



Facultad de Filosofía y Letras  
Grado en Geografía y Ordenación del Territorio

Influencia de las variables geográficas en la distribución espacial de la temperatura de la superficie de Cantabria

*“Influence of geographic variables upon Cantabria’s land surface temperature distribution”*

Autor: Gonzalo Muñiz Zatón

Director: Domingo Rasilla Álvarez

Curso: 2016-2017 / 19 de junio de 2017

## ÍNDICE

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE	Página 3
1. INTRODUCCIÓN	Página 5
1.1. LA TEMPERATURA COMO VARIABLE CLIMÁTICA	Página 5
1.2. LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS TEMPERATURAS	Página 6
1.3. LA TELEDETECCIÓN EN EL ANÁLISIS DE LAS TEMPERATURAS DE SUPERFICIE.	Página 7
1.4. OBJETIVOS	Página 9
2. CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	Página 9
2.1. RELIEVE DE CANTABRIA	Página 10
2.2. CLIMA DE CANTABRIA	Página 11
2.3. LA VEGETACIÓN Y LOS USOS DEL SUELO	Página 13
3. FUENTES DE INFORMACIÓN Y METODOLOGÍA	Página 14
3.1. FUENTES DE INFORMACIÓN	Página 14
3.2. METODOLOGÍA	Página 16
4. RESULTADOS	Página 25
4.1. CARACTERIZACIÓN ESPACIAL DE LA TS EN CANTABRIA.	Página 25
4.2. CUANTIFICACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE TS Y VARIABLES GEOGRÁFICAS.	Página 32
4.3. RELACIÓN ENTRE TS Y USOS DEL SUELO.	Página 36
5. CONCLUSIONES	Página 38
6. ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS, CUADROS Y GRÁFICOS	Página 39
7. BIBLIOGRAFÍA	Página 41

## RESUMEN

La temperatura es una variable climática de gran importancia ya que controla numerosos procesos. El objetivo de este trabajo es identificar los patrones espaciales y temporales de la temperatura de superficie en Cantabria entre 2008 al 2012, y determinar qué factores geográficos explican su distribución. Para ello hemos tratado las imágenes del sensor MODIS, a bordo del satélite Terra (NASA), mediante un Sistemas de Información Geográfica (ArcGis), en combinación con técnicas estadísticas.

Los resultados reflejan la existencia de diferentes patrones espaciales, que varían tanto de manera diaria como estacional, y el predominio de la altitud como variable explicativa fundamental, aunque su relevancia varía estacionalmente. El contraste entre los patrones diurno y nocturno es más acusado en verano. Al mismo tiempo, mientras que la distribución de las temperaturas muestra un sesgo negativo en invierno, tanto por el día como por la noche, probablemente por la influencia de acumulaciones locales de aire frío, en verano sólo las temperaturas diurnas muestran un sesgo, aunque positivo, debido a la inclusión de Campoo y Valderredible, debido a su mayor continentalidad y localización meridional. La incorporación de usos del suelo pone de relieve cómo las superficies antropizadas producen un calentamiento, mientras que las naturales tienden a reducir las temperaturas de la superficie terrestre.

Palabras clave: Temperatura de la superficie terrestre (TS), Sistemas de Información Geográfica (SIG), gradientes térmicos, variables geográficas.

## ABSTRACT

The temperature is a climatic variable of great importance since controls numerous processes. The main goal of this work is to identify the spatial and temporal patterns of the land surface temperature in Cantabria between 2008 and 2012, and to determine which geographical factors explain its distribution. We have treated the images of the MODIS sensor, aboard Terra satellite (NASA), using Geographic Information Systems (ArcGis), in combination with statistical techniques.

The results reflect the existence of different spatial patterns, which vary at both daily and seasonal time scales, and the predominance of the altitude as a main controlling variable, although its relevance changes seasonally. The diurnal cycle is more pronounced in summer; at

## ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

the same time, while the temperature distribution shows negative biases in winter, both at day and night, probably due to the influence of local cold air accumulations (snow cover, temperature inversions), only daytime temperatures show a bias in summer, although positive, related to enhanced warming of the surface across the valleys of Campoo and Valderredible, due to its greater continentality and southern location. Both are the result of temporal changes in the relevance of the geographic factors that explain the spatial distribution of temperatures, mainly the altitude. The addition of the land uses highlights the warming effect of the anthropic surfaces and the cooling of the natural ones.

Keywords: Land Surface Temperature (LST), Geographic Information Systems (GIS), temperature gradients, geographic variables.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. LA TEMPERATURA COMO VARIABLE CLIMÁTICA

La temperatura es, junto con la precipitación, la variable más utilizada para la descripción de las características climáticas de cualquier zona del planeta (Fernández García, 1996). La temperatura controla muchos procesos atmosféricos, como la convección, la condensación, el tipo de precipitación, sólida o líquida etc. Igualmente, otros procesos, ligados esta vez a la actividad de los seres vivos (floración, germinación), están estrechamente relacionados con la variabilidad de las temperaturas. Por ello, el establecimiento de umbrales térmicos ha servido para identificar y caracterizar los rasgos climáticos de los ámbitos en los que los seres vivos desarrollan sus actividades. Cabe mencionar, también, el impacto de las variaciones de temperatura sobre algunos procesos geomorfológicos, como la crioclastia. Por último, destacar que la temperatura es uno de los parámetros claves para identificar la influencia de las actividades humanas en el sistema climático (IPCC, 2013).

Habitualmente, la variable térmica más analizada en la mayoría de los estudios climáticos es la temperatura del aire, registrada en los observatorios meteorológicos a una altura de 1,5 m, por medio de sensores (termómetros) protegidos de la radiación solar y ventilados (garita meteorológica), normalización que facilita la comparación entre registros térmicos de puntos diferentes del planeta (figura 1.1).



Figura 1.1: Garita Meteorológica en el aeropuerto de Noaín (Pamplona / Navarra)

Fuente: [http://ojaizmet.blogspot.com.es/2011/11/mi-nuevo-blog\\_24.html](http://ojaizmet.blogspot.com.es/2011/11/mi-nuevo-blog_24.html)

Además de la radiación terrestre, la temperatura del aire depende de los intercambios turbulentos entre la superficie y la atmósfera terrestre, al igual que de los movimientos horizontales (advección) y verticales (convección) de las masas de aire.

## **1.2. LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS TEMPERATURAS**

Es bien conocido que la temperatura del aire presenta una importante variabilidad espacial y temporal, en la que influyen diferentes factores, tanto atmosféricos como geográficos (Barry y Chorley, 1999). Entre los factores geográficos más relevantes se encuentra la latitud. Ésta determina la cantidad de radiación solar recibida en el límite de la atmósfera a través de la duración del día, y la estacionalidad, es decir, el número y sucesión de estaciones a lo largo del año. Sin embargo, el balance de radiación en superficie está condicionado por la transparencia atmosférica, que determina la cantidad de radiación que efectivamente alcanza la superficie, así como la pérdida por absorción y reflexión difusa, o la retención de la radiación infrarroja emitida por la Tierra. La nubosidad, tanto su cantidad como su tipología, el vapor de agua o los aerosoles son, entre otros, los componentes clave de este proceso.

Un segundo factor clave es, a escala global, la distribución de superficies continentales y oceánicas, y a escala local, la naturaleza del terreno. Las masas de agua oceánicas poseen un comportamiento térmico diferente al de las continentales, dado su elevado calor específico, mayor transparencia a los rayos solares y estar afectadas por movimientos convectivos, que facilitan el intercambio vertical entre aguas profundas y superficiales. Debido a ello, la respuesta térmica de las superficies marinas es más lenta que la de las superficies continentales, dadas a calentamientos y enfriamientos más rápidos y de mayor magnitud. Como consecuencia de ello, las zonas costeras muestran una menor variabilidad diaria y estacional que las situadas en el interior. Por su parte, en zonas nevadas o cubiertas de hielo, las temperaturas pueden ser anormalmente bajas, dado que estas superficies, por elevado albedo, devuelven la mayor parte de radiación solar incidente. Igualmente, las masas forestales tienden a moderar tanto los aumentos como los descensos de las temperaturas. Esto se debe, fundamentalmente, a que las copas de los árboles absorben la mayor parte de la radiación, dejando el suelo en la sombra; además, la mayor parte de dicho calor es utilizado para procesos fisiológicos de los vegetales. Finalmente, cabe señalar que también las superficies artificiales (espacios urbanos, puertos, carreteras etc.) como un factor adicional en la diversidad de las temperaturas, ya que su respuesta térmica es diferente a la de las superficies naturales, siendo buena prueba de ello el

conocido como “efecto de isla de calor urbana” (Fernández García, 1996). Como en muchos otros puntos del planeta, Cantabria está inmersa en un proceso de cambio en los usos del suelo y en el tipo de superficies, ligado a las transformaciones socioeconómicas, sometido a dos tendencias en principio divergentes. Por un lado, la artificialización de ciertos ámbitos regionales, sobre todo los próximos al litoral, y por otro lado la naturalización de zonas del interior. Así, en Cantabria la superficie perteneciente al uso artificial (zonas urbanas, carreteras etc.) supone el más del 4%, mientras que la media nacional se encuentra en 2,42%, acompañada de un aumento del 21% en la superficie forestal (Magrama, 2016).

Otro factor clave es el relieve, que se manifiesta de diferentes maneras. Por ejemplo, la temperatura disminuye a medida que aumenta la altitud. Esta disminución es variable, pero el promedio se calcula en 0,65 °C/100 m, lo que se conoce como “Gradiente Térmico Estático”. La temperatura del aire habitualmente disminuye a medida que se asciende en la troposfera, descenso que ocasionalmente puede llegar a invertirse, en función de la situación atmosférica dominante y las características del relieve. Este descenso térmico se debe a que el calentamiento de la atmósfera no es resultado directo de la radiación solar, sino del calentamiento de la superficie terrestre, que luego transmite una parte de ese calor a la atmósfera (Cuadrat y Pita, 2006). Como consecuencia de ello, la temperatura del aire es mayor cuánto más cerca nos situamos del foco de calor, disminuyendo a medida que se aleja de él. A su vez, a igualdad de altitud, la orientación, y en menor medida la pendiente, condicionan la recepción de una mayor o menor radiación y provocan importantes contrastes térmicos locales, determinando solanas y las umbrías (Cuadrat y Pita, 2006). Por último, la exposición a la circulación atmosférica dominante puede perturbar el movimiento de las masas de aire, favorecer su acumulación y estancamiento durante numerosos días.

### **1.3. LA TELEDETECCIÓN EN EL ANÁLISIS DE LAS TEMPERATURAS DE SUPERFICIE.**

Dada la significación de la temperatura del aire y su capacidad de regulación de múltiples procesos a escala local, regional y global, la demanda de información sobre la distribución espacial de esta variable a lo largo del año ha crecido considerablemente, no sólo desde la óptica meteorológica, al considerarse un dato básico para los modelos de predicción meteorológica, sino también desde una orientación aplicada, por ejemplo en la evaluación de daños provocados por las heladas, en la detección de incendios forestales etc. Una opción

## ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

habitual es utilizar la información puntual obtenida de estaciones meteorológicas convencionales (Harris et al, 2014; Stocker et al, 2013) o de bases de datos globales (Kalnay et al, 1996; Uppala et al, 2005) para su posterior generalización sobre un territorio mediante diferentes procedimientos geoestadísticos. Sin embargo, la densidad de observaciones procedente de las citadas redes meteorológicas no es habitualmente la más óptima, dado que suele concentrarse en zonas habitadas (fondos de valle, áreas costeras), inconveniente especialmente crítico en ámbitos de montaña (Stahl et al, 2006; Holden et al, 2011).

Por ello, se hace necesario incorporar métodos alternativos que superen estos inconvenientes. La obtención de información térmica a partir de la teledetección es una alternativa, dada la buena relación entre esta última variable y la temperatura de la superficie (Stisen et al, 2007; Benali et al, 2012; Cristóbal et al, 2008). La teledetección aporta, en este sentido, ventajas como proporcionar información simultánea sobre grandes extensiones de terreno y un grado de detalle excepcional. No obstante, no está exenta de problemas, como una resolución espacial y una periodicidad temporal muy variables, así como la necesidad de corregir dichos datos debido a la absorción de la atmósfera y a la emisividad de la superficie. Por otro lado, el producto térmico proporcionado habitualmente por la teledetección, la temperatura de la superficie terrestre, es la temperatura radiométrica derivada de la radiación térmica infrarroja (TIR) emitida por la superficie terrestre, y medida instantáneamente, parte de la cuál es transformada en calor sensible (la temperatura medida por los termómetros; Wan et al, 2008; Liu et al, 2008). Por ello, es sensible a las condiciones de la atmósfera (nubosidad, transparencia...) y del sustrato (albedo, cubierta vegetal, humedad del suelo; Jin y Dickinson, 2010; Shreve, 2010), presentando una mayor afinidad con las temperaturas mínimas –nocturnas- que con las máximas –diurnas- (debido al factor distorsionados de la radiación solar y de los procesos de transferencia de calor; Fu et al, 2011; Prince et al, 1998), y responden más rápidamente a sus factores reguladores.

En los últimos años, la disponibilidad de información térmica procedente de satélites se ha generalizado. En particular, el lanzamiento de los satélites Aqua y Terra por la NASA, portando el sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), acompañados del desarrollo de herramientas de acceso a la información a través de INTERNET y de tratamiento de la información, ha supuesto un salto cualitativo y cuantitativo. En comparación con otras plataformas (pe. ASTER o LANDSAT), su menor resolución espacial ( $\sim 1 \text{ km}^2$ ) es compensada por una mayor resolución temporal (dos pasadas diarias), lo que permite estudiar fenómenos a escala diaria, mientras que, al disponerse de series de más de 15 años, podemos

conocer su evolución estacional e interanual. La información proporcionada por el satélite MODIS se han utilizado en una gran variedad de aplicaciones, entre las que se encuentran la detección a gran escala de perturbaciones de ecosistemas, monitoreo de la sequía, monitoreo de la cubierta terrestre, estudios de agrometeorología, estudios de biodiversidad.

#### **1.4. OBJETIVOS**

Este trabajo tiene por objetivo el análisis de la distribución espacial y temporal de la temperatura de la superficie terrestre en Cantabria, y la determinación de los factores que explican dicha variabilidad. Este objetivo general se aborda en tres fases:

1. En la primera fase se elaboró una base de datos que combina información georreferenciada acerca de las temperaturas de la superficie en Cantabria en diferentes momentos del año, variables geográficas (altitud, localización –latitud, longitud-...) y usos del suelo.
2. En una segunda fase se determinaron los principales patrones espaciales y temporales de la temperatura de superficie en Cantabria.
3. Por último, la tercera fase relacionó la distribución espacial de las temperaturas de superficie en diferentes momentos del año con las variables geográficas y los usos del suelo citados anteriormente mediante la aplicación de procedimientos estadísticos.

## **2. CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El ámbito geográfico del estudio es la Comunidad Autónoma de Cantabria (figura 2.1). Esta región presenta una serie de características geográficas singulares (relieve contrastado, bruscos gradientes climáticos, diversidad de usos de suelo...) que la convierten en un excelente laboratorio en el que desarrollar el objetivo de este TFG. Este apartado está orientado a la revisión de las características más relevantes para el análisis de la distribución de las temperaturas de la superficie terrestre sobre Cantabria.



Figura 2.1.: Límites administrativos de Cantabria. Fuente: Elaboración propia.

## 2.1 RELIEVE DE CANTABRIA

Cantabria se encuentra localizada en el sector central de la Cordillera Cantábrica, una alineación montañosa de más de 400 km, con dirección W-E, entre Galicia y los Pirineos. Como consecuencia, el relieve de la región es muy abrupto, con fuertes pendientes y desniveles marcados, producto de una larga evolución geológica y una intensa actividad morfogenética. Ambas circunstancias explican la diversidad de unidades morfoestructurales, cuya altitud aumenta progresivamente. De N a S se distinguen la Marina y la Montaña, incluidas en la vertiente norte de la Cordillera Cantábrica, mientras que Campoo y los valles al S de la divisoria, pertenecientes mayoritariamente a la cuenca del Ebro, se sitúan en una zona de transición en la que confluyen rasgos del Sistema Ibérico y la Cordillera Cantábrica (figura 2.2).

La Marina constituye el ámbito geográfico de menor altitud, constituido por una alternancia de valles prelitorales y sierras que ocasionalmente alcanzan el litoral (Udías-Novales, Camargo, Peña Cabarga, Monte Buciero y Cerredo), acompañadas de una serie de rías y bahías de dimensiones muy variables (San Vicente de la Barquera, Santander). El límite meridional de este ámbito lo constituye la Sierra del Escudo de Cabuérniga en su lado occidental, que se prolonga hacia el E en las primeras estribaciones de las Montañas del Pas y del Macizo del Asón.

## ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

A partir del citado límite, el territorio comienza a ganar altitud hasta alcanzar sus máximas cotas coincidiendo casi siempre con la divisoria entre la vertiente Cantábrica y las cuencas de los ríos Duero y Ebro. Sin embargo, esta divisoria no es homogénea, ya que al W del río Besaya supone una barrera que supera fácilmente los 2000 m de altitud, mientras que al E sólo se alcanzan los 1700 m. Además de su altitud, este ámbito se define por sus elevadas pendientes, resultado de la incisión de una red fluvial que ha diseccionado el territorio siguiendo orientaciones S-N, siguiendo un trazado perpendicular a la costa.

Una vez rebasada la divisoria de aguas, la región se articula alrededor de dos grandes valles, Campoo y Valderredible, cuya altitud media supera los 700 m, y que configuran un espacio de montaña media articulado en torno al curso del río Ebro.

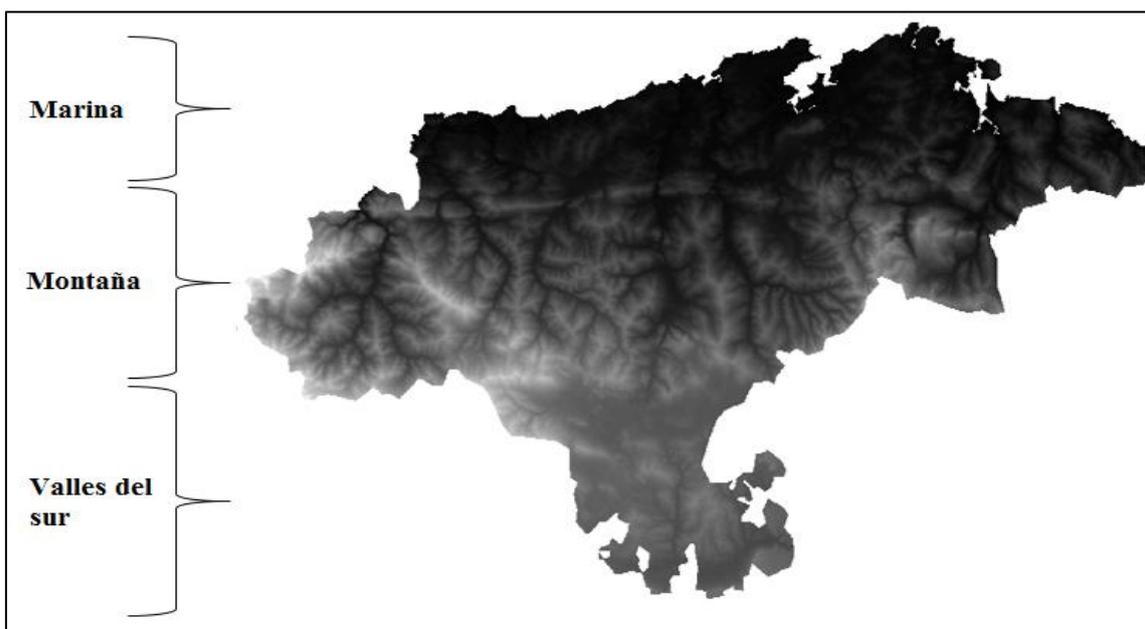


Figura 2.2.: Organización morfoestructural de Cantabria.

Fuente: Elaboración propia a partir de MDT.

### 2.2 CLIMA DE CANTABRIA

El clima de Cantabria se encuadra dentro de los climas oceánicos, propios de las fachadas occidentales de los continentes (*Cfb* según la clasificación climática de Köppen). Como rasgos específicos se podría destacar la abundante humedad ambiental, las precipitaciones regulares, sin estación seca, y un régimen térmico moderado, tanto en lo que hace referencia a la oscilación diaria como a la anual. Estos rasgos, característicos del ámbito

## ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

costero, sufren una progresiva degradación hacia el interior, siguiendo dos gradientes, uno relacionado con la altitud, y otro relacionado con la distancia al mar. El efecto de estos gradientes es acumulativo en invierno, de tal manera que las zonas del interior son más frías que las costeras, mientras que en verano se contraponen, siendo los valles interiores más cálidos que la zona costera. Como consecuencia de ello, Cantabria ofrece una notable diversidad climática a escala comarcal, en la que se puede distinguir un clima costero (Aeropuerto de Parayas), unos valles orientales hiperhúmedos (Villacarriedo), unos valles occidentales más cálidos y menos lluviosos (Tama), y un clima de transición, con rasgos oceánicos en Campoo (Reinosa) y con rasgos mediterráneos en Valderredible (Polientes).

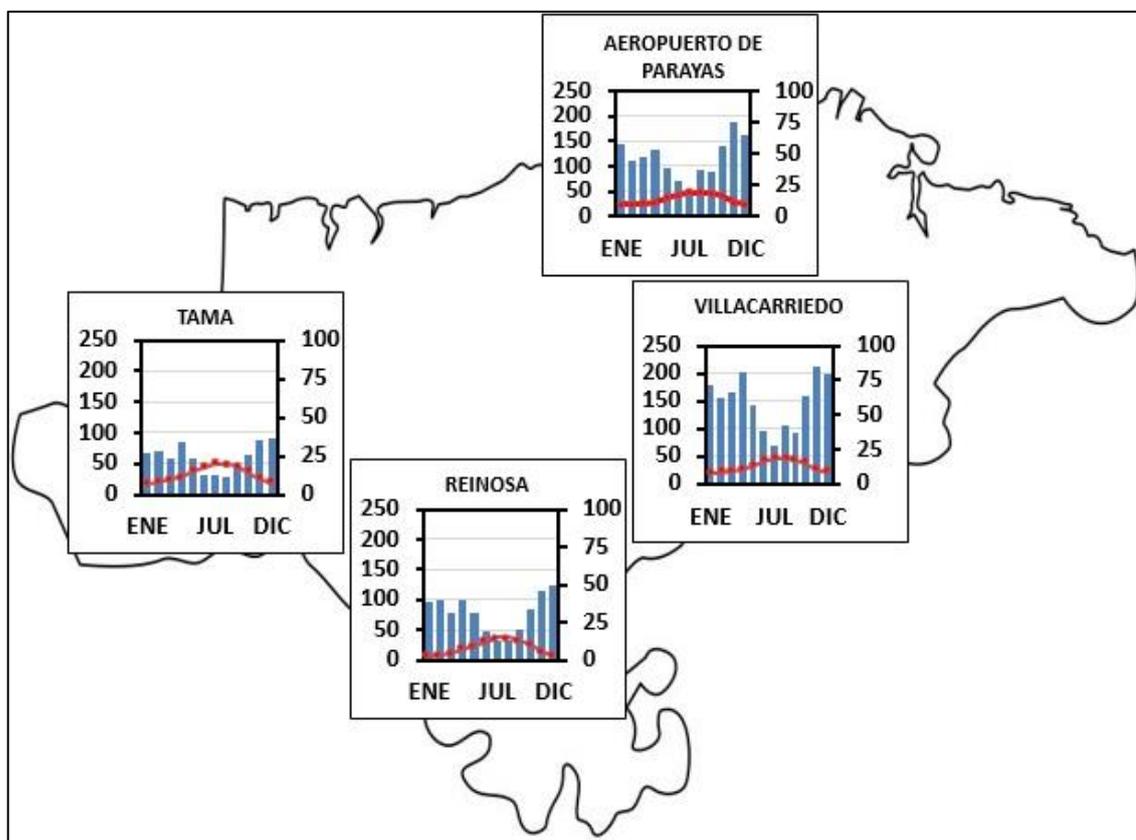


Figura 2.3.: Caracterización climática de Cantabria.

Fuente: Elaboración propia.

### 2.3. LA VEGETACIÓN Y LOS USOS DEL SUELO

La vegetación actual de Cantabria está estrechamente condicionada por los factores físicos antes mencionados (orografía, litología, clima), pero también por la acción antrópica.

Las formaciones vegetales dominantes en la vertiente septentrional pertenecen al bosque caducifolio, típico de la región eurosiberiana (Rivas Martínez, 1987). Debido a la orografía, las diferentes formaciones vegetales se escalonan altitudinalmente en función de su tolerancia térmica. Así, en la costa y el fondo de los valles predominan los robledales (*Quercus robur*), sustituidos por bosques de ribera a lo largo de los cauces fluviales, y los encinares (*Quercus ilex*) en áreas desprovistas de suelo, fundamentalmente calizas. En ámbitos cálidos, como Liébana, es habitual la presencia de especies termófilas, tales como el alcornoque (*Quercus suber*). A partir de los 400-600 m el robledal es sustituido por el hayedo (*Fagus sylvatica*), que suele ocupar las laderas de umbría, llegando a desbordarse hacia la vertiente meridional de la cordillera cantábrica. El límite del bosque suele estar marcado por la presencia del abedul (*Betula pendula*), que deja paso a partir de los 1600-1700 m a formaciones abiertas, como matorrales en los que es frecuente las árgomas (*Ulex europaeus*), brezos, piornos etc... así como a los pastos de altura. A lo largo del valle del Ebro, la vegetación muestra su pertenencia a un ámbito de transición, en el que las especies propias del ámbito cantábrico van quedando localizadas en las orientaciones más húmedas, predominando especies mediterráneas como el rebollo (*Quercus pirenaica*) y la encina (*Quercus ilex*).

Esta vegetación potencial ha sido intensamente transformada por la acción humana. Aunque existen evidencias de esta última en tiempos prehistóricos, el paisaje actual es producto de una larga evolución que comienza con las roturaciones medievales y alcanza su máxima intensidad a lo largo de los siglos XIX y XX (Codron et al, 1990). En el interior de Cantabria, el predominio de la actividad ganadera supuso la sustitución del bosque por formaciones abiertas (brañas), mientras en la costa los diferentes modelos socioeconómicos predominantes han generado un mosaico paisajístico, con frutales (limones para la Marina Real), prados para la ganadería de leche o repoblaciones (fundamentalmente eucaliptos y pinos) para la industria de transformación etc.

### 3. FUENTES DE INFORMACIÓN Y METODOLOGÍA

#### 3.1 FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la realización de este trabajo se han combinado las siguientes fuentes de información:

- a) La temperatura de la superficie terrestre procede del producto MOD11A2. Este producto incluye información diversa, como la hora de obtención de la imagen, una evaluación de su calidad, el tiempo de observación, los ángulos de visión, el estado del cielo y emisividad estimada etc. El producto se basa en una composición, cada 8 días, de los mejores píxeles con una resolución espacial de 1 km<sup>2</sup>. El rango de años seleccionado para el estudio fue 2008 a 2012. Dado que los ficheros originales poseen un formato \*.hdf, se utilizó una aplicación que permite la extracción de zonas determinadas de la superficie terrestre en formato \*.tiff y con proyección geográfica, lo que facilita su integración en un Sistema de Información Geográfica.



Figura 3.1: Interfaz página web descarga MODIS.

Fuente:

[https://lpdaac.usgs.gov/dataset\\_discovery/modis/modis\\_products\\_table/mod11a](https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mod11a)

- b) MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT). El modelo digital del terreno, en formato ráster, fue proporcionado por Consorcio de Información Espacial (CGIAR-CSI; <http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90m-digital-elevation-database-v4-1>), concretamente el producto conocido como SRTM 90m DEM, cuya resolución, 90 m,

## ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

fue considerada suficiente para el nivel de detalle requerido al analizar el campo de temperatura superficial.

- c) CORINE LAND COVER. Para el análisis de las coberturas y usos del suelo se ha utilizado esta base de datos, obtenida mediante la interpretación de imágenes recogidas por los satélites LandSat y SPOT (CLC; <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>), con una resolución espacial de 250 m. Esta base de datos distingue 5 categorías básicas (superficies artificiales, superficies agrarias, zonas forestales y boscosas, humedales y masas de agua) subdivididas a su vez en otras categorías; por ejemplo, las superficies artificiales engloban las zonas urbanas, las zonas industriales y comerciales, las redes viarias y ferroviarias junto con los terrenos a ellas asociados y las zonas portuarias y aeropuertos, las zonas de extracción mineras, escombreras y vertederos y zonas en construcción y, por último, las zonas verdes urbanas y las instalaciones deportivas y recreativas.

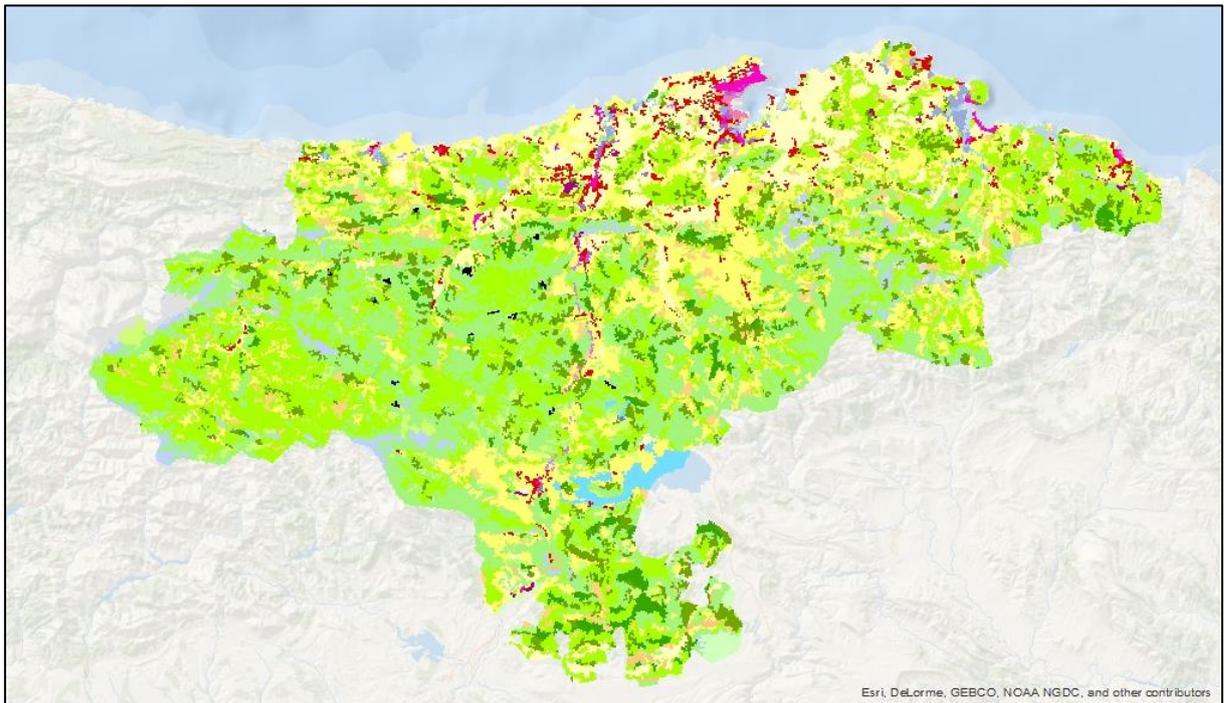


Figura 3.2: Usos del suelo en Cantabria según Corine Land Cover. Fuente:

<http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

### 3.2 METODOLOGÍA

Dado que este trabajo combina fuentes de información cartográfica y climática con diferentes formatos y resoluciones espaciales, una parte de su desarrollo requirió un tratamiento previo (gráfico 3.1). En este sentido, dado que la fuente fundamental de información se obtiene en WGS1984, se decidió mantenerlo como sistema de proyección básico.



Gráfico 3.1: Esquema del proceso metodológico. Fuente: Elaboración propia

Los datos originales de temperatura requieren un procesamiento previo, para lo cual se diseñó un procedimiento en fases, que consistió en la conversión de los datos en formato TIFF, a un formato ASCII y su importación en un programa de uso general (EXCEL).

## ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

En primer lugar, los datos de temperatura deben ser transformados en °C, debido a que los ficheros en formato \*.tiff mantienen la compresión en la que están escritos los ficheros \*.hdf originales. Para ello, los valores originales deben ser multiplicados por un factor de compresión contenido en la documentación de apoyo.

La información proporcionada por las imágenes de satélite ofrece algunos problemas derivados de la propia naturaleza del proceso de toma de datos. Aunque el producto MOD11A2, como se ha señalado en páginas anteriores, minimiza la posibilidad de píxeles vacíos, pues es el resultado de los valores promedio de cada píxel a lo largo de periodos de 8 días, no elimina totalmente la contaminación por nubes, algo muy frecuente en climas oceánicos, como el de Cantabria. Otros factores adicionales que explican la ausencia puntual de información son los fallos del propio sensor o del dispositivo encargado de transmitir la información a la estación receptora. En ambos casos, estos píxeles aparecen identificados con la etiqueta “NoData”. Dado que su número no ha sido muy elevado, circunstancia que no compromete el objetivo último de este trabajo (salvo en el caso de la temperatura superficial nocturna en invierno), se procedió a eliminar de los análisis posteriores todos esos píxeles con datos ausentes.

Igualmente, no es infrecuente la presencia de valores “atípicos” en los valores de temperatura. Los valores atípicos pueden indicar la mezcla de poblaciones, por lo que el cálculo de estadísticos (por ejemplo, la media) que incluyan un número elevado de valores atípicos puede proporcionar resultados erróneos. Existen diferentes métodos para la detección de valores atípicos; aquí se ha seguido el Test de Tukey, por su sencillez. Este test calcula la diferencia entre el primer cuartil (1C) y el tercer cuartil (3C). Esta diferencia, conocida como rango intercuartílico, se multiplica por un factor específico, bien 1,5 (atípico leve) o 3 (atípico extremo). En nuestro caso, se procedió al cálculo de cada uno de esos parámetros sobre el conjunto de imágenes correspondientes a cada uno de los periodos temporales de análisis (enero\_día, enero\_noche etc...) por separado; los píxeles equivalentes a un valor atípico extremo fueron eliminados.

Con esta información depurada, se procedió al cálculo de los valores promedio de todas las imágenes en cada uno de los periodos temporales de análisis seleccionados. Dado el carácter exploratorio de este análisis, se decidió utilizar las imágenes pertenecientes a los meses extremos del año, enero y julio, separando las imágenes diurnas de las nocturnas, considerando que esta selección proporcionaría resultados claros y nítidos desde el punto de vista climático.

## ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

Una vez obtenidos los valores promedios de la temperatura de la superficie terrestre sobre Cantabria, los ficheros ASCII fueron convertidos de nuevo a formato ASCII ESRI, con el fin de importarlos como fichero georreferenciado en un sistema de información geográfica, manteniendo la resolución espacial original de 1 km<sup>2</sup>.

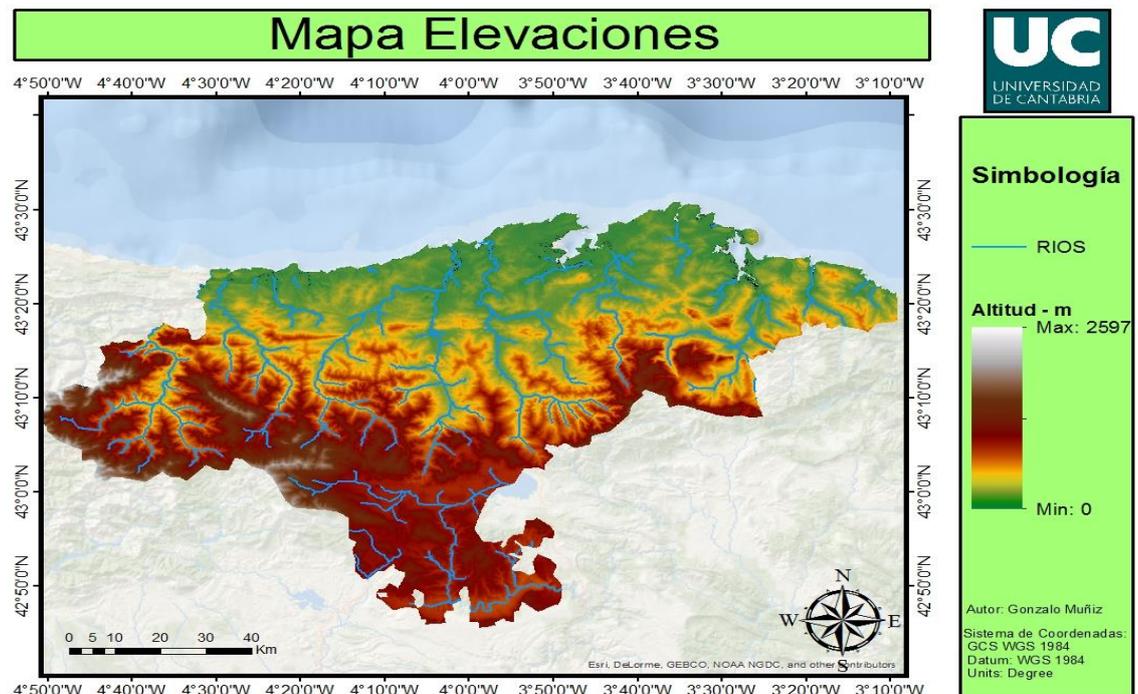


Figura 3.3: Mapa de elevaciones. Fuente: Elaboración propia a partir del MDT.

La información digital del MDT fue empleada para la extracción de una serie de variables topográficas que, según trabajos anteriores, son relevantes para explicar la distribución espacial de las variables de la temperatura (Ninyerola, et al, 2005). Las variables topográficas derivadas del MDT y las herramientas utilizadas para su obtención (ArcToolBox del programa ArcGIS → Spatial Analyst Tools → Surface) son las siguientes: Slope (pendiente), Aspect (orientación) y Curvature (curvatura).

## ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

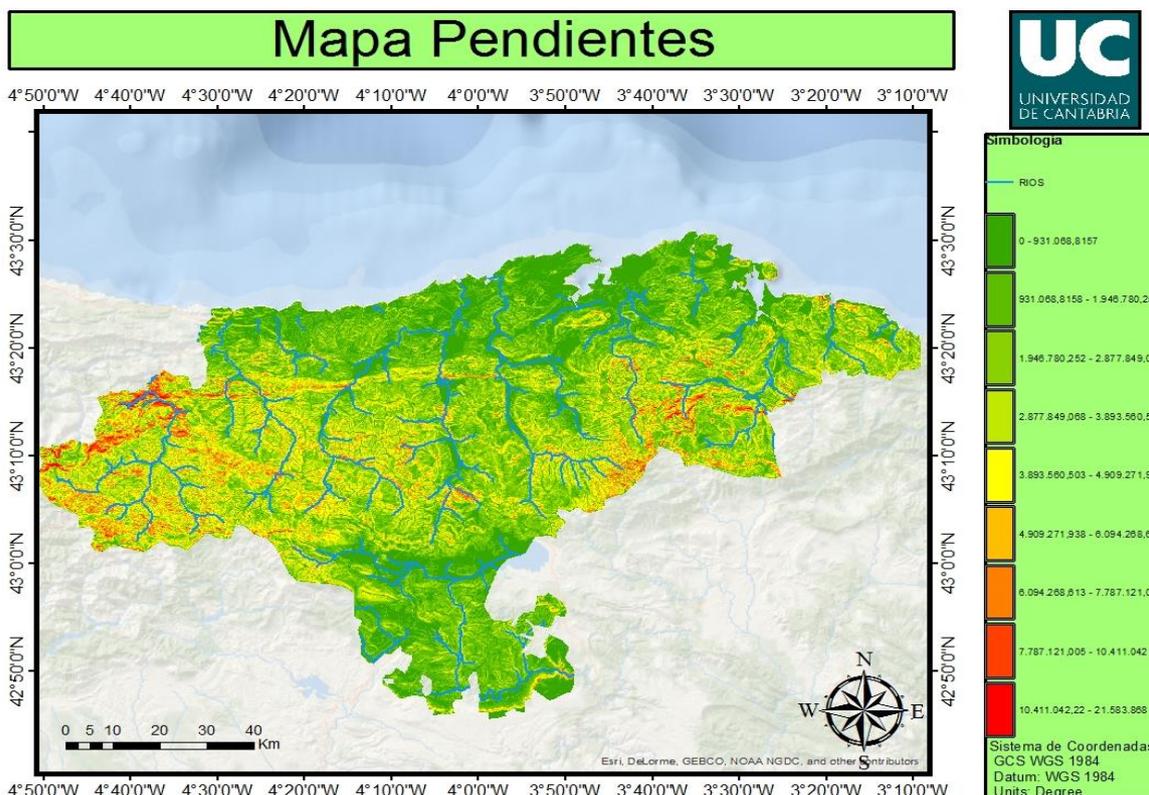


Figura 3.4: Mapa de pendientes. Fuente: Elaboración propia a partir del MDT.

El número de categorías identificadas por los datos originales extraídos del CLC se reveló demasiado elevado para su posterior utilización. De acuerdo con los trabajos realizados previamente (Codron e Ibars, 1999) en Cantabria, el comportamiento térmico de los espacios de bosque, matorral y pasto es diferente. Por otro lado, las superficies cubiertas por vegetación natural suelen comportarse de manera diferente a las superficies construidas por el ser humano (Stroppiana et al, 2014). Siguiendo las directrices sugeridas por estos trabajos, se optó por la fusión de las 44 clases originales en un total de 6 categorías (Tabla 3.2). Esto se realizó mediante la herramienta “Reclassify”, de la ArcToolBox (Spatial Analyst Tools → Reclass). Por ejemplo, dentro de la categoría “Artificial” se han incluido todas las superficies urbanas, industriales, infraestructuras (carreteras, puertos, aeropuertos) etc.

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

VALOR CLC	CLASE
1 al 11	Artificial
12 al 17	Cultivo
18 al 22	Pasto
23 al 25	Bosque
26 al 34	Matorral
35 al 44	Superficie Acuática
NoData	NoData

Tabla 3.1: Tabla representativa de los valores de las clases del CLC original, fusionados en 6 nuevas categorías.

Con objeto de hacer comparable la resolución espacial de los datos de temperatura con la información proporcionada tanto por el MDT como por el CLC (modificado) se procedió a la creación de una rejilla de igual resolución espacial (1 km<sup>2</sup>) cuyos límites se superponían exactamente con los de las temperaturas. Esto se realizó a través de la herramienta “Create Fishnet” (situada en la aplicación ArcToolBox → Data Management Tools → Feature Class).

Sobre esta rejilla (Fishnet) se extrajeron las coordenadas geográficas (latitud y longitud), del centroide de cada cuadrícula de la rejilla. La latitud puede considerarse como una variable que puede reemplazar a la distancia al mar, mientras que la longitud podría teóricamente representar el efecto del desplazamiento habitual de las masas de aire en Cantabria que suele ir de W a E.

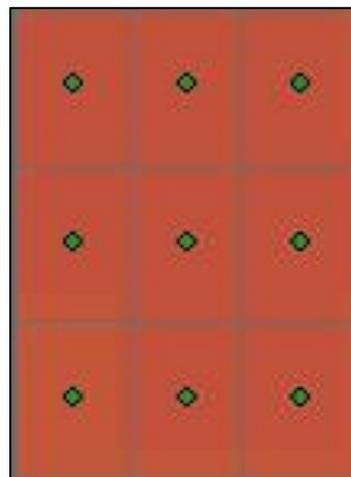


Figura 3.5: Centroides sobre rejilla fishnet. Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de trabajar dentro de los límites administrativos de Cantabria se realizó un recorte de las capas mediante la capa base del SIANE (Sistema de Información del Atlas Nacional de España; <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/equipamiento.do?method=mostrarEquipamiento>)

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

Finalmente, utilizando la herramienta Zonal Statistics (ubicación: Arctoolbox → Spatial Analyst Tools → Zonal) se calculó para cada celda los promedios de temperatura (MODIS), altitud, pendiente y orientación (MDT), y porcentaje de la superficie de cada rejilla ocupada por cada categoría de uso del suelo. Esta herramienta permite la exportación de estos valores en formato tabla para su posterior tratamiento estadístico en el programa Excel (figura 3.3).

ZonalStatistics_MDT90m													
OBJECTID *	OID	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
1	8510	15	0,00001	1108	1155	47	1130,533	14,17917	16958	15	1108	1108	1130
2	8511	24	0,000017	1081	1110	29	1088,667	7,824463	26128	14	1084	1082	1084
3	8512	19	0,000013	947	1083	136	1020,474	43,26585	19389	19	947	947	1020
4	8513	10	0,000007	937	999	62	960,7	23,15189	9607	9	938	937	949
5	8514	3	0,000002	968	975	7	971	2,94392	2913	3	968	968	970
6	8523	78	0,000054	1055	1068	13	1063,141	3,323284	82925	14	1065	1055	1064
7	8524	86	0,00006	1060	1075	15	1066,43	2,818299	91713	14	1068	1060	1066
8	8525	75	0,000052	1064	1090	26	1075,88	6,989439	80691	25	1067	1064	1076
9	8526	63	0,000044	1069	1089	20	1076,095	5,135356	67794	20	1071	1069	1075
10	8527	6	0,000004	1071	1082	11	1076,833	4,740488	6461	4	1071	1075	1075
11	8779	10	0,000007	1026	1139	113	1088,2	38,36092	10882	9	1118	1026	1090
12	8780	58	0,00004	972	1150	178	1082,017	53,49299	62757	48	999	972	1103
13	8781	100	0,000069	911	1110	199	1040,82	58,93783	10408	67	1083	911	1076
14	8782	100	0,000069	887	1083	196	994,1	62,60791	99410	73	918	887	997
15	8783	100	0,000069	843	974	131	896,55	32,43867	89655	66	871	845	890
16	8784	100	0,000069	836	1082	246	957,33	70,35525	95733	81	902	836	946
17	8785	18	0,000013	904	1082	178	1048,444	53,81163	18872	15	1080	904	1075
18	8790	7	0,000005	839	1059	220	939,2857	75,44669	6575	7	839	839	924
19	8791	70	0,000049	827	1064	237	946,1857	72,38376	66233	59	827	833	934
20	8792	76	0,000053	811	1062	251	910,5658	69,14883	69203	66	831	811	891
21	8793	99	0,000069	835	1066	231	963,6768	82,60357	95404	72	1062	835	974
22	8794	100	0,000069	841	1069	228	990,38	78,43822	99038	62	1064	841	1020
23	8795	100	0,000069	852	1081	229	1020,7	69,19212	10207	61	1077	852	1067
24	8796	100	0,000069	916	1081	165	1044,11	45,60392	10441	48	1069	916	1069
25	8797	66	0,000046	898	1070	172	1012,561	58,49815	66829	43	1068	898	1026
26	8798	27	0,000019	917	1051	134	1002	34,49316	27054	25	1000	917	1009
27	8799	39	0,000027	1052	1070	18	1067,179	3,037136	41620	8	1068	1052	1068
28	8800	65	0,000045	1051	1070	19	1065,862	3,581478	69281	12	1068	1051	1067
29	8801	36	0,000025	1060	1070	10	1066,917	2,430992	38409	9	1068	1060	1068
30	9049	74	0,000051	874	1164	290	1009,568	70,58578	74708	65	928	874	1013
31	9050	100	0,000069	835	997	162	898,22	41,48797	89822	74	861	835	888
32	9051	100	0,000069	821	942	121	862,07	27,4475	86207	62	831	821	858

Tabla 3.2: Zonal Statistics del MDT.

Fuente: Elaboración propia.

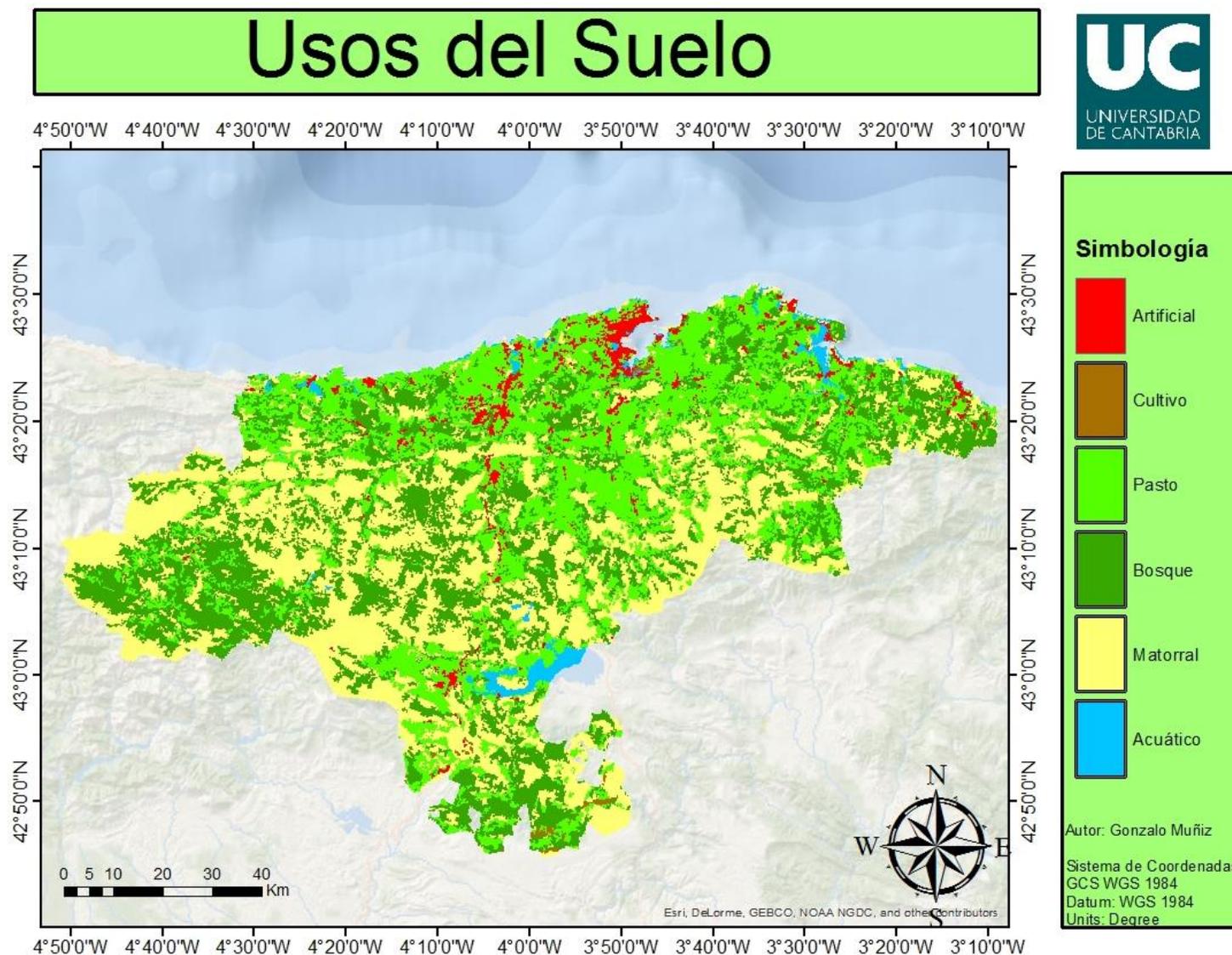


Figura 3.6: Mapa de usos del suelo. Fuente elaboración propia a partir del CLC.

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

Clase	Superficie Km2	Porcentaje
Artificial (1 al 11)	149	3%
Cultivo (12 al 17)	14	0%
Pasto (18 al 22)	1530	29%
Bosque (23 al 25)	1654	31%
Matorral (26 al 34)	1884	35%
Superficie Acuática (35 al 44)	88	2%
Total	5321	100%

Tabla 3.3: Porcentaje de superficie de las clases de usos del suelo.

Fuente: Elaboración propia

- Tratamiento estadístico de la información

Dado que el objetivo final es la búsqueda de relaciones entre la temperatura de la superficie terrestre y un conjunto de variables geográficas y usos del suelo, las técnicas estadísticas más apropiadas para el análisis de variables cuantitativas son el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson, y el análisis de regresión lineal. Ambas utilizan la información numérica correspondiente a cada píxel, proporcionada por el Sistema de Información Geográfica.

La cuantificación del grado de asociación entre variables se realizó a través del cálculo del coeficiente de correlación de Pearson, aplicando la siguiente fórmula:

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

Siendo:

$S_{xy}$ : Covarianza entre las dos variables

$S_x$ : Desviación típica de la variable X

$S_y$ : Desviación típica de la variable Y

El valor del índice de correlación varía en un intervalo de  $[-1,1]$ , siendo el signo el que indica el sentido de la relación:

- Si  $r = 1$ , existe una correlación positiva perfecta, lo que supone una dependencia total entre las dos variables.
- Si  $0 < r < 1$ , existe una correlación positiva, mientras que si  $-1 < r < 0$ , la relación entre variables es negativa.
- Si  $r = 0$ , no existe relación lineal.
- Si  $r = -1$ , existe una correlación negativa perfecta: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

La significación estadística del índice de correlación de Pearson, para un nivel de significación del 0,05, se puede obtener con la sencilla fórmula (Raso et al, 1987):

$$|r| * \sqrt{n} > 1,96$$

Siendo  $|r|$  el valor absoluto (independiente del signo) del coeficiente de correlación, y  $n$  el número de pares de casos.

La técnica estadística que permite investigar la relación entre una variable dependiente (Y) y una o más variables independientes ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) es la regresión lineal, que implica que una variación en una variable supone una variación proporcional en la otra. Se expresa mediante la ecuación.

$$y_i = ax_i + b + e_i$$

En la que  $X_i$  son valores de la variable independiente,  $e_i$  los errores aleatorios que representan las diferencias entre el modelo y la realidad, mientras que  $a$  y  $b$  son los parámetros que definen la pendiente (cuánto aumenta Y por cada aumento de una unidad en X) y el origen (valor de Y cuando  $X = 0$ ) de la recta.

El modelo de regresión lineal permite generar predicciones para el valor esperado para un valor individual de la variable dependiente (Y) asociado a un valor dado de la variable independiente (X); la diferencia entre el valor estimado por el modelo y el valor observado constituye el residuo.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. CARACTERIZACIÓN ESPACIAL DE LA TS EN CANTABRIA

Los gráficos de caja y bigotes mostrados en el gráfico 4.1 muestran con claridad que la temperatura de superficie experimenta dos ciclos evidentes: un ciclo diurno, con temperaturas nocturnas más bajas que las diurnas, y un ciclo estacional, siendo los inviernos más fríos que los veranos. En este sentido, la variabilidad temporal de la temperatura de superficie muestra un comportamiento similar al de la temperatura del aire. Otro aspecto llamativo es que la oscilación diaria (la diferencia entre la temperatura nocturna y la diurna) es bastante mayor en verano (de 12°C a 24°C) que en invierno (de 3°C a 7°C).

Sin embargo, un análisis de la simetría de la distribución de las temperaturas a partir de la comparación del tamaño de la “caja” con respecto a la mediana, y de los “bigotes” con respecto a la caja, muestra comportamientos singulares, que podrían derivar del papel ejercido por los factores geográficos en la distribución espacial y temporal de la temperatura de superficie en Cantabria. Por ejemplo, es evidente que la variabilidad de las temperaturas es más elevada en invierno que en verano, como evidencia el mayor tamaño de la “caja”, que supera 3,5°C en invierno, frente a poco más de 2°C en verano.

Otro aspecto que cabe mencionar es que, frente a un predominio de distribuciones simétricas (salvo durante las noches invernales) en lo que hace referencia a las “cajas”, los bigotes muestran la presencia de valores extremos cuyo sesgo es negativo en invierno (es decir, representan píxeles fríos) frente a otros positivos durante el verano (pero sólo en las temperaturas diurnas, como reflejo de valores diurnos muy elevados). Probablemente, los píxeles con temperaturas muy bajas en invierno reflejen la presencia de una cubierta nival abundante (alto albedo) o a la acumulación de aire frío en los fondos de los valles durante las largas noches invernales. Por el contrario, en verano, podría pensarse que las altas temperaturas diurnas respondan a la distorsión causada por la inclusión de los píxeles correspondientes a los valles de Campoó y Valderredible. Por su localización en la vertiente meridional de la cordillera cantábrica, los rasgos mediterráneos estivales están muy acentuados (elevada insolación, altas temperaturas).

## ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

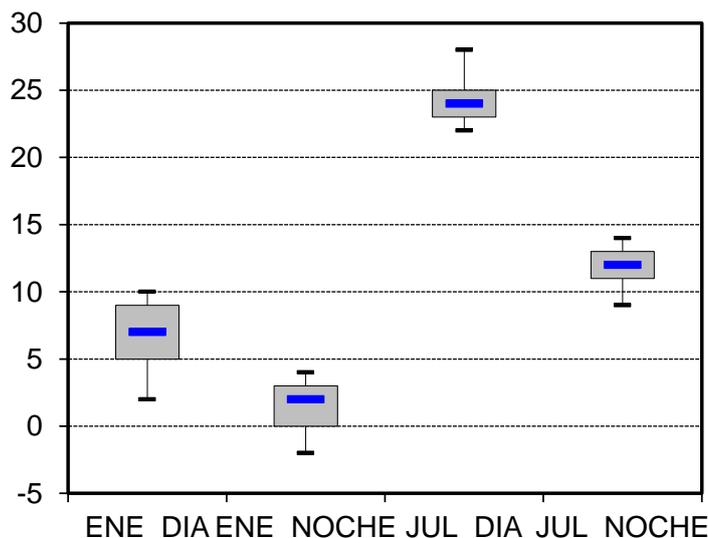


Gráfico 4.1: Diagrama de caja y bigotes mostrando los valores medios y la variabilidad de las temperaturas de superficie en Cantabria. Fuente: Elaboración propia.

El segundo aspecto a considerar en este trabajo es la representación cartográfica de la temperatura de superficie sobre Cantabria a lo largo del año. Exceptuando el mapa correspondiente a las temperaturas diurnas estivales, la distribución espacial de las temperaturas de superficie está estrechamente ligada a la topografía. En general, se aprecia claramente un gradiente desde la costa hacia el interior, donde las temperaturas más cálidas se encuentran en la zona de costa, haciendo especial mención en el entorno de la bahía de Santander, y las temperaturas más frías en zonas de montaña.

Por ejemplo, en invierno (enero), el mapa correspondiente a las horas diurnas térmico superficial muestra que los valores más bajos, inferiores a  $-10^{\circ}\text{C}$ , aparecen en Picos de Europa, Peña Sagra, Alto Campoo y divisoria meridional de Liébana. En la montaña oriental, aun siendo bajos, no alcanzan el frío de los anteriormente comentados. La franja costera, por el contrario, muestra los registros más elevados, favorecidos por el efecto termorregulador del mar, superándose los  $10^{\circ}\text{C}$ . Igualmente, los fondos de los valles también presentan valores claramente superiores a los cordales que los separan, y bastante similares a los de la costa. En Campoo y Valderredible, su mayor altitud determina valores térmicos intermedios entre la costa y las cumbres montañosas.

Por su parte, el mapa correspondiente a las horas nocturnas muestra una disposición similar, en la que domina un patrón ligado a la altitud. Los registros más cálidos se sitúan en el ámbito costero, mientras los más fríos vuelven a aparecer en las áreas de montaña. Al mismo tiempo, cabe señalar algunas singularidades. Una de ellas se produce en Campoo de Yuso y

## ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

Valdeolea, dónde se observan valores térmicos sustancialmente más bajos que en zonas próximas de igual altitud. Dicho comportamiento térmico podría tener su explicación en una frecuencia elevada de fenómenos de inversión térmica. Otra zona que muestra singularidades es la bahía de Santander. Aquí, mientras durante el día las máximas temperaturas se registran en el arco sur, durante la noche se desplazan hacia el núcleo urbano de Santander. A falta de otras evidencias, y dado el tamaño del píxel, estas temperaturas más altas podrían estar relacionadas con el efecto de “isla de calor urbano” (López et al, 1993).

El patrón espacial de las temperaturas diurnas estivales es completamente diferente a las restantes. Por ejemplo, las áreas de temperaturas más elevadas se sitúan de manera dispersa o “globular”, en torno a la bahía de Santander, fondo de algunos valles (Deva, Besaya, Pas), Campoo, Valdeolea y mitad sur de Valderredible. Las áreas menos cálidas siguen situándose en las zonas altas, como en Alto Campoo, Peña Sagra o Picos de Europa, pero incluso en ellas es posible detectar áreas más cálidas (papel de las diferentes rocas). Durante las noches de verano, se vuelve a un patrón ligado al control orográfico, similar al invernal, detectándose como fenómeno singular el papel del embalse del Ebro como fuente de calor.

El fenómeno por el cual las temperaturas son mayores en la ciudad que en ámbitos circundantes se conoce como “Isla de calor urbana”. Las causas de su formación son diversas, pero esencialmente, se deben a la sustitución de las superficies naturales por otras antrópicas, cuyas propiedades radiativas difieren sustancialmente, favoreciendo la retención del calor almacenado por el día y su liberación nocturna.

Las superficies acuáticas ejercen un papel termorregulador tanto en zonas de costa como en la zona del embalse del Ebro. La causa de ello es que el agua, y con ello las superficies acuáticas, absorben y desprenden calor de una manera distinta a como lo hacen la vegetación o materiales duros ya sea de origen natural o humano. El agua absorbe el calor con mayor lentitud que lo hacen los demás tipos de superficie, haciendo que exista así una gran diferencia de temperaturas entre zonas costeras y de interior.

Además, en épocas de calor como son los meses de verano, el agua absorbe grandes cantidades de energía, aumentando así el proceso de evaporación, y disminuyendo la temperatura del aire, con temperaturas medias cerca de masas de agua. Sin embargo en épocas de frío, con el calor del agua se va templando la temperatura del aire. Dependiendo de las corrientes de aire, y del relieve de la zona, la influencia de las masas de agua puede llegar a kilómetros de distancia.

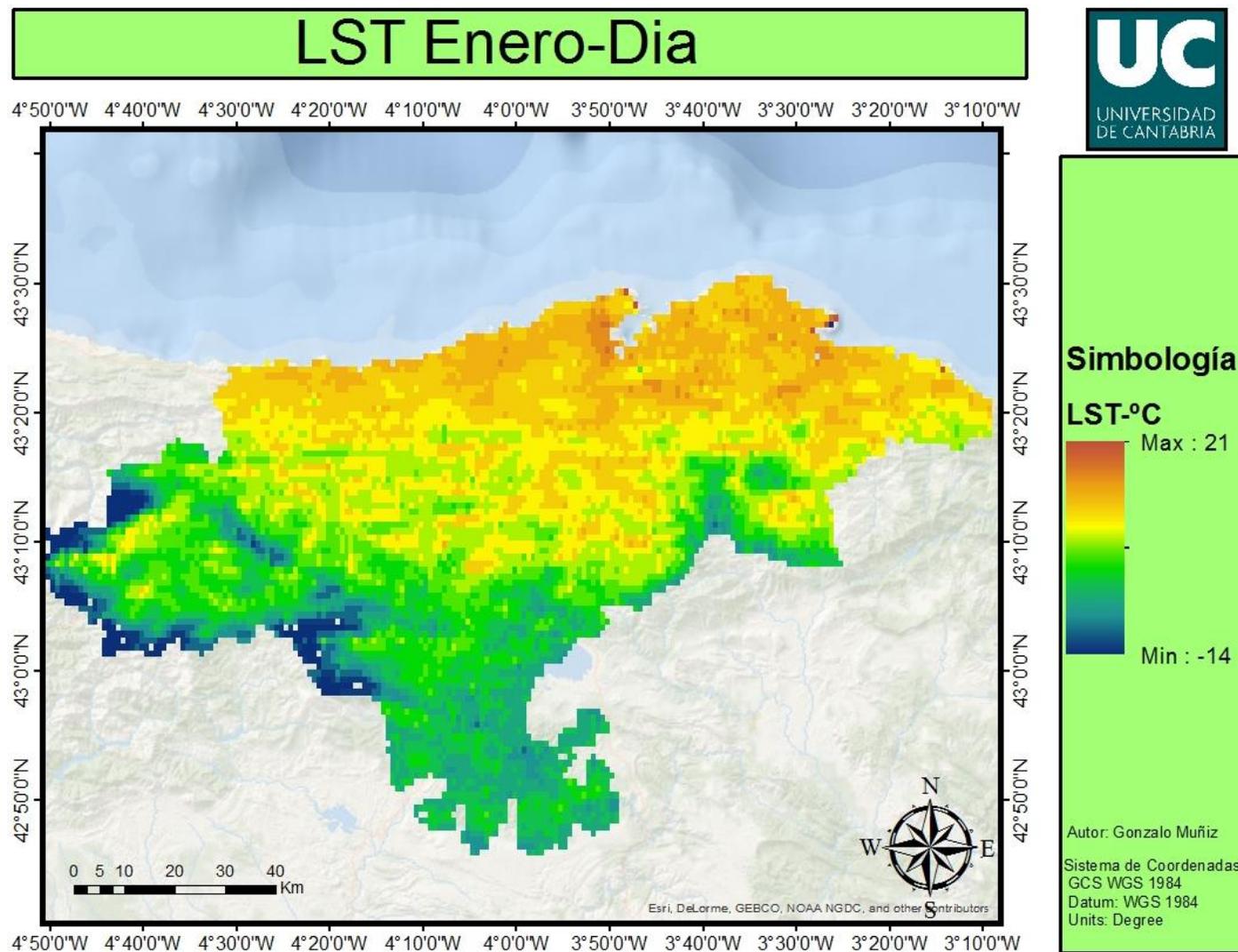


Figura 4.1: LST Enero-Día. Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes del MODIS.

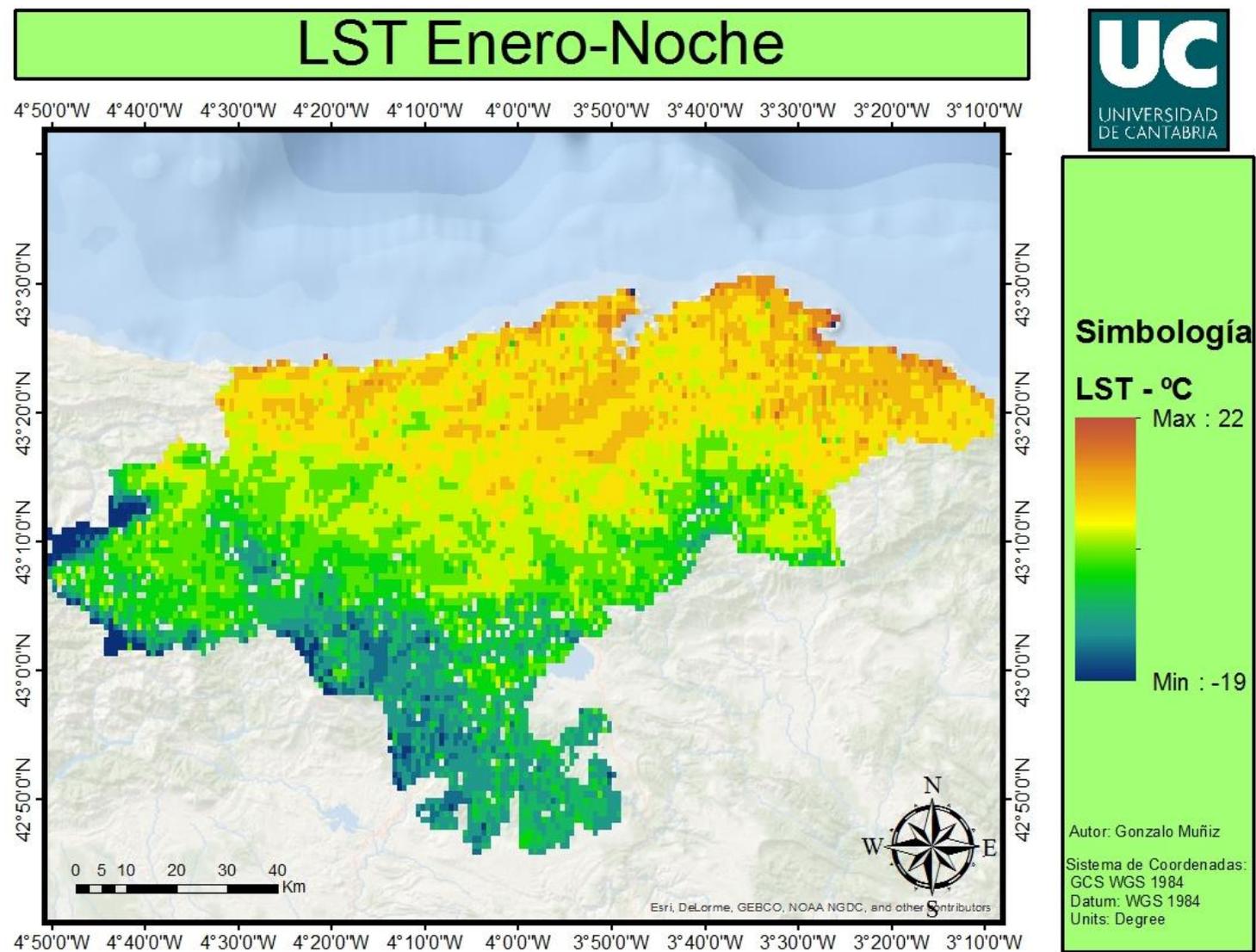


Figura 4.2: LST Enero-Noche. Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes del MODIS.

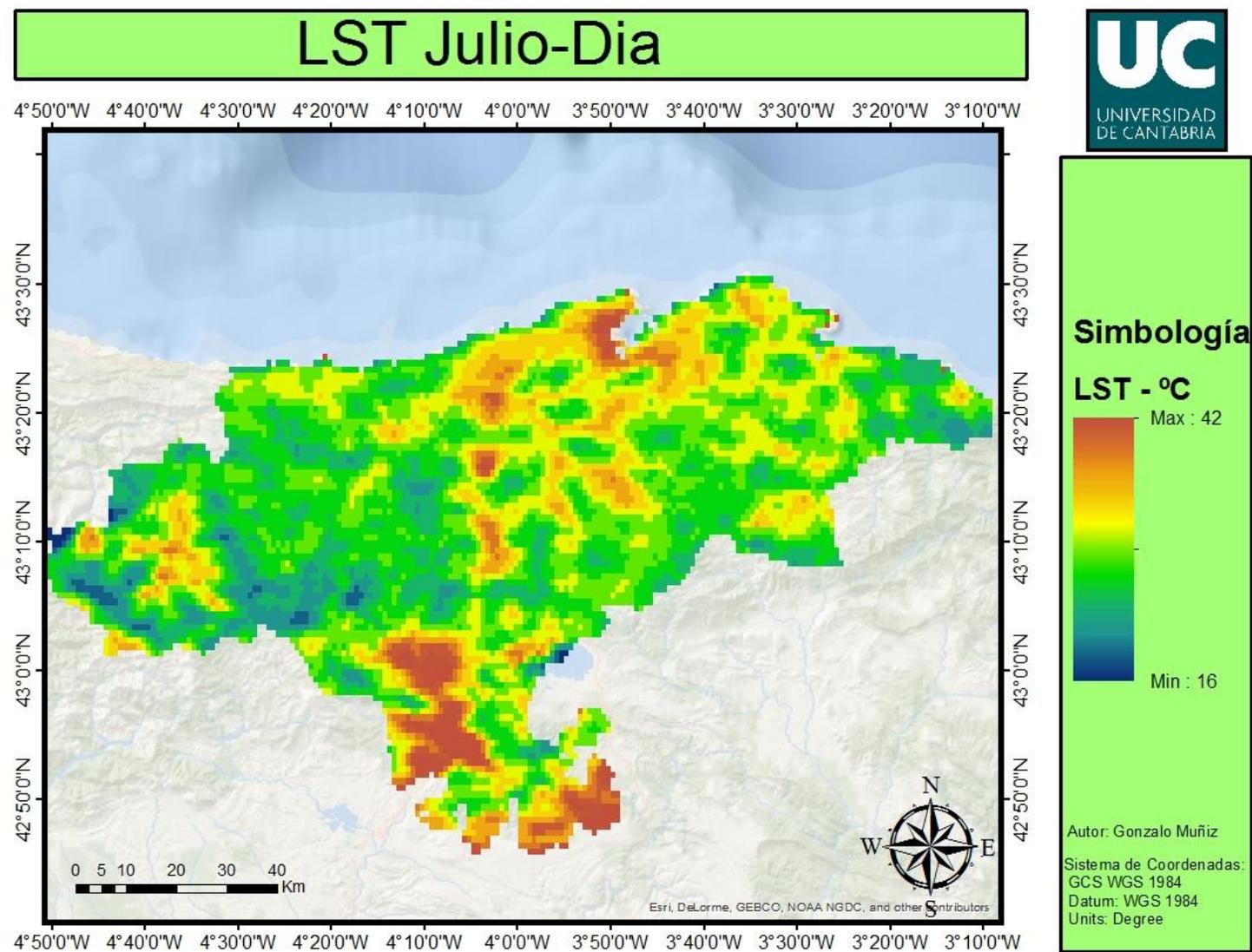


Figura 4.3: LST Julio-Día. Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes del MODIS.

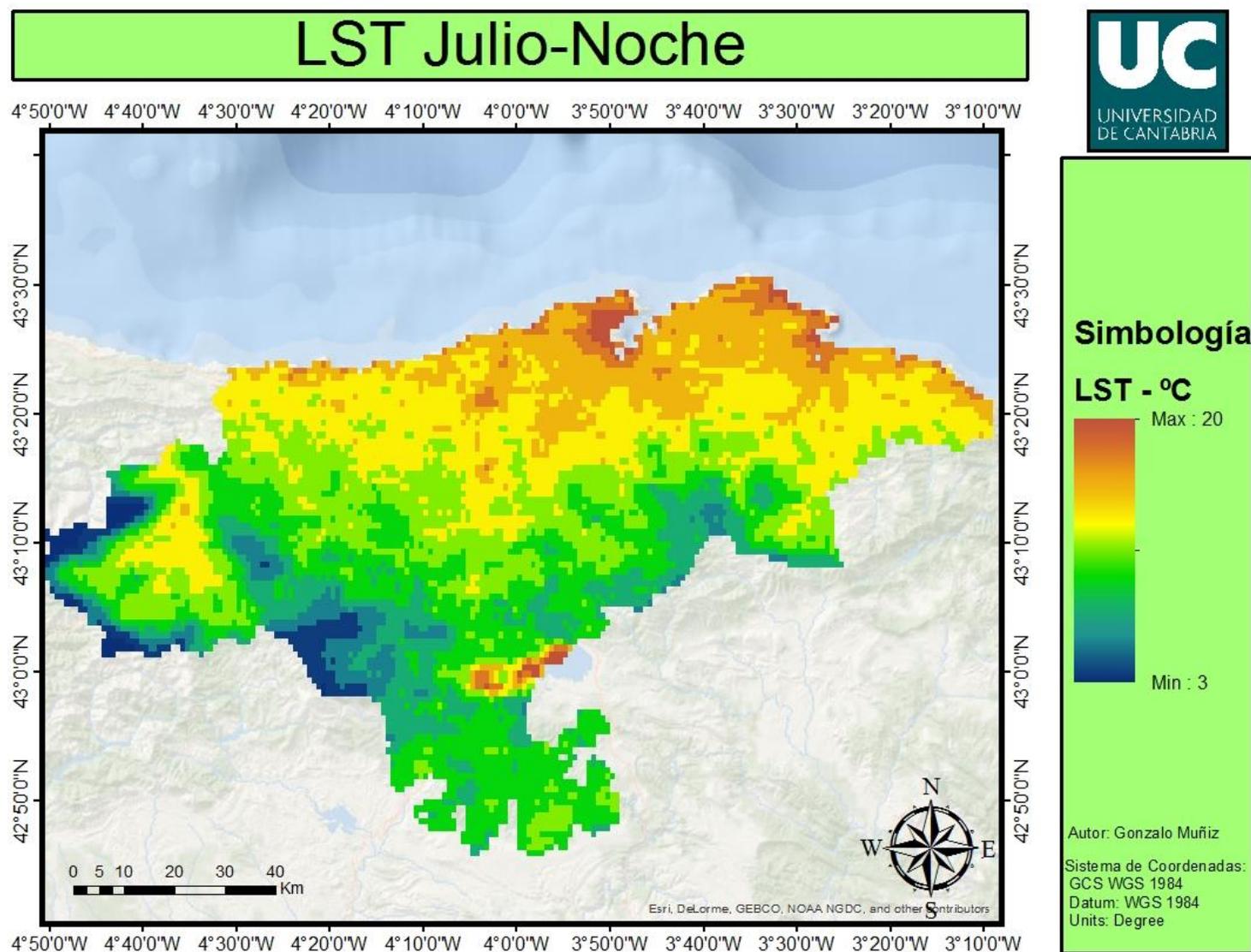


Figura 4.4: Julio-Noche. Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes del MODIS.

#### 4.2. CUANTIFICACIÓN DE LA RELACION ENTRE TS Y VARIABLES GEOGRÁFICAS

El segundo objetivo del trabajo es la cuantificación de la relación entre temperatura superficial y diversas variables geográficas. La tabla 4.1 muestra el valor del coeficiente de correlación de Pearson entre la TS con las variables geográficas definidas en el apartado 3.

		PENDIENTE	CURVATURA	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
ENERO_DIA	Correlación de Pearson	-0,34	-0,02	0,76	0,44	-0,89
	Sig. (bilateral)	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
ENERO_NOCHE	Correlación de Pearson	-0,19	0,00	0,79	0,43	-0,82
	Sig. (bilateral)	0,00	0,82	0,00	0,00	0,00
JULIO_DIA	Correlación de Pearson	-0,53	-0,04	-0,13	0,16	-0,24
	Sig. (bilateral)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
JULIO_NOCHE	Correlación de Pearson	-0,39	-0,03	0,67	0,40	-0,88
	Sig. (bilateral)	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00

Tabla 4.1: Valores del coeficiente de correlación de Pearson entre la temperatura superficial y variables geográficas.

Los resultados generales confirman las apreciaciones obtenidas a partir de la observación de los mapas de las figuras de este apartado. Se aprecia un comportamiento muy similar durante las noches, tanto en invierno como en verano, con los días invernales, mientras los días estivales muestran un comportamiento diferente. En concordancia con lo expuesto en líneas anteriores, la variable mejor correlacionada con la temperatura es la altitud, con valores altamente significativos. El valor negativo de esta relación significa que a menor altitud mayor temperatura, o viceversa. Los valores mostrados por la latitud también son muy elevados, aunque de signo positivo (a mayor latitud mayor temperatura), si bien su significado debe enmarcarse en la disposición general del relieve de Cantabria, cuyas mayores altitudes están situadas al S de la región. Al igual que la latitud, la longitud muestra una correlación positiva con la temperatura (temperaturas más cálidas en la mitad E de la región). Esta circunstancia también está ligada al relieve, ya que las mayores altitudes de la región (Picos de Europa, Peña Sagra, Peña Prieta) se sitúan precisamente, en la mitad occidental.

## ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

La pendiente, por su parte, muestra una relación negativa con la temperatura (a menor pendiente mayor temperatura), aunque con menor significación que en el caso de la altitud. Si bien es cierto que las áreas con mayores pendientes se sitúan en las zonas de montaña, obsérvese que la mejor relación se detecta en verano, por el día (precisamente cuando menor es la relación entre temperatura y altitud), mientras la peor se registra en las noches invernales, en este último caso tal vez por influencia de las acumulaciones locales de aire frío (inversiones térmicas), particularmente en la mitad S de Cantabria (Campoo, Valderredible, Valdeolea). Por último, señalar que la curvatura del terreno no muestra relación significativa con la temperatura, lo cual contradice la afirmación anterior acerca de la presencia de acumulaciones locales de aire frío. La razón de esta discrepancia podría derivar de un desajuste entre la resolución espacial de la rejilla (1 km) y la dimensión espacial de esas acumulaciones.

Algunas de estas hipótesis se manifiestan claramente mediante la comparación de los gráficos de nube de puntos, representando en eje horizontal la temperatura de cada píxel y en el eje vertical los valores correspondientes de cada magnitud geográfica en cada píxel. Tan sólo se comentarán aquellas variables y momentos del año que muestran un comportamiento singular, como son las temperaturas nocturnas en invierno y las diurnas en verano.

Esto se debe a que la zona de Valderredible y Campoo, zonas con una temperatura muy elevada ya que corresponden a una región climática distinta de la del resto de Cantabria, pues aquí no llega la influencia del mar ni tampoco su función reguladora de la temperatura.

Todas ellas tienen una relación en el mismo sentido, es decir, cuando aumenta la altura, disminuye la temperatura, por lo que se puede decir que tienen una relación negativa. Dicha relación está bastante ajustada, aunque existen algunos valores que se denominan “outliers”, que son casos en los que el valor puede ser erróneo debido a cálculos mal realizados, o simplemente por fallos en la mediación, y al no ajustarse al rango de estudio, se representan, pero no se hará una mención especial, ya que se trata de casos aislados que exigirían un estudio con mayor nivel de detalle.

Si bien la pendiente parece ser también una especie de nube, aquí sí que se puede distinguir una cierta tendencia lineal, en la que se deduce que, a mayor pendiente, menor temperatura de la superficie. Aunque no es tan característica como es la relación entre la temperatura y la altura.

## ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

La relación que se establece entre la altura y la temperatura es muy buena, se puede ver una tendencia lineal totalmente característica tanto en invierno, tanto día como noche, como en verano, aunque por el día en julio sea mucho peor. Esto se debe a que los valores de la parte sur son valores de mucha temperatura, en concreto en la zona de Valderredible, que en verano es mucho más cálida que el resto de Cantabria, pero no ocurre así en invierno.

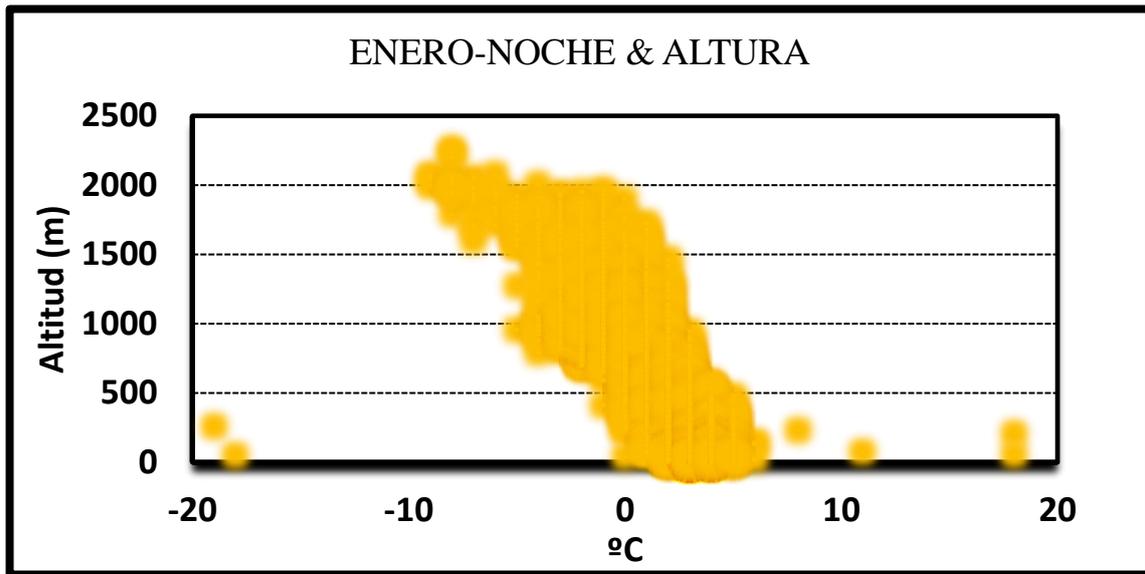


Gráfico 4.2: Enero noche y altura.

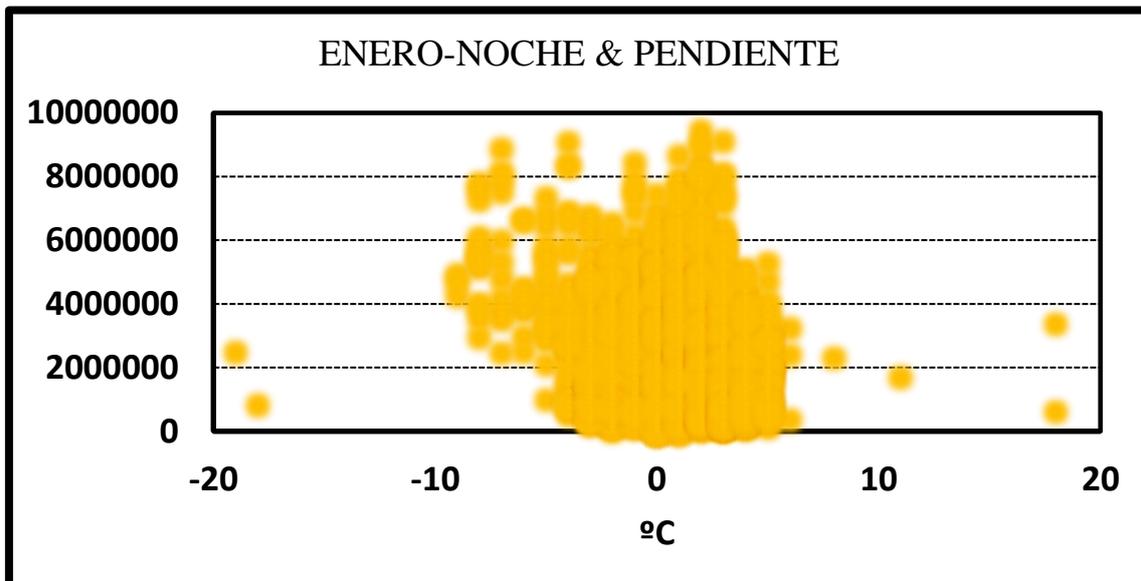


Gráfico 4.3: Enero noche y pendiente.

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

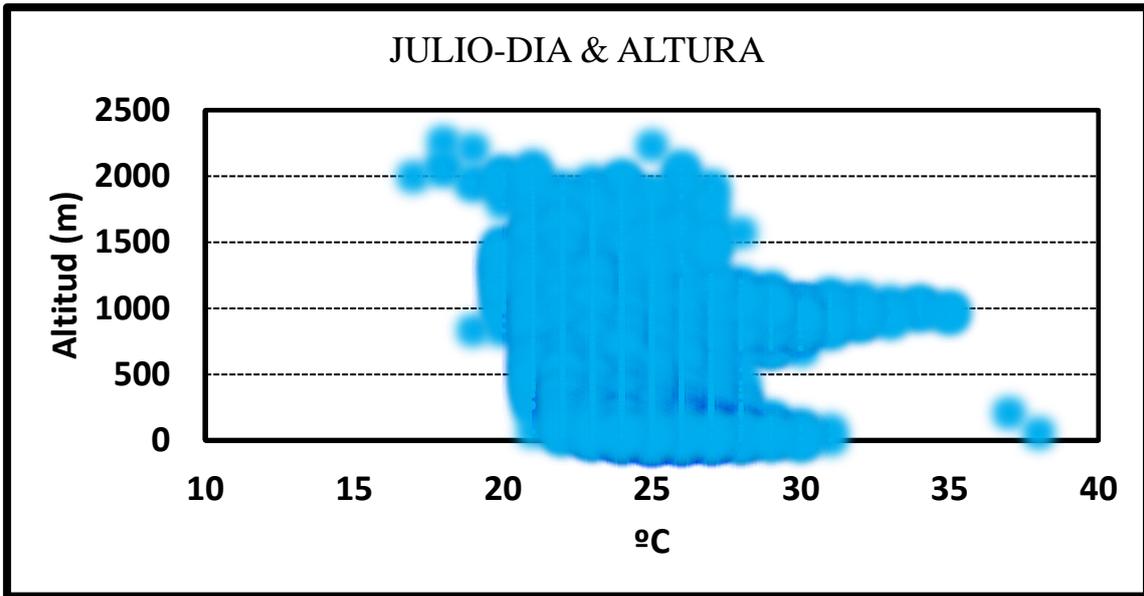


Gráfico 4.4: Julio día y altura.

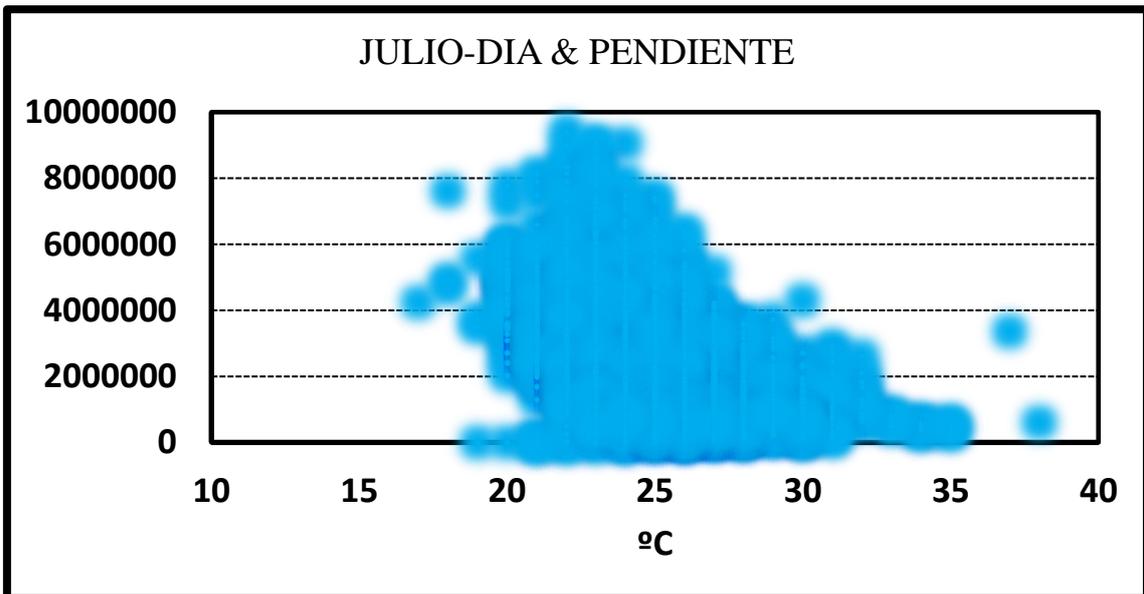


Gráfico 4.5: Julio día y pendiente.

### 4.3. RELACIÓN ENTRE TS Y USOS DEL SUELO

Los elevados valores de las variables topográficas (altitud, pendiente) en la conformación de los patrones espaciales y temporales de la temperatura de superficie oculta el impacto de los usos del suelo sobre esta última variable. Para evidenciar este último aspecto, se recurrió a un nuevo análisis de regresión lineal, en esta ocasión comparando los % de la superficie de la rejilla de 1 km<sup>2</sup> ocupado por cada uno de los usos de suelo definidos en el apartado 4, con los residuos (diferencias entre los valores pronosticados y los valores observados) obtenidos de contrastar sucesivamente la temperatura de superficie con las dos variables topográficas mejor correlacionadas (altitud + longitud en el caso de las temperaturas invernales, tanto diurnas como nocturnas, así como las temperaturas estivales nocturnas; para el caso de las temperaturas estivales diurnas la pareja fue altitud + pendiente).

Los resultados confirman, como se apuntó en líneas previas, que los valores del coeficiente de correlación de Pearson son más reducidos que en el caso de las variables geográficas, y viene a confirmar el impacto determinante de la topografía en la conformación de las temperaturas de Cantabria. Por otro lado, un factor adicional que debilita esos valores es la complejidad del paisaje y los usos del suelo en Cantabria, dado que no existen grandes áreas con usos de suelo homogéneos, sino un puzle de unidades de tamaño reducido, conformadas por aprovechamientos diferentes que la resolución de los píxeles no puede cuantificar correctamente.

A pesar de ello, sí se pueden establecer unas líneas orientativas acerca del impacto de los usos del suelo sobre las temperaturas de superficie. Por ejemplo, los medios más transformados (pastos, cultivos y superficies artificiales) muestran correlaciones positivas con las anomalías de temperatura (es decir, corresponden a suelos más cálidos de lo normal, una vez eliminado el papel de la topografía), siendo su impacto más destacado en verano, cuando la cantidad de radiación solar recibida es la más elevada del año. Por el contrario, los medios menos transformados, como las superficies de matorral y bosque, obtienen valores negativos, particularmente en invierno. Estos resultados son coherentes con estudios anteriores, si bien acerca de la temperatura del aire, que identifican el bosque como un espacio más fresco que los prados y otras superficies, ya que las hojas de los árboles interceptan gran parte de la radiación solar (Codron e Ibars, 1999). Sin embargo, no nos es posible confirmar el diferente papel de plantaciones y bosques autóctonos, señalado por el citado trabajo, dado que la base de datos de usos de suelo no permite discriminar ambas formaciones vegetales.

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

Igualmente, se puede atribuir, tanto a la resolución espacial de las imágenes como al pequeño tamaño de los núcleos de población de Cantabria, la ausencia de una correlación muy significativa entre la temperatura de la superficie y el porcentaje de superficie artificial. En el caso que nos ocupa, se detecta dicha relación tanto en invierno como en verano, y sobre todo por la noche. Esto confirmaría la existencia de “islas de calor urbano”, fundamentalmente nocturnas, ya que sólo la temperatura diurna invernal muestra también una correlación significativa con la superficie artificial.

		ENERO_DIA	ENERO_NOCHE	JULIO_DIA	JULIO_NOCHE
% Pastos	Correlación de Pearson	0,26	0,19	0,34	0,28
	Sig. (bilateral)	0,00	0,00	0,00	0,00
% Matorral	Correlación de Pearson	-0,34	-0,29	-0,25	-0,37
	Sig. (bilateral)	0,00	0,00	0,00	0,00
% Bosque	Correlación de Pearson	-0,14	-0,13	-0,09	-0,13
	Sig. (bilateral)	0,00	0,00	0,00	0,00
% Cultivos	Correlación de Pearson	0,00	-0,05	0,29	0,05
	Sig. (bilateral)	1,00	0,71	0,03	0,71
% Artificial	Correlación de Pearson	0,15	0,13	0,07	0,15
	Sig. (bilateral)	0,00	0,00	0,06	0,00

Tabla 4.2: Correlaciones de usos del suelo en los meses de julio y enero, día y noche, con la temperatura de superficie.

## 5. CONCLUSIONES

El objetivo de este TFG ha sido analizar la variabilidad espacial y temporal de la temperatura de superficie en Cantabria, y definir su relación con diferentes variables geográficas y usos del suelo, entre los años 2009 y 2012. Ello se logró combinando la información proporcionada por el sensor MODIS, instalado en el satélite Aqua, un Modelo Digital del Terreno, y la base de datos Corine Land Cover.

Los resultados confirman la estrecha dependencia de la temperatura de la superficie terrestre con respecto a la topografía regional, siendo la altitud la variable mejor correlacionada, aunque esta relación varía según la hora del día y la estación del año, a causa de la intervención de otros factores, tanto geográficos como relacionados con los usos del suelo.

En relación a los factores geográficos, la distribución espacial de las temperaturas nocturnas invernales se ve alterada por la incidencia de acumulaciones de aire frío en el fondo de los valles (inversiones térmicas), particularmente los situados en Campoo. Un efecto de enfriamiento análogo, aunque en verano, se detecta sobre la gran masa de agua del pantano del Ebro.

Este trabajo ha permitido además confirmar la influencia de los usos del territorio sobre la señal térmica de la superficie terrestre. Las superficies forestales (bosque y matorral) inducen a un enfriamiento, mientras que las superficies más transformadas, tanto naturales (pastos) como artificiales (infraestructuras, áreas urbanas) muestran una señal inversa, favorable al incremento de la temperatura de superficie. En este sentido, se ha constatado la presencia de “islas de calor urbano”, sobre todo en verano, un fenómeno cuya naturaleza y consecuencias aún no se ha estudiado en Cantabria, pese a concentrarse más de la mitad de la población entorno a la Bahía de Santander.

Cabe señalar, por último, la utilidad de la información proporcionada por el sensor MODIS para los estudios aplicados de Geografía, y en particular, de Climatología. Como ventajas citaremos su disponibilidad y gratuidad, que permite su descarga a través de INTERNET sin coste alguno, la facilidad con que su formato nativo es transformado en los formatos importados habitualmente por los Sistemas de Información más utilizados, y finalmente, tanto su resolución espacial como temporal, que permite una buena aproximación al estudio de los fenómenos territoriales y su evolución en el tiempo.

## 6. ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS, CUADROS Y GRÁFICOS

### FIGURAS:

Figura 1.1: Garita Meteorológica en el aeropuerto de Noaín (Navarra)	Página 5
Figura 2.1: Límites administrativos de Cantabria	Página 10
Figura 2.2.: Organización morfoestructural de Cantabria	Página 11
Figura 2.3.: Caracterización climática de Cantabria	Página 12
Figura 3.1: Interfaz página web descarga MODIS	Página 14
Figura 3.2: Usos del suelo en Cantabria según Corine Land Cover	Página 15
Figura 3.3: Mapa de elevaciones	Página 18
Figura 3.4: Mapa de pendientes	Página 19
Figura 3.5: Centroides sobre rejilla fishnet	Página 20
Figura 3.6: Mapa de usos del suelo	Página 22
Figura 4.1: LST Enero-Día	Página 28
Figura 4.2: LST Enero-Noche	Página 29
Figura 4.3: LST Julio-Día	Página 30
Figura 4.4: LST Julio-Noche	Página 31

### GRÁFICOS:

Gráfico 3.1: Esquema del proceso metodológico	Página 16
Gráfico 4.1: Diagrama de caja y bigotes mostrando los valores medios y la variabilidad de las temperaturas de superficie en Cantabria.	Página 26
Gráfico 4.2: Enero noche y altura	Página 34
Gráfico 4.3: Enero noche y pendiente	Página 34
Gráfico 4.4: Julio día y altura	Página 35
Gráfico 4.5: Julio día y pendiente	Página 36

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

TABLAS:

Tabla 3.1: Tabla representativa de los valores de las clases del CLC original, fusionados en 6 nuevas categorías. Página 20

Tabla 3.2: Zonal Statistics del MDT. Página 21

Tabla 3.3: Porcentaje de superficie de las clases de usos del suelo. Página 23

Tabla 4.1: Valores del coeficiente de correlación de Pearson entre la temperatura superficial y variables geográficas. Página 32

Tabla 4.2: Correlaciones de usos del suelo en los meses de julio y enero, día y noche, con la temperatura de superficie. Página 37

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Aedo, C.; Diego, C.; García Codron, J.C. (1990). *El bosque en Cantabria*. Santander: Universidad de Cantabria, 286 pp.

Ayanlade, A. (2016). Variation in diurnal and seasonal urban land surface temperature: landuse change impacts assessment over Lagos metropolitan city. *Modeling Earth Systems and Environment*, Vol. 2, nº 4, pp. 9.

Barry, R.G. y Chorley, R.J. (1999). *Atmósfera, tiempo y clima*. Barcelona: Omega, 500 pp.

Benali, A.; Carvalho, A.; Nunes, J.; Carvalhais, N. y Santos, A. (2012). Estimating air surface temperature in Portugal using modis lst data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 124, pp. 108–121.

Centro Nacional de Información Geográfica (2015). *SIANE*. Consultado en octubre de 2016 en: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/equipamiento.do?method=mostrarEquipamiento>

CGIAR-CSI (2015). *Modelo digital del terreno*. Resolución 90 m. Consultado en octubre de 2016: <http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90m-digital-elevation-database-v4-1>

Corine Land Cover (2012). *Usos del suelo*. Resolución 250 m. Consultado en octubre de 2016 en: <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

Cristóbal, J., M. Ninyerola, and X. Pons (2008), Modeling air temperature through a combination of remote sensing and GIS data, *J. Geophys. Res.*, 113, D13106, doi:10.1029/2007JD009318.

Cuadrat, J.M. y Pita, M.F. (2006). *Climatología*. Madrid: Cátedra, 504 pp.

Fernández García, F. (1996). *Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación*. Madrid: Síntesis, 285 pp.

Frochoso, M.; González, R. y Lucio A. (2002). *Espacios naturales de Cantabria*. Santander: Creática, 283 pp.

Fu, G.; Shen, Z.; Zhang, X.; Shi, P.; Zhang, Y. y Wu, J. (2011). Estimating air temperature of an alpine meadow on the northern tibetan plateau using modis land surface temperature. *Acta Ecologica Sinica*, Vol. 31, nº 1, pp. 8–13.

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

García Codron, J.C. y Pacheco Ibas, S. (1999). Clima de bosque y clima de prado en el litoral cantábrico. En: [aportaciones presentadas al I Congreso de la Asociación de Climatología], (1999). *La Climatología española en los albores del siglo XXI*. Barcelona: Publica la asociación española de climatología, 189-197 pp.

Harris, I.; Jones, P.; Osborn, T. y Lister, D. (2014). *Updated high-resolution grids of monthly climatic observations-the cru ts3. 10 dataset*. Norwich: University of East Anglia, 623–642 pp.

Holden, Z.A.; Abatzoglou, J.T.; Luce, C.H. y Baggett, L.S. (2011). Empirical downscaling of daily minimum air temperature at very fine resolutions in complex terrain. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 151, nº 8, pp. 1066–1073.

IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 1535 pp.

Jin, M. y Dickinson, R.E. (2010). Land surface skin temperature climatology: Benefitting from the strengths of satellite observations. *Environmental Research Letters*, Vol. 5, nº 4, pp. 13.

Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G. y Woollen, J. (1996). The ncep/ncar 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 77, nº 3, pp. 437–471.

Liu, D. y Pu, R. (2008). Downscaling thermal infrared radiance for subpixel land surface temperature retrieval. *Sensors*, Vol. 8, nº 4, pp. 2695–2706.

López Gómez, A.; Fernández García, F.; López Gómez, J. y Moreno Jiménez, A. (1993). *El clima urbano: teledetección de la isla de calor en Madrid*. Madrid: Centro de Publicaciones, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 157 pp.

LPDACC (2015). *Imagen de satélite en línea*. Escala 1:1000. Consultado en octubre de 2016 en:

[https://lpdaac.usgs.gov/dataset\\_discovery/modis/modis\\_products\\_table/mod11a](https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mod11a)

Magrama (2016). *Tercer Inventario Forestal*. En: Ministerio de agricultura, pesca, alimentación y medio ambiente: Inventario y Cartografía. Madrid. Consultado, en octubre 2016, en: <http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/inventario-cartografia/inventario-forestal-nacional/>

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE CANTABRIA

- Ninyerola, M.; Roure, J.M. y Pons, X. (2005). *Atlas Climático Digital de la Península Ibérica*. Bellaterra: Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, 44 pp.
- Quereda Sala, J. (2005). *Curso de Climatología General*. Castelló de la Plana: Universitat Jaume I, Servicio de publicaciones, 264 pp.
- Raso Nadal, J.M.; Martín Vide, J. y Clavero Paricio, P. (1987). *Estadística básica para ciencias sociales*. Barcelona: Ariel, 271 pp.
- Shreve, C. (2010). Working towards a community-wide understanding of satellite skin temperature observations. *Environmental Research Letters*, Vol. 5, nº 4, pp. 2.
- Stahl, K.; Moore, R.; Floyer, J.; Asplin, M. y McKendry, I. (2006). Comparison of approaches for spatial interpolation of daily air temperature in a large region with complex topography and highly variable station density. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 139, nº 3, pp. 224–236.
- Stisen, S.; Sandholt, I.; Nørgaard, A.; Fensholt, R. y Eklundh, L. (2007). Estimation of diurnal air temperature using msg seviri data in west Africa. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 11, nº 2, pp. 262–274.
- Stroppiana, D.; Antoninetti, M. y Brivio, P. A. (2014). Seasonality of modis lst over southern Italy and correlation with land cover, topography and solar radiation. *European Journal of Remote Sensing*, Vol 47, nº 1, pp.133-152.
- Prince, S.D.; Goetz, S.J.; Dubayah, R.; Czajkowski, K. y Thawley, M. (1998). Inference of surface and air temperature, atmospheric precipitable water and vapor pressure deficit using advanced very high-resolution radiometer satellite observations: Comparison with field observations. *Journal of Hydrology*, Vol. 212, nº 1-4, pp. 230–249.
- Rivas Martínez, S. (1987). *Memoria del mapa de series de vegetación de España 1:400.000*. Madrid: ICONA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 268 pp.
- Uppala, S.M.; Kållberg, P.; Simmons, A.; Andrae, U.; Bechtold, V.D.; Fiorino, M.; Gibson, J.; Haseler, J.; Hernandez, A. y Kelly, G. (2005). The era-40 re-analysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 131, nº 612, pp. 2961–3012.
- Wan, Z. (2007). *MODIS Land Surface Temperature Products User's Guide*. Santa Bárbara: ICES; University of California, 33 pp.

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES GEOGRÁFICAS EN LA TEMPERATURA DE LA  
SUPERFICIE DE CANTABRIA

Wan, Z. (2008). New refinements and validation of the modis land-surface temperature/emissivity products. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 112, nº 1, pp. 59–74.