

Skokovic, D.; Sobrino, J.; Llorens, R. El método Nearest Neighbour Temperature Sharpening para la mejora de la resolución espacial de la TST

El método Nearest Neighbour Temperature Sharpening para la mejora de la resolución espacial de la TST

Skokovic, Drazen ¹ Sobrino, José Antonio ¹ Llorens, Rafael ¹

¹ Universidad de Valencia, España

ORCID: Skokovic 0000-0001-7103-9138 Sobrino 0000-0003-3787-9373 Llorens 0000-0002-1973-3437

Correspondencia: drazen.skokovic@uv.es jose.sobrino@uv.es rafael.llorens@uv.es

RESUMEN

Los sensores a bordo de satélites que miden en el Infrarrojo Térmico (TIR), proporcionan datos diarios de la Temperatura de la Superficie Terrestre (TST) con una resolución espacial generalmente baja, a 1 km, adecuada para la gestión de grandes campos agrícolas. Sin embargo, esta resolución espacial no es apropiada para Europa, donde el tamaño de las parcelas suele ser inferior a 100 m y con una elevada heterogeneidad espacial. En este trabajo se propone el procedimiento Desagregación por Vecino más Cercano (DVC) para mejorar la resolución espacial. El método se basa en una relación estadística sencilla entre la TST, el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) y el Índice de Diferencia Normalizada del Agua (NDWI), haciendo especial énfasis en los píxeles que presentan valores máximos y mínimos de NDVI para la mejora del contraste de la TST. Dado que el DVC se fundamenta en el algoritmo original de Afinado de Imágenes Térmicas o, en el inglés original, Thermal Image Sharpening, este modelo también fue evaluado en el estudio para su comparación. Ambos modelos se aplicaron a datos de Sentinel-3 con el objetivo de generar imágenes de TST a la misma resolución espacial que los datos del visibles e infrarrojo cercano del Sentinel-2 (10 m). Los productos obtenidos se validaron frente a imágenes aerotransportadas adquiridas durante la campaña intensiva realizada por la ESA en Italia.



Palabras clave: TST, NNTS, desagregación, evapotranspiración


Fecha de recepción: 19 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 20 febrero 2026

El método Nearest Neighbour Temperature Sharpening para la mejora de la resolución espacial de la TST

Skokovic, Drazen ⁽¹⁾, Sobrino, José Antonio ⁽¹⁾, Llorens, Rafael ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Valencia, España.

 0000-0001-7103-9138, drazen.skokovic@uv.es ;  0000-0003-3787-9373, jose.sobrino@uv.es

 0000-0002-1973-3437, rafael.llorens@uv.es.

Resumen: Los sensores a bordo de satélites que miden en el Infrarrojo Térmico (TIR), proporcionan datos diarios de la Temperatura de la Superficie Terrestre (TST) con una resolución espacial generalmente baja, a 1 km, adecuada para la gestión de grandes campos agrícolas. Sin embargo, esta resolución espacial no es apropiada para Europa, donde el tamaño de las parcelas suele ser inferior a 100 m y con una elevada heterogeneidad espacial. En este trabajo se propone el procedimiento Desagregación por Vecino más Cercano (DVC) para mejorar la resolución espacial. El método se basa en una relación estadística sencilla entre la TST, el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) y el Índice de Diferencia Normalizada del Agua (NDWI), haciendo especial énfasis en los píxeles que presentan valores máximos y mínimos de NDVI para la mejora del contraste de la TST. Dado que el DVC se fundamenta en el algoritmo original de Afinado de Imágenes Térmicas o, en el inglés original, Thermal Image Sharpening, este modelo también fue evaluado en el estudio para su comparación. Ambos modelos se aplicaron a datos de Sentinel-3 con el objetivo de generar imágenes de TST a la misma resolución espacial que los datos del visible e infrarrojo cercano del Sentinel-2 (10 m). Los productos obtenidos se validaron frente a imágenes aerotransportadas adquiridas durante la campaña intensiva realizada por la ESA en Italia.

Palabras clave: TST, DVC, desagregación, TsHARP, Sentinel

The Nearest Neighbour Temperature Sharpening method for the improvement of Land Surface Temperature spatial resolution

Abstract: Current Thermal Infrared (TIR) sensors onboard satellite provide daily LST data at relatively low ground sampling distance resolution, above 1 km, adequate for crop management of extensive fields. However, this cannot be applied to European agricultural fields, mostly with sizes below 100 m and high heterogeneity. Many techniques were developed to reconstruct high-resolution LST, been statistical models most commonly used. In this work, we propose the Nearest Neighbour Temperature Sharpening (NNTS) procedure to improve the GSD of LST. Method is based on simple statistical relation between LST, NDVI and normalized difference water index (NDWI), emphasizing the pixels with maximal and minimal NDVI values. In this way, method can achieve the maximal LST expansion or contrast for high resolution image retrieval. As NNTS is based on the original model thermal image sharpening (TsHarp) algorithm, this model was also tested in the work. Models were applied to Sentinel-3 data in order to generate an image with the same GSD as Sentinel-2 (10 m). Retrievals were tested against the airborne images collected during the intensive campaign performed by ESA in Italy.

Keywords: LST, NNTS, downscaling, TsHARP, Sentinel

1. INTRODUCCIÓN

La Temperatura de la Superficie Terrestre (TST) es una variable fundamental en la física que liga la interacción de la superficie terrestre y atmósfera y está directamente relacionada con los flujos de radiación neta y con los algoritmos de estimación de la evaporación. A diferencia de los sensores a bordo de satélites que operan en el espectro visible e infrarrojo, la resolución espacial de los píxeles en el espectro térmico, con los que usualmente

se obtiene la TST, siempre ha sido más baja. Debido a esta diferencia en la resolución espacial, el acoplamiento de los datos de ambos espectros, requerido, sobre todo, para la estimación de los flujos de energía, necesita de un proceso de reescalado que iguale la resolución espacial de los píxeles implicados.

La mejora de la resolución espacial, se refiere al proceso de obtención de la información a escala local o regional mediante la desagregación de los datos térmicos de baja

resolución espacial (o del pixel grueso), a resoluciones más altas obteniendo, así, píxeles más finos de temperatura a nivel de subpíxel (dentro del pixel grueso). Este proceso se lleva a cabo generalmente mediante algoritmos que explotan relaciones empíricas entre variables de diferentes resoluciones espaciales (Mechri *et al.*, 2016).

Se han desarrollado diversos métodos para la mejora de la resolución espacial de los datos de baja resolución, entre los que destacan los enfoques basados en regresión estadística (Kustas *et al.*, 2003; Lacerda *et al.*, 2021), técnicas de asimilación de datos, análisis de componentes principales (Wang *et al.*, 2015) o, más recientemente, el uso de redes neuronales y machine learning.

De entre los modelos de regresión estadística, la relación NDVI-TST ha sido ampliamente utilizada con fines de desagregación, especialmente mediante métodos de ajustes empíricos (Jeganathan *et al.*, 2011), particularmente en entornos agrícolas y urbanos. Esta relación se ha utilizado tanto en modelos locales, que se basan en relaciones definidas dentro de una vecindad limitada (normalmente una ventana de entre 3×3 a 11×11 píxeles, dependiendo de la resolución original de la TST), como en modelos globales, que aplican una única relación para toda la imagen.

En este trabajo, se propone un nuevo método de desagregación, denominado Desagregación por Vecino más Cercano (DVC). Este enfoque se basa en la variante local del modelo Afinado de Imágenes Térmicas o Temperature Sharpening (TsHARP, por sus siglas en inglés), introducido por Jeganathan *et al.* (2011), y que se aplica a ventanas locales.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Zona de estudio y datos

La zona agrícola de Grosseto, Italia (42.9° N, 11.1° E) ha sido elegida en multitud de ocasiones para la realización de campañas de medidas, preparadas por la Agencia Espacial Europea (ESA). La zona posee una gran variedad de campos de diferentes tamaños y variedad de cultivos ideal para estudios de evapotranspiración, algoritmia y simulación de imágenes sintéticas.

En el año 2018 se realizó una campaña con el sensor hiperespectral aerotransportado Thermal Airborne Spectrographic Imager (TASI), que posee 32 bandas entre 8-11,5 micrómetros. Con él, se tomaron imágenes a una resolución espacial de 3 metros entre los días 18 y 24 de julio. Estos datos, una vez procesados mediante el algoritmo Temperature and Emissivity Separation (TES), fueron validados con datos in situ con un error cuadrático medio inferior a 2 K.

Para los datos de TST de baja resolución, con los que se aplicaran los modelos de desagregación de los píxeles, se han empleado los datos del sensor Sea and Land Surface Temperature Radiometer (SLSTR) a bordo de Sentinel-3. Estos vienen dados a una resolución de 1 km en nadir y con varias imágenes diarias sobre la misma zona de estudio. En nuestro caso, se escogió una imagen, lo más cercana posible al nadir, del producto de

nivel 2 de TST. Ya que a la hora de paso de Sentinel-3 había varias pasadas de avión con una diferencia temporal de 5 minutos con respecto a Sentinel-3, se utilizaron todas las pasadas incluidas en el intervalo de ± 5 min para la validación de los métodos DVC y TsHARP. Teniendo en cuenta esto, se seleccionó la imagen de las 10h UTC del Sentinel-3A del día 18 de julio y tres imágenes TASI de entre las 9:55h y 10:05h de ese mismo día.

Para los datos visibles e infrarrojos, se utilizó el producto de nivel 2 de reflectividad del sensor Multispectral Imager (MSI) a bordo del Sentinel-2. Ya que los datos de reflectividad de la superficie terrestre suelen tener pocas variaciones con el paso de los días (siempre que las condiciones meteorológicas sean estables y la influencia humana sea mínima), se empleó una imagen lo más cercana posible a la fecha de la campaña, con una cobertura mínima de nubes y remuestreada a una resolución de 10 m, mediante el método de vecino más cercano. A partir de aquí, se calculó el NDVI y el NDWI.

Finalmente, los productos TST, NDVI, NDWI de Sentinel y TST-TES de TASI, se georreferenciaron a la misma grilla para poder trabajar con ellas y validar los resultados. Además, los datos TASI se remuestrearon a 10 m, para su posterior uso en la validación.

2.2. Métodos de desagregación de TST

Para la desagregación, el primer paso que se realiza es el remuestreo de los datos NDVI y NDWI a la resolución de la TST gruesa, siendo estos denotados como $\overline{\text{NDVI}}$ y $\overline{\text{NDWI}}$. A partir de aquí, se aplican ambos métodos a un área de vecindad de 3×3 píxeles que se desliza por toda la imagen, desagregando la TST.

El método DVC se basa en la similitud de las propiedades de los píxeles vecinos gruesos ($\overline{\text{NDVI}}$ y $\overline{\text{NDWI}}$) con el valor de NDVI-NDWI del pixel fino del cual se quiere estimar su TST, teniendo en cuenta su distancia. Esto complementa el modelo lineal $\overline{\text{NDVI}} - \overline{\text{NDWI}}$ frente a TST gruesa usado en el TsHARP para la estimación de la TST fina. Además, al método se le ha añadido una mejora del contraste de la TST, que reorganiza los píxeles de mayor y menor temperatura, junto con los valores más bajos y altos de NDVI, respectivamente, para trazar un nuevo ajuste por mínimos cuadrados. Esta reorganización sólo se realiza cuando el modelo por mínimos cuadrados tiene un coeficiente de determinación pobre ($r^2 < 0,6$). Finalmente, la TST fina se estima como la suma ponderada de la TST obtenida por regresión lineal y la TST copiada de los vecinos próximos que comparten propiedades de NDVI y NDWI.

A diferencia del modelo original TsHARP, donde la TST se estima mediante una regresión por mínimos cuadrados ordinarios, el método DVC añade una mayor complejidad por la introducción de las similitudes entre píxeles y la adición del contraste. En la Figura 1 y 2 se presenta un esquema del funcionamiento de ambos métodos.

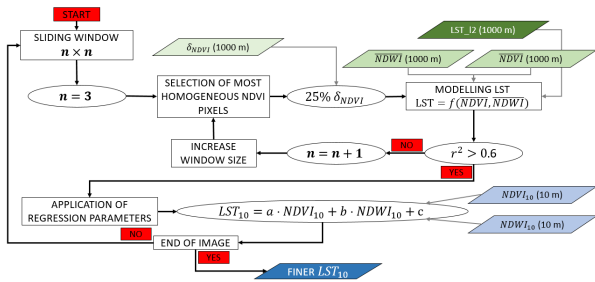


Figura 1. Esquema del procedimiento seguido para la aplicación del algoritmo TsHARP.

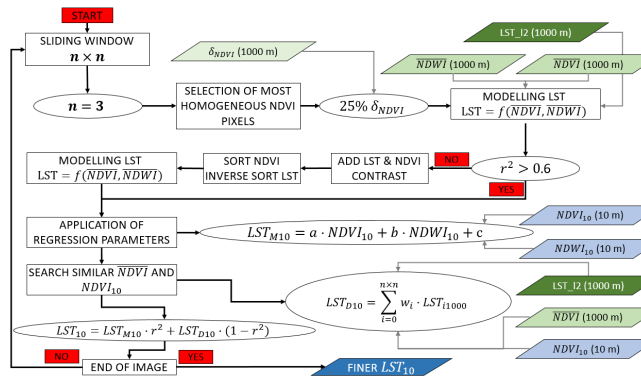


Figura 2. Esquema del procedimiento seguido para la aplicación del algoritmo DVC.

3. RESULTADOS

En la Figura 3 se muestran las imágenes originales y desagregadas de la TST obtenidas del producto Sentinel-3 y mediante la aplicación del método NNTS, respectivamente. Como se puede observar, la obtenida por desagregación, de alta resolución, nos muestra valores más altos y bajos de la TST, además de mostrar con gran detalle los diferentes campos de la zona.

En la Figura 4 y 5 se presentan las imágenes a 10 metros de resolución espacial sobre la zona de estudio de Grosseto. En la primera, se muestran los valores estimados por DVC, mientras que, en la segunda, se presentan los valores TST-TES de TASI. En ambas se aprecia una gran similitud entre las imágenes, aunque con una diferencia significativa, entre 5 K y 7 K, para los valores superiores a 315 K, siendo los del producto TST-TES, siempre superiores.

Si nos fijamos en los resultados obtenidos mediante la comparación de las imágenes desagregadas frente a las registradas por el sensor TASI, Figura 6 y 7, podemos observar que el método DVC obtiene un mejor resultado que el método TsHARP, con una diferencia entre ambos métodos de 0.7 K, en términos del error cuadrático medio obtenido. Esta diferencia, se debe a que el método DVC (Figura 6) consigue alcanzar valores más altos y más bajos de TST. Para TsHARP, los valores están en un rango de entre 305-320 K, muy parecido a la imagen Sentinel-3, mientras que para el método DVC, este rango aumenta alcanzando valores de 302-325 K. Esta mejora en el contraste es la que permite expandir el rango de TST, siendo este más parecido a la imagen TASI.

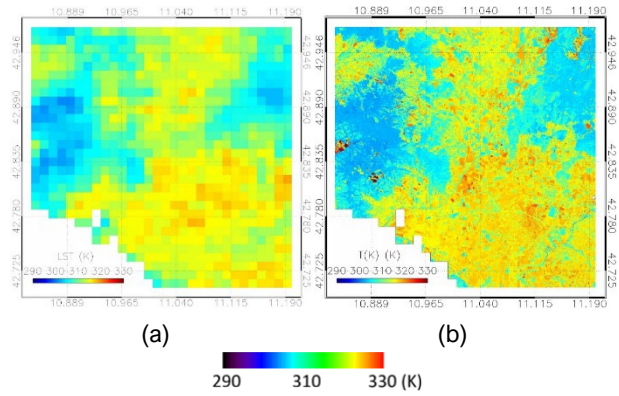


Figura 3. (a) Imagen TST extraída del producto TST de Sentinel-3 y (b) Imagen desagregada por el método DVC.

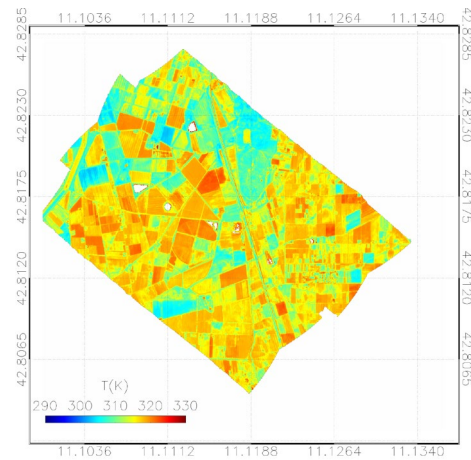


Figura 4. Imagen desagregada aplicando el método DVC sobre la zona agrícola de Grosseto.

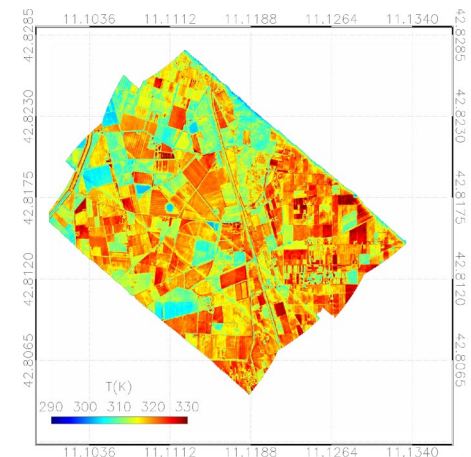


Figura 5. Imagen TST-TES de TASI a 10 m de resolución espacial formada por el promedio de 3 imágenes entre las 9:55-10:05 h.

En términos globales, podemos decir que ambos métodos funcionan bien, a pesar de que el resultado de 4.2 K y 3.5 K pueda parecer pobre. Hay que tener en cuenta que la imagen obtenida nos da la TST a 10 m (un incremento de resolución de 100 veces) y que, además, la comparación con la imagen TASI no es perfecta, ya que el procedimiento de rescalado aplicado a la imagen

TST-DES no garantiza una representación perfecta del píxel a 10 m. Teniendo en cuenta esto, podemos decir que los resultados obtenidos son satisfactorios para ambos métodos, siendo el DVC un poco mejor que el TsHARP.

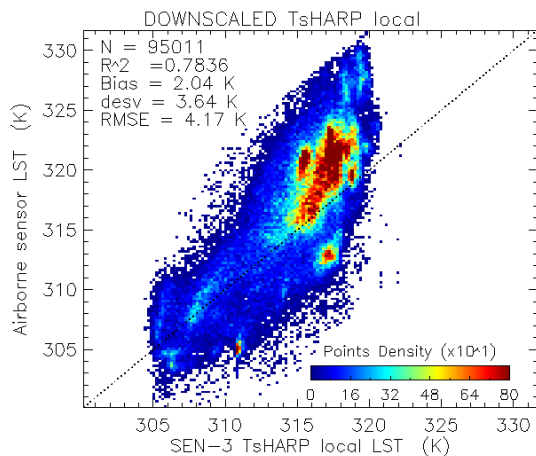


Figura 6. Resultado de la comparación entre la imagen desagregada por TsHARP y los datos TASI.

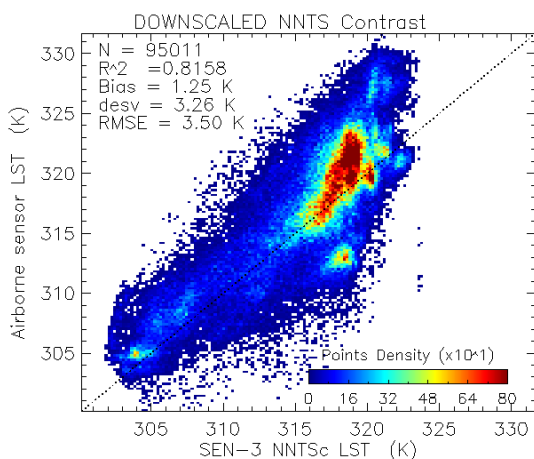


Figura 7. Resultado de la comparación entre la imagen desagregada por DVC y los datos TASI.

4. CONCLUSIONES

Los métodos de desagregación son necesarios para la estimación de la TST a una resolución espacial más alta, sobre todo si estos datos son necesarios para aplicaciones que incluyan la evapotranspiración como su elemento principal.

Con la adición de la mejora de contraste y similitud con píxeles vecinos, el algoritmo DVC mejora el resultado del TsHARP, ya que da más peso a los valores extremos de los píxeles. A pesar de que se ha conseguido mejorar el resultado con este nuevo método, este se ha de analizar en otras zonas agrícolas, para diferentes etapas de crecimiento de cosechas y distribución de parcelas verdes y suelos desnudos. Todo esto puede afectar a los resultados, por lo que, un análisis más detallado en otras zonas sería recomendable.

Por último, cabe destacar que la validación con datos de avión presenta bastantes problemas, debido a los

reajustes en la georreferenciación y reescalado de los píxeles, pudiendo, estos, añadir un error extra a la comparación. Una opción interesante, sería la validación de los métodos con datos in situ, lo que eliminaría este problema.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la financiación recibida por la Conselleria de Educación, Cultura y Universidades de la Generalitat Valenciana, dentro del marco PROMETEO 2024 (Subvenciones para la realización de proyectos de I+D+I para grupos de investigación de excelencia), para el proyecto “Indicadores Medioambientales y Fenómenos Adversos en la Comunidad Valenciana usando datos de satélite” (INMESAT, referencia CIPROM2023-42) y también al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España, la Agencia Estatal de Investigación en el marco del proyecto IPL-HRTS (PID2023-150737OB-I00).

6. REFERENCIAS

Lacerda, L.N., Cohen, Y., Snider, J., Huryna, H., Liakos, V., Vellidis, G. (2021) Field Scale Assessment of the TsHARP Technique for Thermal Sharpening of MODIS Satellite Images Using VEN μ S and Sentinel-2-Derived NDVI. *Remote Sensing*, vol. 13, 1155. <https://doi.org/10.3390/rs13061155>

Jeganathan, C., Hamm, N. A., Mukherjee, S., Atkinson, P. M., Raju, P. L. N., & Dadhwal, V. K. (2011). Evaluating a thermal image sharpening model over a mixed agricultural landscape in India. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 13, Issue 2, Pag. 178-191. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.11.001>

Kustas, W.P., Norman, J.M., Anderson, M.C., French, A.N. (2003). Estimating subpixel surface temperatures and energy fluxes from the vegetation index–radiometric temperature relationship. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 85 (4), Pag. 429-440. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00036-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00036-1)

Mechri, R., Otlé, C., Pannekoucke, O., Kallel, A., Maignan, F., Courault, D. and Trigo, I. F. (2016) Downscaling Meteosat Land Surface Temperature over a Heterogeneous Landscape Using a Data Assimilation Approach. *Remote Sensing*, Vol. 8, Pag. 586-604. <https://doi.org/10.3390/rs8070586>

Wang, F., Qin, Z., Li, W., Song, C., Karnieli, A. and Zhao, S. (2015). An Efficient Approach for Pixel Decomposition to Increase the Spatial Resolution of Land Surface Temperature Images from MODIS Thermal Infrared Band Data” *Sensors*, Vol. 15, no. 1, Pag. 304–330. <https://doi.org/10.3390/s150100304>