



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

# CALCULO DE TEMPERATURA DE SUPERFICIE A PARTIR DE IMÁGENES NOAA, LANDSAT Y SENTINEL-3

<b>Apellidos, nombre</b>	Fernández Sarría, Alfonso (afernan@cgf.upv.es)
<b>Departamento</b>	Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría
<b>Centro</b>	ETS Ing. Geodésica, Cartográfica y Topográfica, UPV

## 1 Resumen de las ideas clave

En este documento se realiza una primera aproximación a la caracterización de la temperatura de superficie mediante el empleo de datos aportados por los satélites de observación de la Tierra. En concreto se analizan los productos obtenidos por tres series de satélites, cada uno con sus propiedades específicas. Se destaca también la importancia de esta variable en multitud de aplicaciones, presentando algunos ejemplos en el apartado de aplicaciones.

La investigación ha sido muy intensa en los últimos años ya que, pese a la dificultad de la estimación, se considera un elemento clave en los estudios de cambio climático global. Y las posibilidades que ofrecen los satélites de observación de la Tierra en esta dirección son enormes al permitir obtener detalle espacial, espectral y temporal.

## 2 Introducción

El cálculo de la temperatura de superficie es un proceso clave en la física de procesos que tiene lugar tanto en la superficie terrestre como oceánica a escalas regional y global. Los resultados de todas las interacciones entre los flujos de energía de la superficie y de la atmósfera afectan a la temperatura.

Debido a la gran heterogeneidad de superficies terrestres como vegetación, topografía, áreas urbanas, masas de agua, cultivos, ... con propiedades físicas diferentes, su temperatura cambia rápidamente en el espacio y en el tiempo. Un estudio adecuado de su distribución y su evolución temporal, por lo tanto, requiere mediciones con frecuencias espaciales y temporales detalladas.

Al igual que en el caso de las reflectividades, el procedimiento de cálculo de temperaturas parte de los niveles digitales (ND) detectados en el sensor. Tal y como ocurre en el espectro óptico, esos ND codifican un valor de energía (radiancia), pero en este caso correspondiente al infrarrojo térmico. A diferencia de la reflectividades (relación entre energía reflejada por el suelo y la incidente en él), se trata de determinar la relación entre la energía emitida por el suelo ( $L_{su}$ ) y la recibida por el sensor ( $L_{sat}$ ) (figura 1). Entre ambas magnitudes vuelven a interponerse los efectos de los componentes atmosféricos, que también emiten su propia energía ( $L_a$ ), distorsionando la radiancia recibida por el sensor.

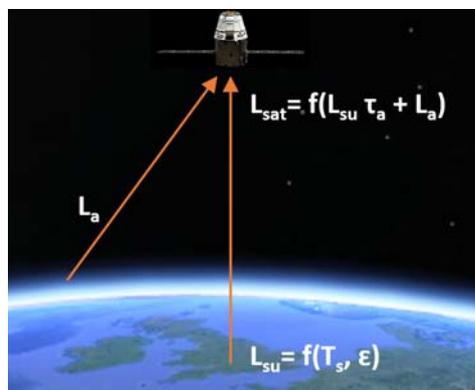


Figura 1: La temperatura de superficie puede obtenerse a partir de la radiancia detectada por el sensor, siempre que se conozca la radiancia atmosférica y la emisividad.

La radiación térmica se transmite con una longitud de onda, comparada con la del visible, relativamente larga por lo que la dispersión atmosférica producida es mínima. Los gases atmosféricos, sin embargo, producen una absorción importante que limita la teledetección térmica a dos regiones, de 3 a 5 $\mu\text{m}$  y de 8 a 14 $\mu\text{m}$ . Puesto que la energía de una onda disminuye al aumentar su longitud de onda, los sensores térmicos tienen campos de visión instantáneos mayores para asegurar que llega suficiente energía a los sensores. Esto explica que la resolución espacial de estos sensores sea menor a la del visible e infrarrojo reflejado.

### 3 Objetivos

Una vez que hayas leído y trabajado este documento, será capaz de:

- Explicar adecuadamente el concepto de temperatura de superficie.
- Comprender la diferencia entre temperatura de brillo y temperatura de superficie.
- Identificar las diferencias existentes en cada uno de los sensores presentados dada sus diferencias técnicas de diseño.
- Acceder a productos de temperatura existentes y descargables desde servidores como los de la ESA (proyecto Copernicus).

### 4 Proceso de obtención en distintos sensores

Volviendo sobre la figura 1 y la idea de temperatura como relación entre una energía emitida por la superficie y la recibida en el sensor, si no existiese atmósfera bastaría conocer el flujo emitido en el suelo para saber su temperatura, ya que la radiación que emite un objeto es una función de su temperatura, de acuerdo con la ley de Planck. Pero esta ley está definida para un emisor perfecto, denominado **cuerpo negro**. Con ello, si el primer problema en el cálculo de la temperatura son los efectos atmosféricos, el segundo, y quizás el más complejo, es estimar la relación entre la emitancia de una superficie determinada y la que se produce en un cuerpo negro a la misma temperatura; en definitiva, es preciso conocer la **emisividad** de la cubierta para calcular su temperatura. Considerando todo esto, se habla de tres temperaturas:

- Temperatura de brillo: La existente en el techo de la atmósfera (o en el suelo sin atmósfera y sin influencia de las características emisivas de las superficies).
- Temperatura de brillo en la superficie: La obtenida tras corregir de efectos atmosféricos.
- Temperatura de superficie corregida de emisividad: La resultante tras aplicar la emisividad de cada cubierta. Es la variable física en sí y es la conocida como **temperatura de superficie** (*Land Surface Temperature, LST*).

Al igual que en el caso de las reflectividades, el primer paso en el cálculo de la temperatura es convertir los ND a radiancias. Una vez calculada la radiancia (ecuación 1), puede estimarse la temperatura de brillo a partir de la inversión de la ecuación de Planck.

$$L = a_0 + a_1 \cdot ND$$

*Ecuación 1. Transformación de ND a radiancias.*

donde L corresponde a la radiancia espectral recibida por el sensor en una banda (en  $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ ),  $a_0$  y  $a_1$  son los coeficientes de calibración para esa banda (incluidos en la cabecera de la imagen) y ND es el nivel digital del pixel en esa banda.

Se expone a continuación la metodología de cálculo para cuatros sensores, el AVHRR de NOAA, TM y ETM+ de Landsat 4, 5 y 7, TIRS de Landsat 8 y SLTSS de Sentinel-3.

## 4.1 Sensor AVHRR de NOAA

Temperatura de brillo:

$$T^* = \frac{c_2 \lambda}{\ln(1 + c_1 V^3/L)}$$

donde  $T^*$  indica la temperatura de brillo en Kelvin para un determinado valor de radiancia L,  $\lambda$  corresponde a la longitud de onda central de la banda térmica que estemos considerando ( $cm^{-1}$ ), y  $c_1$  y  $c_2$  son constantes ( $c_1 = 1,1910659 \times 10^{-5} m W m^{-2} sr^{-1} cm^{-4}$  y  $c_2 = 1,438833 cm K$ ).

Temperatura de brillo en la superficie, con la corrección atmosférica estimada en cada píxel por la diferencia de sus radiancias en las dos bandas térmicas:

$$T_s^* = T_4^* + [1,0 + 0,58 (T_4^* - T_5^*)] (T_4^* - T_5^*)$$

Donde  $T_s^*$  indica la temperatura de brillo en la superficie,  $T_4^*$  y  $T_5^*$  son respectivamente las temperaturas de brillo de las bandas 4 y 5 de AVHRR.

Temperatura de superficie corregida de emisividad:

$$T_s = T_s^* + 0,51 + 40 (1 - \bar{\epsilon}) - 75 \Delta \epsilon$$

donde  $\bar{\epsilon}$  corresponde a la emisividad promedio de ese píxel en los canales 4 y 5 de AVHRR, y  $\Delta \epsilon$  a la diferencia de emisividad de ese píxel en las mismas bandas ( $\Delta \epsilon = \epsilon_4 - \epsilon_5$ ).

El elemento más complejo de obtener en la fórmula propuesta es el correspondiente a las emisividades de los canales 4 y 5, ya que dependen del tipo de cubierta presente en el suelo. Al tratarse de un píxel de 1 km<sup>2</sup>, puede existir de hecho una notable heterogeneidad, que tiende a solventarse eligiendo valores promedio. También puede calcularse la emisividad de cada píxel multiplicando la proporción de superficie ocupada por vegetación por emisividad media de la vegetación ( $\epsilon_v = 0,952$  para los herbáceos secos, 0,983 para árboles y 0,985 para herbáceos verdes y arbustos; también puede aplicarse un valor promedio global de 0,985), y el resto por emisividad media del suelo descubierto ( $\epsilon_s = 0,968$  para suelos arenosos; 0,972 para limosos y 0,974 para arcillosos. Aquí el valor promedio sería 0,96).

## 4.2 Sensores térmicos de LANDSAT

Las bandas del infrarrojo térmico de los últimos sensores de Landsat (TM, ETM+ y TIRS) se transforman en valores de temperatura de brillo mediante la inversión de la ecuación de Planck (Riaño et al., 2000):

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L} + 1\right)}$$

*Ecuación 2. Temperatura de brillo para sensores Landsat.*

siendo  $K_1$  (en  $W\ m^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$ ) y  $K_2$  (en grados K) las constantes de calibración en función de la configuración de la banda térmica de Landsat (tabla 1), y  $L$  es la radiancia espectral ( $W\ m^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$ ) calculada previamente.

Satélite	$K_1$	$K_2$
Landsat-4 TM	671,62	1284,3
Landsat-5 TM	607,76	1260,6
Landsat-7 ETM+	666,09	1282,7
Landsat 8 TIRS banda 10	774,89	1321,08
Landsat 8 TIRS banda 11	480,89	1201,14

*Tabla 1. Constantes de calibración.*

Obtención de la temperatura de superficie ( $T_s=LST$ ):

$$T_s = LST = \frac{T_B}{1 + \left(\lambda \times \frac{T_B}{\rho}\right) \ln \varepsilon}$$

*Ecuación 3. Temperatura de superficie.*

$T_B$  es la temperatura de brillo.

$\lambda$  es la longitud de onda de la radiancia emitida en cada banda.

$\rho = h \cdot c / \sigma = 14380\ m\ K$ .

$\sigma$  es la constante de Boltzmann ( $1,38 \cdot 10^{-23}\ J/K$ ).

$h$  es la constante de Planck ( $6,26 \cdot 10^{-34}\ Js$ ).

$c$  es la velocidad de la luz ( $2,998 \cdot 10^8\ m/s$ ).

$\varepsilon$  es la **emisividad** de la superficie, dependiente de cada sensor y banda espectral. Por ejemplo, para la banda 6 de Landsat TM y suponiendo un píxel que pueda contener vegetación, se calcula como:

$$\varepsilon = 0,004 \cdot P_v + 0,986$$

siendo Pv la proporción de vegetación en cada píxel analizado y obtenido a partir del cálculo previo del NDVI. Por tanto, se trata de aplicar una pequeña corrección al valor tabulado de emisividad media para vegetación en esa banda de ese sensor (0,986).

Para las bandas 10 y 11 de Landsat 8 se han estimado valores de emisividad medios (tabla 2), a los cuales ha de ser aplicada la misma corrección anterior en función de la proporción de vegetación existente en cada píxel.

Banda	Suelo	Vegetación
Landsat 8 TIRS banda 10	0,9668	0,9863
Landsat 8 TIRS banda 11	0,9747	0,9896

Tabla 2. Emisividad en dos cubiertas para las bandas térmicas de Landsat 8.

Desde el portal de descargas del USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) se pueden descargar los modelos de temperatura de brillo para los sensores TM, ETM+ y TIRS.

### 4.3 Productos de temperatura de SENTINEL

Dentro del programa Copernicus de la ESA (<https://www.esa.int/>) se engloban las misiones Sentinel-2 y Sentinel-3 pensadas para, entre otras necesidades operacionales, obtener datos sobre temperatura de superficie. **Sentinel-2** es una misión multiespectral de alta resolución en órbita polar, diseñada para monitorizar la superficie de la Tierra estudiando la cubierta vegetal, los usos del terreno y de las aguas y las zonas costeras, entre otros. **Sentinel-3A** fue lanzado el 16 de febrero de 2016 y se prevé el lanzamiento del Sentinel-3B para 2018. El tiempo de revisita con ambos satélites será de menos de 2 días para el sensor OLCI y de menos de 1 día para el sensor **SLSTR** (*Sea and Land Surface Temperature Radiometer*). Éste último es un radiómetro diseñado para medir temperaturas superficiales tanto terrestres como marinas. Cubre 9 bandas espectrales (550-12.000 nm) y realiza las siguientes mediciones:

- Temperatura superficial y el color del agua y de las tierras emergidas con una resolución de 1km, con una precisión superior a 0,3 K para el caso de la temperatura marina.
- Vapor de agua, contenido de agua de las nubes y radiación térmica emitida por la Tierra.

Los algoritmos de cálculo desarrollados y aplicado por la ESA permiten, integrando datos de varios sensores, obtener los siguientes productos:

- Nivel 1 (**SL\_1\_RBT**): radiancias y temperaturas de brillo para cada píxel con datos de geolocalización y posición del satélite.
- Nivel 2: temperatura de la superficie terrestre (**SL\_2\_LST**) y marina (**SL\_2\_WST**).

Se trata de algoritmos complejos que siguen el esquema de trabajo siguiente:

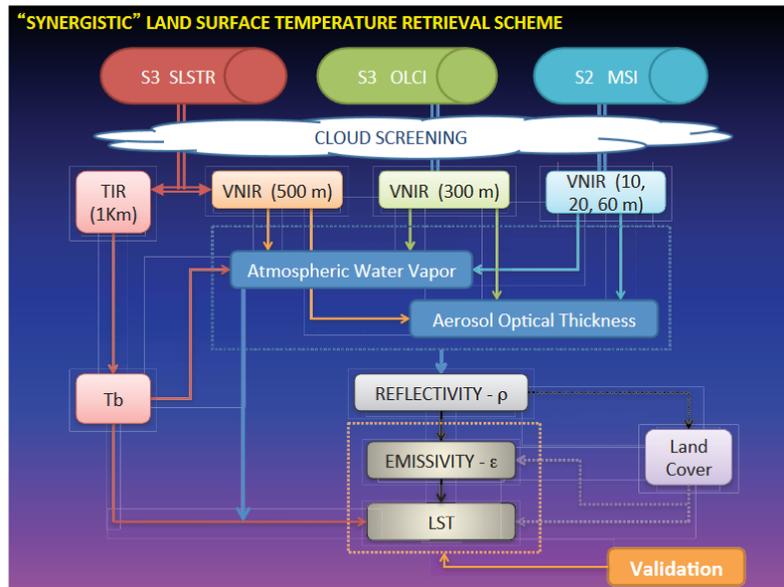


Figura 2: Flujo de procesamiento de datos Sentinel para la obtención del producto LST (de Sobrino et al., 2012).

Tal y como se detalla en Sobrino et al., 2012 (figura 2), se parte de datos de varios sensores:

- MSI de Sentinel-2: aporta alta resolución espacial (hasta 10 m por píxel) e información en las bandas del infrarrojo próximo (VNIR, *Very Near InfraRed*). Contribuye a estimar el contenido de vapor de agua en la atmósfera, así como el espesor óptico de aerosoles (cantidad de aerosoles o partículas en suspensión en la columna atmosférica).
- OLCI de Sentinel-3: aporta datos en la banda VNIR, con 300 m por píxel, contribuyendo a caracterizar la atmósfera.
- SLSTR de Sentinel-3: registra información en la banda VNIR a 500 m y en el térmico a 1 km (bandas 7, 8 y 9, con  $3,7\mu\text{m}$ ,  $10,85\mu\text{m}$  y  $12\mu\text{m}$ , respectivamente). Contribuye, junto a los anteriores, a modelizar el comportamiento atmosférico y a obtener la temperatura de brillo.

Tras modelizar la atmósfera, se realiza el cálculo de reflectividad, de emisividad superficial de cada cubierta (para eso se emplean datos de usos de suelo, producto *Land Cover*) y, finalmente, la temperatura de superficie terrestre (LST).

La estimación de las emisividades superficiales puede ser realizada siguiendo el método de análisis de mezclas espectrales (SMA, *Spectral Mixture Analysis*), métodos basados en clasificaciones de usos de suelo o bien el método de umbrales de NDVI (Sobrino et al., 2013).

En cuanto a la última fase, cálculo de la temperatura de superficie ( $T_s$  o LST), son tres los posibles algoritmos a aplicar (Sobrino et al., 2013): (i) banda única (usando solo una banda térmica); (ii) ángulo doble (empleando una banda térmica en dos ángulos de visión diferentes); (iii) ventana partida, o más conocido por su nombre en inglés, *split-window*, emplea 2 bandas térmicas. La formulación matemática para éste último es la siguiente:

$$T_s = T_i + C_1(T_i - T_j) + C_2(T_i - T_j)^2 + C_0 + (C_3 + C_4W)(1 - \epsilon) + (C_5 + C_6W)\Delta\epsilon$$

donde  $T$  es la temperatura de brillo en el sensor en las bandas 'i' y 'j',  $W$  es el vapor de agua atmosférico total,  $\varepsilon$  y  $\Delta\varepsilon$  son respectivamente la emisividad media y la diferencia de emisividad en las dos bandas. Los coeficientes del algoritmo ( $c_0=-0.268$ ,  $c_1=1.084$ ,  $c_2=0.277$ ,  $c_3=45.11$ ,  $c_4=-0.73$ ,  $c_5=-125.00$ ,  $c_6=16.70$ ) son obtenidos mediante simulaciones dependientes del sensor y realizadas mediante el código de transferencia radiativa MODTRAN. Algunos resultados publicados con los dos últimos algoritmos muestran errores de entre 0,8 y 1,5 K.

En cuanto a la fase de estimación de precisiones del producto SL\_2\_LST, en el último informe de validación emitido por la ESA (21/03/2018), se muestran los resultados de dos validaciones, una con datos reales tomados in situ, mostrando una precisión absoluta media de 1,5 K para el día y de 1,0 K para la noche. La segunda validación, realizada comparando con productos térmicos de otros sensores como SEVIRI L2, muestra diferencias medias menores a 1,5 K tanto de día como de noche. Las diferencias con respecto a las diferentes clases de coberturas tienden a ser mayores durante el día en áreas de mayor heterogeneidad o con mayor insolación. Estos resultados avalan la precisión y utilidad de los productos de temperatura de Sentinel.

## 5 Aplicaciones

La observación térmica tiene gran interés para el seguimiento de fenómenos que afectan a la vegetación. La temperatura de superficie está inversamente relacionada con el vigor vegetal, ya que la evapotranspiración libera calor y, en consecuencia, reduce la temperatura de la masa vegetal frente al suelo descubierto. Por tanto, la evolución temporal de la temperatura de superficie nos permite estimar las condiciones de vigor o estrés de la planta, de cara a estudios de rendimiento agrícola (Caselles y Sobrino, 1989), de evapotranspiración o de riesgo de incendios (Vidal et al., 1994). También es clara su aplicación en estudios oceanográficos, en donde este parámetro es clave para estudiar aspectos climáticos, así como en aplicaciones pesqueras (Barreto, 2000). En la figura 3 se adjunta un fragmento de temperatura de superficie desde MODIS. El análisis de las tendencias temporales de la temperatura resulta especialmente significativo en los estudios de cambio climático, permitiendo la observación sistemática de grandes extensiones (figura 4).



*Figura 3: De izquierda a derecha, reflectancia corregida, temperatura de brillo, temperatura de superficie (EOSDIS Worldview, imágenes MODIS del 26 de marzo de 2018).*

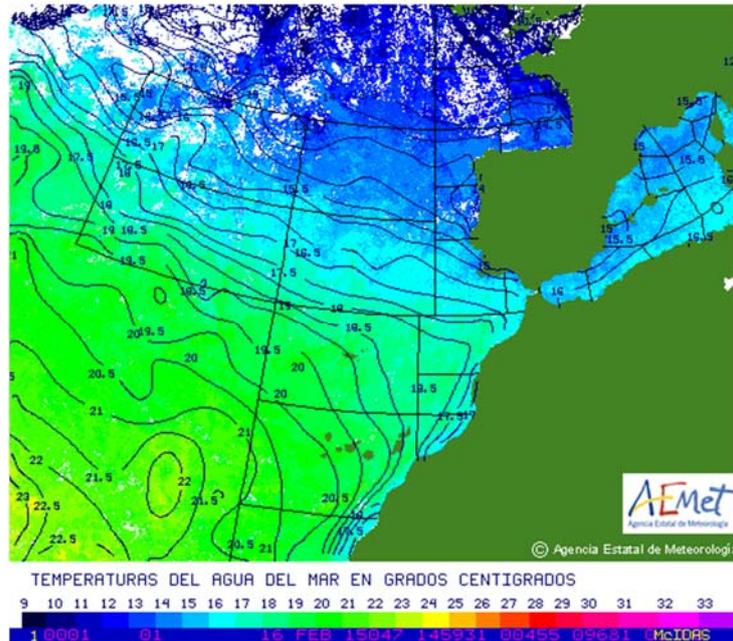


Figura 4: Imagen obtenida con una combinación de los datos de los canales infrarrojos del satélite NOAA-19, que informa de la temperatura en la superficie del mar.

A continuación, se indican algunos casos prácticos o proyectos que pueden ser estudiados por su gran interés. Son los siguientes:

- Productos de temperatura de MODIS disponibles (EOSDIS Worldview), <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>
- Productos de temperatura de SEVIRI, MODIS y VIIRS disponibles, <http://ceospain.lpi.uv.es/home/products>
- Soil Moisture Index: Requiere de la determinación del índice NDVI y de la temperatura de suelo. Satélite SMOS.
- Productos disponibles para consulta elaborados por la ESA: <http://land.copernicus.eu/global/products/>

## 6 Conclusiones

A lo largo de este documento se ha estudiado la variable temperatura de superficie como una de las más importantes en muchos casos de estudio del medio físico. Se ha detallado el proceso de obtención en algunos sensores y se ha indicado cómo puede ser accesible a través del proyecto Copernicus. Si bien los algoritmos de cálculo no son sencillos y requieren de integración con otros datos/sensores, es importante destacar la utilidad de la variable en sí.

## 7 Bibliografía

- Barreto M. M. (2000). Las imágenes NOAA y los recursos pesqueros en el litoral peruano. IX Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, Iguazú.

- Caselles V. y Sobrino J. A. 1989. Determination of frost in orange groves from NOAA-9 AVHRR data. *Remote Sensing of Environment*, 29, pp.135-146.
- Chuvieco, E: "Teledetección Ambiental, Observación de la tierra desde el espacio". Editorial ARIEL Ciencia, S.A. Madrid 2010. ISBN 978-84-344-3498-1.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W: "Remote sensing and image interpretation". 4ª edición. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999, 724 pp. ISBN 0-471-25515-7.
- Riaño, D., Salas J., Chuvieco, E. 2000. Corrección atmosférica y topográfica, información multitemporal y auxiliar aplicadas a la cartografía de modelos de combustibles con imágenes Landsat-TM. *Tecnologías Geográficas para el desarrollo sostenible*. Dpto. de Geografía, Universidad de Alcalá de Henares, pp 222-239.
- Sobrino, J., Jiménez-Muñoz, J., Brockmann, C., Ruescas, A., Danne, O., North, P., Heckel, A., Davies, W., Berger, M., Merchant, C., Mitrika, Z. and Sòria, G. (2013) Land surface temperature retrieval from Sentinel 2 and 3 Missions. In: Ouwehand, L. (ed.) *Proceedings of the Sentinel-3 OLCI/SLSTR and MERIS/(A)ATSR Workshop 15–19 October 2013 Frascati, Italy*. ESA Communications. ISBN 9789290922759 (SP-711).
- Sobrino, J., Jiménez-Muñoz, J., Ruescas, A., Brockmann, C., Heckel, A., North, P., Remedios, J. J., Ghent, D., Merchant, C., Berger, M., Sòria, G. and Danne, O. (2012) Land surface temperature retrieval from Sentinel 2 and 3 Missions: a conceptual framework. *Global Temperature User Consultation Meeting*, Edinburgh, 2012.
- Vidal A., Inglo F., Durand H., Devaux-Ros, C. Maillet A. 1994. Evaluation of a temporal fire risk index in Mediterranean forest from NOAA thermal IR. *Remote Sensing of the Environment*, 49, pp. 296-303.
- <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>
- <http://land.copernicus.eu/global/products/>
- <http://earthexplorer.usgs.gov/>
- <http://ceosspain.lpi.uv.es/home/products>
- <https://youtu.be/7W4lwlvPLbQ>
- [http://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/es/latest/thematic\\_tutorial\\_temperature.html](http://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/es/latest/thematic_tutorial_temperature.html)