilon} \left[P_s + (1 - \epsilon_v) G' P_p \right] \quad (10)$$

Según esto, la expresión (9) será,

$$T = \frac{\epsilon_s}{\epsilon} \left[P_s + (1 - \epsilon_v) G' P_p \right] T_s + \left(1 - \frac{\epsilon_s}{\epsilon} \left[P_s + (1 - \epsilon_v) G' P_p \right] \right) T_v \quad (11)$$

Con el objeto de lograr desacoplar esta expresión y poder separar las temperaturas correspondientes al suelo, T_s , y a la vegetación, T_v , supondremos que se pueden realizar desde satélite dos medidas de la temperatura de una superficie con dos ángulos distintos (éste es el caso del sensor ATSR y de la futura misión SPECTRA). Se obtendrán pues, dos expresiones para la temperatura efectiva, una para cada ángulo de observación, $T_1(\theta_1)$ y $T_2(\theta_2)$. En éstas, los parámetros correspondientes a las temperaturas del suelo y de la vegetación, y sus emisividades, no cambiarán, pero sí lo harán la emisividad efectiva y las proporciones de suelo, pared y techo que se observen. Los valores de T_1 y T_2 serán los obtenidos en las medidas con el sensor y, por tanto, serán conocidos, mientras que los valores de ϵ_1 y ϵ_2 se obtendrán a partir de la expresión (3), ya que las proporciones y los factores de forma pueden determinarse mediante razonamientos geométricos.

Si se restan ambas expresiones, se obtiene que

$$(T_1 - T_2) = \epsilon_s \left[\left(\frac{P_{s1}}{\epsilon_1} - \frac{P_{s2}}{\epsilon_2} \right) + (1 - \epsilon_v) G' \left(\frac{P_{p1}}{\epsilon_1} - \frac{P_{p2}}{\epsilon_2} \right) \right] (T_s - T_v) \quad (12)$$

Operando con este resultado y con las expresiones de la temperatura efectiva para los dos ángulos, $T_1(\theta_1)$ y $T_2(\theta_2)$, llegamos a dos expresiones, matemáticamente sencillas, para las temperaturas del suelo y de la vegetación. Ambas ecuaciones, que vendrán dadas en función de las dos medidas realizadas de temperatura, T_1 y T_2 , son las siguientes:

$$T_s = (A+1) T_1 - A T_2 \quad (13)$$

$$T_v = (1 - A') T_1 - A' T_2 \quad (14)$$

donde los parámetros A y A' se definen como:

$$A \equiv \frac{1 - \frac{\epsilon_s}{\epsilon_1} \left[P_{s1} + (1 - \epsilon_v) G' P_{p1} \right]}{\epsilon_s \left[\left(\frac{P_{s1}}{\epsilon_1} - \frac{P_{s2}}{\epsilon_2} \right) + (1 - \epsilon_v) G' \left(\frac{P_{p1}}{\epsilon_1} - \frac{P_{p2}}{\epsilon_2} \right) \right]} \quad (15)$$

$$A' \equiv \frac{\frac{\epsilon_s}{\epsilon_1} \left[P_{s1} + (1 - \epsilon_v) G' P_{p1} \right]}{\epsilon_s \left[\left(\frac{P_{s1}}{\epsilon_1} - \frac{P_{s2}}{\epsilon_2} \right) + (1 - \epsilon_v) G' \left(\frac{P_{p1}}{\epsilon_1} - \frac{P_{p2}}{\epsilon_2} \right) \right]} \quad (16)$$

CONCLUSIONES

En este trabajo hemos sugerido la forma de obtener por separado la temperatura de la vegetación y la del suelo, a partir de la medida, bajo dos ángulos distintos, de la temperatura de una superficie heterogénea.

Se partió del modelo de Caselles y Sobrino (1989) y se hizo la hipótesis de que es posible realizar al menos dos medidas de la temperatura de una superficie cultivada desde dos ángulos distintos de observación (nadir y un ángulo grande). Este es el caso del sensor ATSR y de la futura misión SPECTRA. Realizando los cálculos matemáticos pertinentes, conseguimos separar ambas variables y llegar a dos expresiones sencillas que proporcionan la temperatura del suelo y de la vegetación de una superficie heterogénea.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestra gratitud al Ministerio de Ciencia y Tecnología (Proyecto REN2001-3116) y a la Unión Europea (Fondos FEDER) por la financiación recibida, y al Dr. E. Valor (Univ. de València) por las sugerencias realizadas.

BIBLIOGRAFÍA

- CASELLES, V. y SOBRINO, J. A. 1989. Determination of frost in orange groves from NOAA-9 AVHRR data. *Remote Sensing of Environment*. 29: 135-146.
- VALOR, E. 1997. Determinación de la emisividad de la superficie terrestre a partir de imágenes de satélite. *Tesis Doctoral*, Universitat de València.

