

OBTENCIÓN DE UN MAPA DE TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE TERRESTRE A PARTIR DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR EL SENSOR AVHRR DEL NOAA 11

J.A. SOBRINO, V. CASELLES Y C. COLL

Departamento de Termodinámica, Facultad de Física, Universidad de Valencia. Valencia

RESUMEN

En el presente trabajo se propone un método original que permite obtener la temperatura real de la superficie terrestre a partir de la combinación lineal de las temperaturas radiométricas medidas en los canales térmicos 4 y 5 del sensor AVHRR del NOAA-11. Este método se basa en la evaluación conjunta de la corrección atmosférica y de emisividad, la determinación de las emisividades del suelo y de la vegetación y el conocimiento de la composición del píxel observado. Dentro de este contexto se proporciona un algoritmo que obtiene la temperatura real del cultivo a partir de la corrección de las contribuciones del suelo y de las impurezas en la temperatura efectiva del píxel.

ABSTRACT

The present work give an original method for obtaining the land surface temperature from the linear combination of the brightness temperatures measured in the thermal channels 4 and 5 by the sensor AVHRR on board the NOAA-11. This method is based on the joint evaluation of the atmospheric and emissivity correction, the measurement of crop and ground emissivities and the knowledge of the pixel composition. With tis model the actual crop temperature has been obtained from the correction of the effects of the ground and impurities in the effective temperature.

1. INTRODUCCIÓN

La temperatura de la superficie terrestre es el resultado de todas las interacciones superficie-atmósfera y de los flujos de energía entre la atmósfera y el suelo. Su conocimiento a gran escala mediante el uso de la teledetección en el infrarrojo térmico es esencial para la mayoría de los modelos climáticos. Sin embargo, su obtención constituye un problema de difícil solución. Las radiancias espectrales medidas por los radiómetros ubicados a bordo de los satélites están influenciadas tanto por los parámetros de la superficie (emisividad y temperatura) como por la composición y estructura térmica de la atmósfera existente entre la superficie y el sensor. Desafortunadamente la radiometría pasiva no permite separar ambos efectos debido a que el número de incógnitas involucradas en la medida espacial es siempre mayor que el número de medidas.

Hasta la fecha la forma habitual de solventar este inconveniente ha consistido en la utilización de hipótesis adicionales, como lo es por ejemplo suponer conocida la emisividad en un canal (Kahle, 1987). Sin embargo y aún bajo esta inevitable hipótesis, la determinación de la temperatura por teledetección ha venido afectada de otras fuentes de error como son: (a) la evaluación por separado de las correcciones atmosférica y de emisividad, ignorando así la interdependencia existente entre ambas, (b) la utilización de los algoritmos de corrección atmosférica del tipo "split-window" desarrollados para el mar a la obtención de la temperatura de la superficie

terrestre y (c) la adopción de hipótesis sobre el dato de emisividad a utilizar que en la mayoría de las situaciones no tienen en cuenta el intervalo espectral del sensor, ni la heterogeneidad y/o rugosidad de las superficies observadas.

En el presente trabajo proponemos un método original que permite obtener un mapa de temperatura de la superficie terrestre a partir de la combinación lineal de las temperaturas radiométricas medidas en los canales 4 (10,3-11,3 μm) y 5 (11,5-12,5 μm) del sensor AVHRR del NOAA 11. Para ello hemos estudiado en primer lugar el caso de la determinación de la temperatura efectiva a la escala del píxel AVHRR, para posteriormente abordar el caso más complejo de la obtención de la temperatura de la vegetación, situación en la que es necesario además evaluar el impacto de las proporciones de los otros elementos que generalmente constituyen el píxel (suelo de cultivo e/o impurezas). Para finalizar se incluyen los primeros resultados de la aplicación de esta metodología al caso de la obtención de la temperatura del naranjo.

2. TEMPERATURA EFECTIVA DE UN PÍXEL AVHRR

La obtención de la temperatura termodinámica de la superficie terrestre por teledetección necesita corregir los efectos perturbadores introducidos por la atmósfera así como conocer la emisividad efectiva de la superficie observada en tanto que ésta no es un cuerpo negro. La corrección conjunta de

ambos efectos se ha llevado a cabo mediante un método bicanal denominado "split-window" por obtener la temperatura de la superficie como una combinación de las temperaturas radiométricas T_4 y T_5 medidas en los canales térmicos 4 y 5 del sensor AVHRR del NOAA 11, de acuerdo con (Sobrinho et al., 1991a):

$$T = T_4 + A(T_4 - T_5) + B \quad (1)$$

donde T representa la temperatura efectiva del píxel observado por el sensor y ya corregida del efecto de la atmósfera y de la emisividad, y siendo:

$$A = a_0 + (1 - \epsilon_4) + a_2 \Delta \epsilon \quad (2)$$

y

$$B = T_4 \left(\frac{1 - \epsilon_4}{\epsilon_4} b_4 + \frac{1 - \epsilon_5}{\epsilon_5} b_5 \right) \quad (3)$$

dos coeficientes que dependen de la emisividad efectiva del píxel, a través de la emisividad del canal 4 (ϵ_4) y de su diferencia en los canales 4 y 5 ($\Delta \epsilon = \epsilon_4 - \epsilon_5$), y del perfil atmosférico existente a través de los parámetros a_0 , a_1 , a_2 , b_4 , y b_5 .

En el presente trabajo estamos interesados en analizar el papel que juega la emisividad efectiva en la determinación de la temperatura y por tanto adoptaremos como valores de los parámetros los obtenidos para el algoritmo de corrección atmosférica global ($a_0=2,29$, $a_1=2,41$, $a_2=-8,2$, $b_4=0,49$ y $b_5=0,33$) e incluiremos asimismo el término corrector del efecto de la no constancia de la temperatura efectiva de la atmósfera en los canales térmicos ($\Delta = -0,41$ K), tal y como se indica en otro trabajo presentado por los mismos autores en esta IV Reunión (Coll et al., 1992).

La adopción de este algoritmo global no supone un gran inconveniente, salvo para las atmósferas muy extremas (árticas y tropicales) en las que la hipótesis de una única atmósfera mundial podría llevar a cometer un error de estimación en la temperatura efectiva mayor que los 0,4 K que se han obtenido en la comparación de este algoritmo con un gran número de situaciones geofísicas simuladas con el programa LOWTRAN-7 (Kneizys et al., 1988).

2.1. Impacto de la emisividad.

La situación en la que se ha comprobado el algoritmo global es una situación ideal al suponer que se conoce la emisividad efectiva en los canales térmicos. Desgraciadamente, la radiometría pasiva, no permite acceder al dato de emisividad efectiva del píxel, por lo que la única posibilidad consiste en utilizar como datos de entrada de las ecuaciones (2) y (3) las medidas de emisividad realizadas en el campo. Sin embargo, este procedimiento no constituye una tarea fácil al tener que considerar otros problemas como son: 1) las diferencias entre los radiómetros de campo y los ubicados en los satélites, 2) el cambio de escala (medida "in situ" prácticamente puntual frente al área integrada por el satélite del orden de 1 Km²), 3) la variabilidad temporal de las superficies observadas, etc. Como resultado final la imprecisión sobre el dato de emisividad efectiva será lógicamente mayor que la pro-

porcionada por la medida de campo (del orden del 0,6% para aquellas medidas realizadas con los métodos más precisos).

A la luz de toda esta problemática, se hace necesario evaluar el impacto de la emisividad efectiva en los coeficientes split-window. De cara a facilitar este estudio proponemos para el coeficiente B una expresión en la que se ha eliminado T_4 :

$$B = 48 (1 - \epsilon_4) - 98 \Delta \epsilon \quad (4)$$

siendo 48 y 98 dos constantes obtenidas de la regresión múltiple del coeficiente B (ecuación 3 para el caso global) frente a las emisividades de los canales 4 y 5 del sensor AVHRR en un gran número de simulaciones con el programa LOWTRAN-7. Con este procedimiento se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,996 y un error estándar de estimación de 0,07 K.

A continuación, se ilustra en la Figura 1 el efecto de la emisividad efectiva sobre los coeficientes A y B , ecuaciones 2 y 4 respectivamente. Los cálculos se han realizado para los valores más usuales de la emisividad efectiva en el canal 4 (desde 0,94 a 1) y de su diferencia espectral en los canales 4 y 5 (-0,01; 0 y 0,01) (Nerry, 1988; Salisbury y Milton, 1988; Sobrinho y Caselles, 1989). De esta forma se asegura incluir en el análisis desde la superficie del mar hasta los desiertos pasando por las superficies cubiertas de vegetación. De la Figura se observa claramente un coeficiente A que es prácticamente constante con la emisividad y su diferencia en los canales térmicos, lo que permite adoptar para él un valor medio de $2,4 \pm 0,1$. Por contra, el coeficiente B varía fuertemente con la emisividad, así por cada variación de 0,01 en los valores de ϵ_4 y de $\Delta \epsilon$ se producen en B variaciones del orden de 0,5 K y 1K respectivamente. Finalmente se observa la importancia del efecto de la emisividad que puede llevar a cometer errores en el coeficiente B de hasta 5 K.

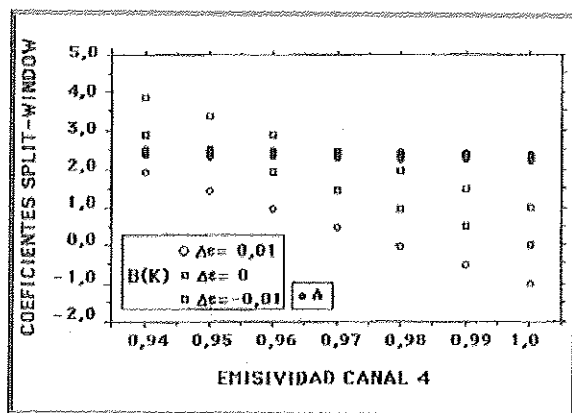


Figura 1.-Valores de los coeficientes split-window globales A (Ecuación 2) y B (Ecuación 4) en función de la emisividad efectiva del píxel en el canal 4 y de su diferencia en los canales 4 y 5.

3. TEMPERATURA DE LA VEGETACIÓN

El dato de la temperatura efectiva a la escala del píxel es válido para el análisis térmico de las superficies homogéneas como es el caso del mar, sin embargo no se puede decir lo mismo cuando se trata de estudiar el comportamiento térmico de la superficie terrestre que generalmente es rugosa y heterogénea. En esta situación, el dato requerido no siempre es el de la temperatura real del píxel (valor efectivo resultado de la integración sobre los constituyentes del sistema radiante) sino el de uno de los constituyentes del sistema radiante. En particular en el presente trabajo nos ocuparemos del caso de la obtención de la temperatura de la vegetación, parámetro que es fundamental en los modelos agrometeorológicos. Su obtención se llevará a cabo en dos situaciones bien diferenciadas: a) en los píxeles en los que el único efecto perturbador lo constituye la proporción del suelo observado por el sensor y b) en aquellos píxeles en los que coexisten con el cultivo de interés otras ocupaciones del suelo que denominamos "impurezas" (camino, otros cultivos, agua, etc.).

3.1. Efecto de la proporción del suelo.

Como paso previo a este estudio es necesario modelizar la extraordinaria complejidad de las superficies naturales, para ello hemos introducido una simplificación geométrica de las superficies cultivadas que consiste en adoptar como válida la aproximación geométrica de cajas lambertianas infinitamente largas propuesta por Sutherland y Bartholic (1977). Bajo esta simplificación, Sobrino y Caselles (1990), obtienen las ecuaciones que proporcionan los parámetros efectivos direccionales de temperatura, T, y emisividad, ε, en un sistema cultivado compuesto por suelo y vegetación, y en el que, para simplificar hemos considerado la ausencia de sombras sobre el sistema radiante:

$$T = T_c + P_s \Delta T_s \tag{5}$$

$$\epsilon = \epsilon_c P_t + [\epsilon_s + (1 - \epsilon_s) \epsilon_c F'] P_s + [\epsilon_c + (1 - \epsilon_s) \epsilon_s G' + (1 - \epsilon_s) \epsilon_c F''] P_p \tag{6}$$

donde $\Delta T = T_s - T_c$ es la diferencia de temperatura entre el suelo y el cultivo, cuya evaluación debe realizarse por radiometría de campo para cada cultivo y para cada situación atmosférica (Caselles y Sobrino, 1989), F', G' y F'' son los factores de forma que dependen de la geometría de la rugosidad y cuyo cálculo puede realizarse fácilmente de acuerdo con el procedimiento propuesto por Kreith y Black (1980), ϵ_s y ϵ_c son respectivamente las emisividades del suelo y de la vegetación, que deben ser medidas "in situ" mediante el método de la caja (Caselles et al., 1988) y siendo P_s , P_t y P_p respectivamente las proporciones del suelo, techo y pared de la vegetación observadas por el satélite, y calculadas en función del ángulo de observación del satélite, θ , y de la geometría del cultivo (separación de hileras, S, altura, H, y anchura de los elementos vegetales, F), de acuerdo con (Sobrino et al., 1990):

$$P_s(\alpha, h, 0) = (1/\alpha) \sum_{i=1}^N \varphi_i \tag{7}$$

$$P_p(\alpha, h, 0) = (1/\alpha) \sum_{i=1}^N \gamma_i \tag{8}$$

$$P_t(\alpha, h, 0) = (1/\alpha) \sum_{i=1}^N \beta_i \tag{9}$$

donde α es el campo instantáneo de visión del sensor φ_i , γ_i y β_i los campos instantáneos de visión con que el suelo, la pared y el techo del elemento i-ésimo son observados por el sensor.

De esta forma, es fácil obtener la temperatura de la vegetación como:

$$T_c = -0,41 + T_4 + 2,4(T_4 - T_5) + B_0 + \Delta B_s \tag{10}$$

donde $\Delta B_s = [B - B_0 - P_s \Delta T_s]$ es un factor que corrige la temperatura del píxel del efecto de la proporción del suelo observado y siendo B_0 el valor del coeficiente B (Ecuación 4) para un píxel compuesto exclusivamente por vegetación. La Figura 2 muestra la influencia que la proporción del suelo, la diferencia de temperatura entre el suelo y la vegetación ($\Delta T_s = 5$ K) y el efecto de la cavidad ($\Delta T_s = 0$ K) tienen en la temperatura del cultivo. Esta Figura se ha construido suponiendo para la geometría del cultivo $H = F = 3$ y $S = 2$ y considerando tres tipos extremos de suelo de cultivo; arena ($\epsilon_4 = 0,96$; $\Delta \epsilon = -0,01$), limo ($\epsilon_4 = 0,97$; $\Delta \epsilon = -0,01$) y arcilla ($\epsilon_4 = 0,98$; $\Delta \epsilon = 0,005$); y asumiendo para la vegetación unos valores típicos de emisividad ($\epsilon_4 = 0,98$; $\Delta \epsilon = -0,005$) a partir de los cuales se tiene $B_0 = 1,45$ K. La línea punteada mostrada en la Figura indica el caso de un cultivo homogéneo en el que $B_0 = B$ ($\Delta B_s = 0$), y por tanto no debe confundirse con el efecto de cavidad del caso heterogéneo cuando el sensor no observa el suelo ($P_s = 0$) situación en la que al aumentar la

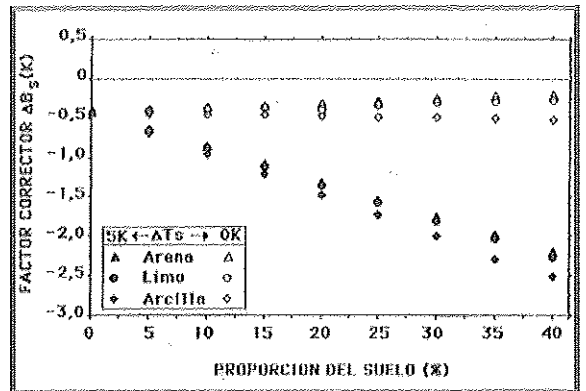


Figura 2.- Factor corrector en K de la temperatura de la vegetación en función de la proporción del suelo observado. Los cálculos se han realizado considerando tres tipos de suelo de cultivo (arena, limo y arcilla) y dos valores de la diferencia térmica suelo-vegetación.

emisividad efectiva se tiene $B_0 > B$ ($\Delta B_s = -0,5$ K). Por último se observa la no dependencia del factor corrector con el tipo de suelo considerado, contrariamente a lo que sucede con la diferencia térmica que, para este caso, presenta un intervalo de variación de hasta 2 K.

3.2. Efecto de las impurezas.

En esta situación, los parámetros efectivos de emisividad y temperatura, vendrán dados por:

$$\epsilon' = \epsilon P_c + \epsilon_i P_i \quad (11)$$

$$T' = T P_c + T_i P_i \quad (12)$$

donde ϵ y T son respectivamente la emisividad y temperatura efectivas del cultivo de interés (ecuaciones 5 y 6), ϵ_i y T_i son los parámetros efectivos de la impureza, y siendo P_i y P_c respectivamente las proporciones de la impureza y del cultivo de interés. A partir de estas ecuaciones y considerando que $P_i + P_c = 1$, podemos escribir:

$$T_c = -0,41 + T_4 + 2,4(T_4 - T_5) + B_0 + \Delta B_0 + \Delta B_i \quad (13)$$

con $\Delta B_{s0} = (P_{s0} \Delta T_s)$ donde P_{s0} es el valor de la proporción del suelo de cultivo cuando $P_i = 0$, y siendo ΔB_i el factor que corrige la temperatura efectiva del píxel de la contribución de las impurezas existentes en el píxel, y que viene dado por:

$$\Delta B_i = B - B_0 (P_s P_{s0}) \Delta T_s + P_i (P_s \Delta T_s - \Delta T_{ic}) \quad (14)$$

en donde $\Delta T_{ic} = T_i - T_c$ representa la diferencia de temperaturas entre la impureza y el cultivo.

La ecuación (13) constituye el modelo general (incluyendo los efectos del suelo del cultivo y de las impurezas del píxel) que proponemos para dar el mapa de temperatura de la vegetación a partir de las medidas proporcionadas por los canales térmicos. Para una mejor comprensión de su funcionamiento se ha construido la Figura 3. En la misma se muestra el comportamiento del factor corrector ΔB_i para dos impurezas extremas arena ($\epsilon_4 = 0,96$; $\Delta \epsilon = -0,01$) y agua ($\epsilon_4 = 0,995$; $\Delta \epsilon = -0,005$) y dos valores de la diferencia ΔT_{ic} (5 K y 0 K). Hemos supuesto en la fracción del píxel ocupada por el cultivo de interés, $\Delta T_s = 5$ K, $P_s = [0,4 (1 - P_i)]$; $\epsilon_4 = 0,986$; e $\Delta \epsilon = -0,003$. Se observa claramente como el incremento del factor corrector con la proporción de la impureza depende fuertemente de las combinaciones de los valores de la diferencia térmica y de la emisividad de la impureza. Así, a valores altos (bajos) de ΔT_{ic} y de ϵ_i se producen los menores (mayores) factores correctores, en contra de lo que sucede en las situaciones cruzadas.

4. APLICACIÓN

El presente apartado constituye la aplicación del modelo descrito a la obtención de la temperatura del naranjo. Esta

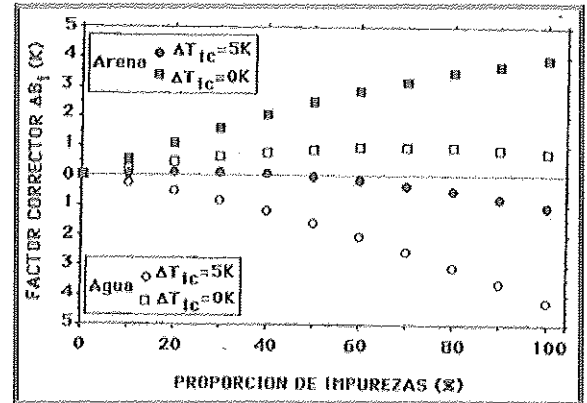


Figura 3.- Factor corrector de la temperatura del píxel en función de la proporción de impurezas existentes en el píxel. Los cálculos se han realizado considerando dos casos extremos de impurezas (arena y agua) y dos valores de la diferencia térmica impureza-vegetación. La línea punteada indica la no existencia de impurezas.

aplicación se ha realizado a partir de los datos suministrados por las imágenes térmicas del satélite NOAA y bajo aquellas condiciones en las que se producen las heladas por radiación (cielo despejado y viento en calma). Para ello se ha determinado experimentalmente la diferencia de temperaturas entre el suelo y la vegetación $\Delta T_s = (5,1 \pm 0,4)^\circ\text{C}$ (Sobrinó et al., 1991b), y se ha adoptado como valores de emisividad de la vegetación (el naranjo) en los canales térmicos los mismos valores con los que se ha construido la Figura 2. Basándonos en estos datos y considerando $\Delta B_s = (-1,5 \pm 1)$ K, valor medio de los dados por la Figura 2 (Sobrinó y Caselles, 1991), se tiene $B_0 = 1,45$ K (ver Figura 1). En este punto se ha realizado una comprobación de los resultados obtenidos. Para ello hemos elegido la situación de enfriamiento radiativo ocurrida en la zona citrícola valenciana el 27 de febrero de 1988, fecha en la que se disponía de una imagen NOAA-9 de las 4.00 h TMG. Así considerando que en los píxeles de naranjos de la citada imagen $T_4 - T_5 = (-0,2 \pm 0,1)$ K se tiene para la temperatura efectiva del píxel $T = (T_4 + 0,6)$ K (ecuación 1) y siendo la temperatura del naranjo (Ecuación 10):

$$T_c = [(T_4 - 0,9) \pm \Delta T_c] \text{K} \quad (15)$$

donde ΔT_c es el correspondiente error asociado de valor 1,2 K.

La validación del modelo se ha llevado a cabo a partir de las medidas de temperatura efectiva realizadas en un campo experimental de Torrent (Valencia) a la misma hora de paso del satélite. De las mismas se obtuvo una diferencia de $0,8^\circ\text{C}$ entre la temperatura determinada experimentalmente y la obtenida de la ecuación (15).

Para finalizar analizaremos el caso de la obtención de la temperatura del cultivo en los límites de las zonas naranje-

ras, situación en la que debe considerarse la presencia de las impurezas en el píxel observado. En este caso los valores de los parámetros definidos anteriormente permiten reescribir la ecuación (13) como:

$$T_c = T_4 - 1,4 + \Delta B_1 \quad (16)$$

donde $\Delta B_1 = 0,6 + B - 2(1 - P_i)^2 - P_i \Delta T_{ic}$

De esta forma, siempre que se conozca la proporción del suelo de cultivo, la evaluación del término ΔB_1 que depende de la emisividad de la impureza a través de B y de la proporción de la misma (P_i) podrá obtenerse bien vía los valores dados en la Figura 3 cuando estos sean los casos de impurezas considerados, o construyendo las correspondientes figuras para otras situaciones.

5. CONCLUSIÓN

En el presente trabajo hemos desarrollado un modelo que permite acceder a la temperatura real de la superficie terres-

tre a partir de los datos suministrados por los canales 4 y 5 del sensor AVHRR del satélite NOAA. El modelo permite además conocer en el caso más general la temperatura real de la vegetación en los píxeles heterogéneos, sin más que introducir como inputs la emisividad de la vegetación, las diferencias térmicas y la proporción del suelo y de las impurezas existentes en el píxel observado.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (Proyecto nº ESP89-0436) por la ayuda económica concedida y al Air Geophysics Laboratory (Massachusetts, USA) por haberles suministrado el programa LOWTRAN 7.

7. BIBLIOGRAFIA

- ✓ CASELLES, V. y SOBRINO, J.A. (1989): Determination of frosts in orange groves from NOAA-9 AVHRR data, *Rem. Sens. Environ.* 29, 135-146.
- ✓ CASELLES, V.; SOBRINO, J.A. y BECKER, F. (1988): Determination of the effective emissivity and temperature under vertical observation of a citrus orchard. Application to frost nowcasting, *Int. J. Remote Sensing* 9, 715-727.
- ✓ COLL, C.; SOBRINO, J.A. y CASELLES, V., (1992): Parametrización de la absorción del vapor de agua atmosférico en el infrarrojo térmico. Desarrollo de un algoritmo de split-window para la superficie terrestre. En *IV Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección*.
- ✓ KAHLE, A.B., (1987): Surface emittance temperature, and thermal inertia derived from TIMS data for Death Valley, California. *Geophysics*, 7, 858.
- ✓ KNEIZYS, F.X.; SHETTLE, E.P.; ABREU, L.W.; ANDERSON, G.P.; CHETWYND, J.H.; GALLERY, W.O.; SELBY, J.E.A. & CLOUGH, S.A. (1988): *Users guide to LOWTRAN 7*. Technical Report AFGL-TR-88-0177, Optical/Infrared Technology Division, U.S. Air Force Geophysics Laboratory, Hanscom Air Force Base, Massachusetts.
- ✓ KREITH, F. & BLACK, W.Z. (1980): *Basic Heat Transfer*, Harper and Row, New York.
- ✓ NERRY, F. (1988): *Contribution a l'étude expérimentale et théorique de l'émissivité et de la réflectivité des milieux naturels terrestres dans l'infrarouge thermique dans le contexte de la télédétection spatiale*, Tesis Doctoral, Universidad Louis Pasteur de Estrasburgo.
- ✓ SALISBURY, J.W. & MILTON, N.M. (1988): Thermal infrared (2.5- to 13.5- m) directional hemispherical reflectance of leaves, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54, 1301-1304.
- ✓ SOBRINO, J.A. y CASELLES, V. (1989): Medida mediante el método de la caja de la emisividad en la banda espectral de los 8-14 m de algunos suelos agrícolas y de la vegetación. *Anales de Física, Serie B*, 85: 220-227.
- ✓ SOBRINO, J.A. y CASELLES, V. (1990): Thermal infrared radiance model for interpreting the directional radiometric temperature of a vegetative surface, *Rem. Sens. Environ.*, 33, 193-199.
- ✓ SOBRINO, J.A. y CASELLES, V. (1991): A methodology for obtaining the crop temperature from NOAA-9 AVHRR data, *Int. J. Remote Sensing*, 12, 2461-2475.
- ✓ SOBRINO, J.A.; CASELLES, V. y BECKER, F. (1990): Significance of the remotely sensed thermal infrared measurements obtained over a citrus orchard, *ISPRS Photogrammetry and Remote Sens.* 44, 343-354.
- ✓ SOBRINO, J.A.; COLL, C. y CASELLES, V. (1991a): Atmospheric correction for land surface temperature using NOAA-11 AVHRR channels 4 and 5, *Remote Sens. Envir.* 38: 19-34.
- ✓ SOBRINO, J.A.; CASELLES, V. y COLL, C. (1991b): La corrección de emisividad en el espectro térmico. En *La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales*. Recursos renovables: Agricultura. S. Gandía y J. Meliá (Eds.): 95-139. Universidad de Valencia.
- ✓ SUTHERLAND, R.A. y BARTHOLIC, J.F. (1977): Significance of interpreting thermal radiation from a terrestrial surface, *J. Appl. Met.* 16, 759-763.