

Gatón Herguedas, J.; Calle Montes, A.; Román Diez, R.; González Catón, R.; González Fernández, D.; Herrero del Barrio, C.; Longarela Fuente, B.; Herrero Anta, S.; Mateos Villán, D.; Antuña Marrero, J.; Toledano Olmeda, C.; Cachorro Revilla, V.; de Frutos Baraja, Á. Comparación de LST entre medidas in situ y productos satelitales de MODIS, SLSTR y VIIRS en la Base Antártica Marambio

# Comparación de LST entre medidas in situ y productos satelitales de MODIS, SLSTR y VIIRS en la Base Antártica Marambio

**Gatón Herguedas, Javier**<sup>1,2</sup> **Calle Montes, Abel**<sup>1,2</sup> **Román Diez, Roberto**<sup>1,2</sup> **González Catón, Ramiro**<sup>1,2</sup> **González Fernández, Daniel**<sup>1,2</sup> **Herrero del Barrio, Celia**<sup>1,2</sup> **Longarela Fuente, Bruno**<sup>1,2</sup> **Herrero Anta, Sara**<sup>1,2</sup> **Mateos Villán, David**<sup>1,2</sup> **Antuña Marrero, Juan Carlos**<sup>3,1</sup> **Toledano Olmeda, Carlos**<sup>1,2</sup> **Cachorro Revilla, Victoria Eugenia**<sup>1,2</sup> **de Frutos Baraja, Ángel Máximo**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>: Grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid, Dpto de Física Aplicada, Facultad de Ciencias, Paseo de Belén, 7, 47011, Valladolid, España;

<sup>2</sup>: Laboratory for Disruptive Interdisciplinary Science de la Universidad de Valladolid, Dpto de Física Aplicada, Facultad de Ciencias, Paseo de Belén, 7, 47011, Valladolid, España;

<sup>3</sup>: Instituto de Geociencias (IGEO), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Universidad Complutense de Madrid (UCM), 28040, Madrid, España

**ORCID:** Gatón Herguedas 0000-0002-1229-155X Calle Montes 0000-0003-4161-7798 Román Diez 0000-0003-4889-1781 González Catón 0000-0003-0017-5591 González Fernández 0000-0002-3302-8080 Herrero del Barrio 0009-0001-9508-3886 Longarela Fuente 0009-0005-7323-462X Herrero Anta 0000-0003-4246-1836 Mateos Villán 0000-0001-5540-4721 Antuña Marrero 0000-0002-7037-015X Toledano Olmeda 0000-0002-6890-6648 Cachorro Revilla 0000-0002-4627-9444 de Frutos Baraja 0000-0001-5748-5078

**Correspondencia:** [gaton@goa.uva.es](mailto:gaton@goa.uva.es) [abel@goa.uva.es](mailto:abel@goa.uva.es) [robertor@goa.uva.es](mailto:robertor@goa.uva.es) [ramiro@goa.uva.es](mailto:ramiro@goa.uva.es) [daniel@goa.uva.es](mailto:daniel@goa.uva.es) [celia@goa.uva.es](mailto:celia@goa.uva.es) [bruno@goa.uva.es](mailto:bruno@goa.uva.es) [sara@goa.uva.es](mailto:sara@goa.uva.es) [mateos@goa.uva.es](mailto:mateos@goa.uva.es) [antuna@goa.uva.es](mailto:antuna@goa.uva.es) [toledano@goa.uva.es](mailto:toledano@goa.uva.es) [chiqui@goa.uva.es](mailto:chiqui@goa.uva.es) [angel@goa.uva.es](mailto:angel@goa.uva.es)

## RESUMEN

Este trabajo preliminar presenta una comparación de medidas de temperatura de superficie terrestre (LST) basadas en tierra con estimaciones procedentes de los sensores satelitales MODIS, VIIRS y SLSTR en la estación antártica de Marambio durante los años 2024 y 2025. Se observa una discrepancia sistemática entre los productos satelitales y las medidas terrestres en el verano austral 2024/25, caracterizada por un sesgo positivo en los sensores satelitales que aumenta y decrece de forma aproximadamente lineal, alcanzando diferencias máximas del orden de 20 K a mediados de diciembre de 2024. Esta discrepancia se reduce parcialmente con los filtrados de cobertura nubosa intrínsecos de algunos productos satelitales, pero persiste al aplicar un filtrado de nubosidad alternativo basado en la instrumentación en tierra.

**Palabras clave:** Antártida, LST, MODIS, SLSTR, VIIRS

Fecha de recepción: 5 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 18 febrero 2026

# Comparación de LST entre medidas in situ y productos satelitales de MODIS, SLSTR y VIIRS en la Base Antártica Marambio

Gatón Herguedas, Javier<sup>(1,2)</sup>, Calle Montes, Abel<sup>(1,2)</sup>, Román Díez, Roberto<sup>(1,2)</sup>, González Catón, Ramiro<sup>(1,2)</sup>, González Fernández, Daniel<sup>(1,2)</sup>, Herrero del Barrio, Celia<sup>(1,2)</sup>, Longarela Fuente, Bruno<sup>(1,2)</sup>, Herrero Anta, Sara<sup>(1,2)</sup>, Mateos Villán, David<sup>(1,2)</sup>, Antuña Marrero, Juan Carlos<sup>(1,3)</sup>, Toledano Olmeda, Carlos<sup>(1,2)</sup>, Cachorro Revilla, Victoria Eugenia<sup>(1,2)</sup>, de Frutos Baraja, Ángel Máximo<sup>(1,2)</sup>

<sup>(1)</sup> Grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid, Dpto de Física Aplicada, Facultad de Ciencias, España, Laboratory for Disruptive Interdisciplinary Science de la Universidad de Valladolid, Dpto de Física Aplicada, Facultad de Ciencias, España.

<sup>(2)</sup> Laboratory for Disruptive Interdisciplinary Science de la Universidad de Valladolid, Dpto de Física Aplicada, Facultad de Ciencias, Paseo de Belén, 7, 47011, Valladolid, España

<sup>(3)</sup> Instituto de Geociencias (IGEO), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Universidad Complutense de Madrid (UCM), España.

 0000-0002-1229-155X, gaton@goa.uva.es.;  0000-0003-4161-7798, abel@goa.uva.es.;  0000-0003-4889-1781, robertor@goa.uva.es.;  0000-0003-0017-5591, ramiro@goa.uva.es.;  0000-0002-3302-8080, daniel@goa.uva.es.;  0009-0001-9508-3886, celia@goa.uva.es.;  0009-0005-7323-462X, bruno@goa.uva.es.;  0000-0003-4246-1836, sara@goa.uva.es.;  0000-0001-5540-4721, mateos@goa.uva.es.;  0000-0002-7037-015X, antuna@goa.uva.es.;  0000-0002-6890-6648, toledano@goa.uva.es.;  0000-0002-4627-9444, chiqui@goa.uva.es.;  0000-0001-5748-5078, angel@goa.uva.es.

**Resumen:** Este trabajo preliminar presenta una comparación de medidas de temperatura de superficie terrestre (LST) basadas en tierra con estimaciones procedentes de los sensores satelitales MODIS, VIIRS y SLSTR en la estación antártica de Marambio durante los años 2024 y 2025. Se observa una discrepancia sistemática entre los productos satelitales y las medidas terrestres en el verano austral 2024/25, caracterizada por un sesgo positivo en los sensores satelitales que aumenta y decrece de forma aproximadamente lineal, alcanzando diferencias máximas del orden de 20 K a mediados de diciembre de 2024. Esta discrepancia se reduce parcialmente con los filtrados de cobertura nubosa intrínsecos de algunos productos satelitales, pero persiste al aplicar un filtrado de nubosidad alternativo basado en la instrumentación en tierra.

**Palabras clave:** Antártida, LST, MODIS, SLSTR, VIIRS

## ***Comparison of LST between ground-based measurements and MODIS, SLSTR and VIIRS satellite products in Marambio Antarctic Station***

**Abstract:** This preliminary work presents a comparison of ground-based land surface temperature (LST) measurements with satellite products from MODIS, VIIRS, and SLSTR sensors at the Marambio antarctic station during the period 2024-2025. A systematic discrepancy between satellite and ground-based measurements is identified in the austral summer of 2024/25, characterized by a positive bias in the satellite sensors that increases and decreases in an approximately linear manner, reaching its maximum differences, on the order of magnitude of 20 K, at the middle of December 2024. This discrepancy is partially reduced by the satellite-intrinsic cloud-screening filters, but it persists when applying an alternative cloud-screening approach based on ground-based instrumentation.

**Keywords:** Antarctica, LST, MODIS, SLSTR, VIIRS

## **1. INTRODUCCIÓN**

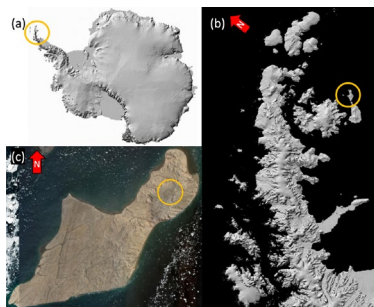
La temperatura de superficie terrestre o *Land Surface Temperature* (LST), es una variable clave en estudios climáticos y ambientales. En las regiones polares esta

variable resulta especialmente útil, ya que es influyente en procesos de balance radiativo, la criosfera, y la validación de productos derivados de satélite en condiciones de muy baja temperatura.

La estimación de LST en ciertas zonas polares presenta diversos desafíos, como la frecuente presencia de nubosidad, las complejas propiedades radiativas de la superficie, y la escasez de medidas de referencia adecuadas para la validación.

En este contexto, en febrero de 2024 se instaló instrumentación en la base antártica permanente de Marambio (64.240 S, 56.625 W) en la isla Marambio o Seymour, permitiendo la disponibilidad de medidas desde la superficie terrestre en la península antártica (Calle *et al.*, 2024). La localización de la isla y la base se puede ver en detalle en la Figura 1.

El presente trabajo es preliminar, pero tiene como objetivo comparar productos LST de los sensores *Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo del satélite Terra, *Sea and Land Surface Temperature Radiometer* (SLSTR) a bordo de los satélites Sentinel-3A y Sentinel-3B, y *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) a bordo del NASA *Suomi-National Polar-orbiting Partnership* (Suomi NPP), con las medidas terrestres de un radiómetro tipo Apogee obtenidas en la base Marambio, complementadas por observaciones auxiliares orientadas al control de la nubosidad. La comparación se realiza analizando la consistencia entre sensores satelitales y datos tomados en la superficie terrestre, la aparición de discrepancias sistemáticas entre ambos, y el efecto de los filtrados de cobertura nubosa tanto satelitales como independientes.



**Figura 1.** Localización de la Base Antártica Marambio. (a) Vista general de la Antártida, con la península Antártica resaltada. (b) Ampliación de la península Antártica, indicando la posición de la isla Marambio. (c) Detalle de la isla Marambio, con la zona de la Base Marambio marcada mediante una circunferencia de 1 km de radio.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Medidas desde superficie terrestre

Las medidas desde la superficie terrestre se realizan mediante un radiómetro infrarrojo Apogee. Se trata de un instrumento que mide la radiancia térmica en la ventana atmosférica entre 8 y 14  $\mu\text{m}$ , englobando el intervalo espectral de operación de todos los sensores satelitales que operan en el rango térmico, con un *field of view* (FOV) de 22°. Esto lo hace idóneo para la determinación de la temperatura de la superficie terrestre. Se encuentra instalado en un mástil a 4 metros de altura, y con extensión de 1.5 metros para evitar elementos de construcción en el FOV del radiómetro. La superficie de apuntamiento es característica del entorno,

con mezcla de nieve, tierra y permafrost, y con valores de emisividad características de cuerpo negro.

El radiómetro realiza medidas de temperatura de superficie terrestre cada cinco minutos, permitiendo tener un valor temporalmente cercano a toda medida satelital para su validación.

### 2.2. Productos satelitales

En este trabajo se utilizan tres productos satelitales distintos: «MOD11\_L2.061» del MODIS Terra, «VNP21.002» del VIIRS del satélite Suomi-NPP, y «sentinel-3-sl-2-lst-ntc» del SLSTR de Sentinel-3. Los tres productos son de un nivel de procesado equivalente *Level-2*, donde cada valor de LST es derivado directamente de una captura de radiancia, y geolocalizado en un píxel dentro de una malla en geometría orbital, con una resolución cercana al kilómetro. En MODIS y SLSTR esta resolución es de aproximadamente un kilómetro, mientras que en VIIRS es de 750 metros.

### 2.3. Criterios de selección y filtrado

#### 2.3.1. Criterios de selección

La comparación se ha realizado con los datos satelitales cuyos centros de píxel se encuentren a menos de un kilómetro de las coordenadas 64.243 S, 56.635 O. Cada medida satelital se ha asociado con las dos medidas desde la superficie terrestre temporalmente circundantes, y se le ha asignado la interpolación lineal del LST de ambas.

#### 2.3.2. Filtrados satelitales

Las medidas de LST L2 presentan unos valores auxiliares de calidad. Estos se han utilizado para realizar un filtrado eliminando píxeles erróneos permitiendo un análisis comparativo en mayor profundidad.

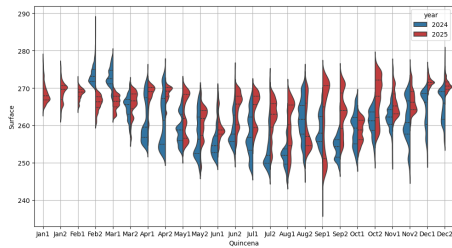
Cada sensor presenta diferentes valores de calidad en LST. En SLSTR se ha utilizado el filtrado de nubes bayesiano (Ghent *et al.*, 2024), recomendado para LST, con una exactitud de aproximadamente el 90%. En VIIRS y MODIS los datos ya presentan un filtrado implícito de nubosidad, no generándose en caso de una fuerte presencia de nubosidad. Para ellos se ha utilizado como filtro el indicador de nubosidad cercana (Malakar *et al.*, 2018). Este valor informa de cuando hay una nube a menos de dos kilómetros del píxel que podría estar influyendo en la medida.

#### 2.3.3. Filtrado de nubosidad independiente

La cámara *all-sky* instalada junto al radiómetro infrarrojo captura imágenes aproximadamente cada cinco minutos. Estas imágenes se utilizan junto a un modelo de estimación de octas diurnas (González-Fernández *et al.*, 2024) para asignar la estimación de cobertura nubosa de cada medida tomada en la superficie terrestre. En base a estas estimaciones, el filtrado independiente de este trabajo consiste en filtrar las medidas de más de cero octas, evitando medidas satelitales con influencias de nubes pequeñas cercanas. Cabe destacar que la desviación típica de este modelo en Marambio para cero octas es de +1,88 octas.

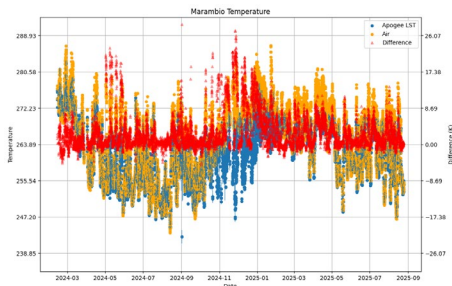
### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Consistencia de las medidas en tierra



**Figura 2.** Distribución de frecuencia de las temperaturas medidas con el Apogee por quincena, mostrada mediante diagramas de violín, que representan tanto la densidad de los datos como su dispersión. Se comparan las mediciones de 2024 (azul) y 2025 (rojo).

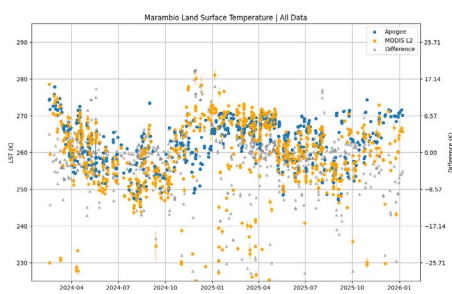
Las medidas tomadas en la superficie de la Tierra no muestran comportamientos extraños en el periodo analizado, lo que es un buen indicio para utilizarlas como referencia en la comparación satelital. Esto puede observarse en la Figura 2, donde se comparan la distribución de temperatura observada por quincena entre los años 2024 y 2025.



**Figura 3.** LST medido con el Apogee (azul) frente a la temperatura de aire de la estación (naranja). En el eje de la derecha se muestran la diferencia entre ambos (rojo).

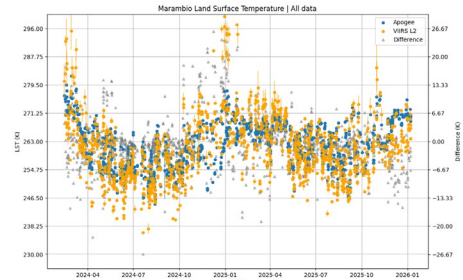
Sin embargo, comparando las medidas de LST con las medidas de temperatura de aire de la estación hasta agosto de 2025, disponibles en la base de datos de *National Centers for Environmental Information* (NCEI) del NOAA (Fig. 3), se observa un desacuerdo entre ambas medidas en mayo de 2024, y en el verano austral 2024/25, donde la diferencia entre ambos valores supera de forma continuada los 10 K de diferencia máxima habituales.

#### 3.2. Comparación LST satélite vs. terrestre

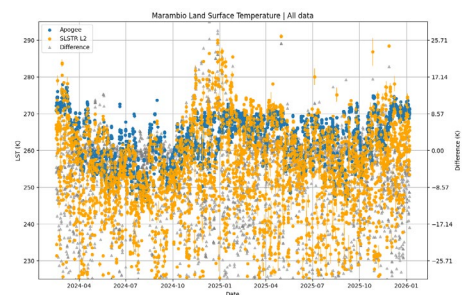


**Figura 4.** LST sin filtrar de MODIS Terra L2 (naranja) frente a las medidas *in situ* correspondientes (azul). En el eje de la derecha se muestran la diferencia entre ambos (gris).

Las medidas satelitales presentan un buen acuerdo general respecto a los valores terrestres, con algunas desviaciones ocasionales. En SLSTR estas discrepancias puntuales son mucho más frecuentes y tienden hacia temperaturas más frías, detectando valores del orden de 230 K frecuentemente. Sin embargo, aparece una discrepancia en el verano austral 2024/25, donde los tres sensores detectan una desviación sistemática gradual que alcanza una diferencia total de +20 K respecto a las medidas desde tierra. Estas comparaciones se pueden ver en las Figuras 4, 5 y 6 para MODIS, VIIRS y SLSTR respectivamente.

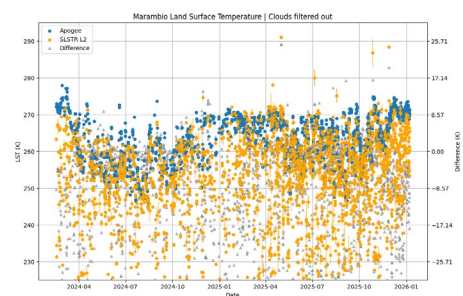


**Figura 5.** Similar a la Figura 4 pero con LST sin filtrar de VIIRS Suomi NPP L2.



**Figura 6.** Similar a la Figura 4 pero con LST sin filtrar de SLSTR Sentinel-3 L2.

#### 3.3. Filtrado de nubosidad satelital

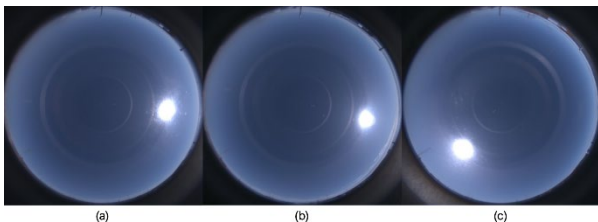


**Figura 7.** Similar a la Figura 4 pero con LST de SLSTR Sentinel-3 L2 con su filtrado bayesiano de nubes aplicado.

El efecto del filtrado de nubes varía entre sensores. En MODIS, los filtros de nubosidad eliminan la mayoría de las medidas, eliminando la discrepancia junto a prácticamente todos los datos estivales. En el caso de VIIRS, el filtrado reduce la amplitud de la discrepancia, siendo la versión sin filtrar más extensa temporalmente. Por el contrario, en SLSTR el filtrado de nubes propio elimina en gran medida el evento observado, sin eliminar una cantidad excesiva de medidas regulares, como puede observarse en la Figura 7.

### 3.4. Filtrado de nubosidad independiente con cámara all-sky

El filtrado alternativo descrito en la Sección 2.3.3 sólo funciona en cielos diurnos. Las mayores discrepancias suceden en el verano, por lo que el filtrado se puede utilizar para la gran mayoría de medidas relevantes, eliminando las nocturnas. Utilizándolo la discrepancia se reduce levemente en duración y magnitud, pero persiste en todos los sensores utilizados. En la Figura 8 se muestran las imágenes tomadas por la cámara de todo cielo en alguno de los instantes que pasan el filtrado de nubosidad alternativo y muestran una mayor diferencia de cada sensor satelital con las medidas terrestres.



**Figura 8.** Imágenes de la cámara de todo cielo de Marambio correspondientes a instantes que pasan el filtrado de nubosidad alternativo, y presentan una gran diferencia entre los sensores satelitales y las medidas terrestres.

Corresponden, en UTC, a: (a) 2024/12/11 11:25, con una diferencia de +26 K en SLSTR; (b) 2024/11/14 11:40, con +15 K en MODIS; y (c) 2024/12/08 18:15, con +26 K en VIIRS.

Para el resto de los datos, este filtro reduce mucho las discrepancias de temperatura fría que podíamos encontrar en los sensores satelitales, especialmente en SLSTR, con mayor efectividad que los filtros intrínsecos de los propios sensores satelitales.

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este trabajo preliminar compara los valores de LST de MODIS Terra, VIIRS Suomi NPP y SLSTR de Sentinel-3 con medidas terrestres en la estación antártica Marambio en 2024 y 2025, y se observa una discrepancia sistemática en el verano 2024/25, donde los datos satelitales presentan un sesgo positivo que aumenta y disminuye de forma lineal, alcanzando diferencias máximas del orden de 20 K a mediados de diciembre.

Aplicando los filtros de nubosidad de cada sensor, se elimina la discrepancia en SLSTR, se reduce la amplitud en VIIRS, y se elimina la discrepancia, junto a la mayoría de las medidas, en MODIS. Sin embargo, aplicando un filtrado de nubes alternativo con imágenes todo cielo tomadas en tierra, la discrepancia no se elimina, lo que significa que no puede ser causada por fuertes presencias de nubosidad.

Entre las posibles causas de esta discrepancia se encuentran el efecto de la superficie marina cercana a la costa sobre las medidas satelitales, el efecto de nubes cercanas sobre las mismas medidas, o un error en las propias medidas terrestres, donde los valores obtenidos no sean representativos de la temperatura de superficie de la isla.

Más allá de la discrepancia del verano de 2024/25, los sensores muestran un gran acuerdo con las medidas terrestres, aunque cabe destacar que las medidas del SLSTR presentan discrepancias frecuentes donde las medidas del sensor satelital son inferiores que las terrestres. Estas discrepancias se eliminan de manera muy efectiva con el filtrado de nubosidad alternativo.

Este trabajo recalca la importancia de conseguir medidas radiométricas de alta calidad de la temperatura de superficie terrestre en el continente antártico tomadas desde la propia superficie de la Tierra, para la realización de actividades de validación y calibración de datos de sensores satelitales.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean mostrar su agradecimiento al Servicio Meteorológico Nacional argentino (SMN) por el soporte y ayuda en la ubicación y el mantenimiento de la instrumentación en la base antártica de Marambio.

Este proyecto ha sido financiado por el proyecto TRIPOLI (PID2024-157697OB-I00) de la Agencia Estatal de Investigación.

## 6. REFERENCIAS

- Calle, A., Gatón, J., González, R., Carracedo, R., Román, R., Martín, P., Mateos, D., Toledano, C., Cachorro, V., de Frutos, A.M., Sobrino, J.A., Skokovic, D. (2024). Puesta en operación de instrumentación en la Base Antártica de Marambio. En *Teledetección y Cambio Global: Retos y Oportunidades para un Crecimiento Azul, Actas del XX Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, pp. 141-144. 2024, Cádiz. Disponible en: <https://aet.org.es/publicaciones/actas-de-congresos>
- Ghent, D., Anand, J. S., Veal, K., & Remedios, J. (2024). The Operational and Climate Land Surface Temperature Products from the Sea and Land Surface Temperature Radiometers on Sentinel-3A and 3B. *Remote Sensing*, 16(18), 3403. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/rs16183403>
- González-Fernández, D., Román, R., Antuña-Sánchez, J. C., Cachorro, V. E., Copes, G., Herrero-Anta, S., Herrero del Barrio, C., Barreto, Á., González, R., Ramos, R., Martín, P., Mateos, D., Toledano, C., Calle, A., & Frutos, Á. (2024). A neural network to retrieve cloud cover from all-sky cameras: A case of study over Antarctica. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 150(764), 4631-4649. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/qj.4834>
- Malakar, N. K., Hulley, G. C., Hook, S. J., Laraby, K., Cook, M., & Schott, J. R. (2018). An Operational Land Surface Temperature Product for Landsat Thermal Data: Methodology and Validation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56(10), 5717-5735. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2824828>