

Efecto de los usos y las cubiertas del suelo y las políticas ambientales en el comportamiento de las temperaturas superficiales en campus universitarios: El caso de la Universitat Autònoma de Barcelona*

Rafael Vicente-Salar
Marc Castelló-Bueno
Sofia Logan de la Rosa

Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Geografia
rafael.vicente@uab.cat
marc.castello.bueno@uab.cat
soflogrosa@gmail.com

Joan-Cristian Padró Garcia

Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Geografia
Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Àrea de Geoprocés
joancristian.padro@uab.cat
joan.padro@icgc.cat



© de los autores

Recibido: abril de 2023
Aceptado: enero de 2024
Publicado: mayo de 2024

Resumen

La gestión de las temperaturas, crucial en el contexto de cambio climático, ha centrado la atención de las políticas urbanas, relegando a un segundo plano los espacios periurbanos, como los campus universitarios. A través de la teledetección y del análisis estadístico, el artículo examina los efectos de los usos del suelo y las políticas medioambientales en el comportamiento espacial de las temperaturas superficiales en el campus de la Universitat Autònoma de Barcelona entre 2014 y 2022. Se identifica una relación directa entre usos del suelo urbanizados y desnudos con anomalías térmicas superiores a la media, mientras que las zonas cubiertas de vegetación natural están relacionadas con temperaturas superficiales inferiores a la media, señalando áreas críticas no consideradas por la agenda medioambiental universitaria. Este artículo propone estrategias de mitigación con el fin de mejorar las políticas medioambientales y aumentar el confort térmico de la comunidad universitaria.

Palabras clave: espacios periurbanos; planificación territorial; LULC; TST; ICUS

* Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación en el marco del proyecto BCN_POST_PAND (PID2020-112734RB-C32). En segundo lugar, esta investigación también ha sido financiada por el Ministerio de Universidades y la Unión Europea-NextGenerationEU en el marco del contrato postdoctoral Margarita Salas (Real Decreto 289/2021).

Resum. *Efecte dels usos i les cobertes del sòl i les polítiques ambientals en el comportament de les temperatures superficials en campus universitaris: El cas de la Universitat Autònoma de Barcelona*

La gestió de les temperatures, fonamental en el context del canvi climàtic, ha estat un punt central en les polítiques urbanes, sovint relegant a un segon pla els espais periurbans com ara els campus universitaris. Mitjançant la teledetecció i l'anàlisi estadística, aquest article explora l'impacte dels usos del sòl i les polítiques ambientals en el comportament espacial de les temperatures superficials al campus de la Universitat Autònoma de Barcelona entre el 2014 i el 2022. S'hi identifica una relació directa entre els usos del sòl urbanitzats i nus amb anomalies tèrmiques superiors a la mitjana, mentre que les zones cobertes de vegetació natural estan relacionades amb temperatures superficials inferiors a la mitjana, posant de manifest àrees crítiques no considerades per l'agenda ambiental de la universitat. Aquest article proposa estratègies de mitigació per millorar les polítiques ambientals i incrementar el confort tèrmic de la comunitat universitària.

Paraules clau: espais periurbans; planificació territorial; LULC; TST; ICUS

Résumé. *Effet des usages et des couvertures du sol ainsi que des politiques environnementales sur le comportement des températures de surface sur les campus universitaires : Le cas de l'Université autonome de Barcelone*

La gestion des températures, cruciales dans le contexte du changement climatique, a été au cœur des politiques urbaines, reléguant souvent au second plan les espaces périurbains tels que les campus universitaires. À travers la télédétection et l'analyse statistique, cet article explore l'impact des usages du sol et des politiques environnementales sur le comportement spatial des températures de surface sur le campus de l'Université autonome de Barcelone entre 2014 et 2022. Une relation directe est identifiée entre les usages urbains et dénudés du sol avec les anomalies thermiques supérieures à la moyenne, tandis que les zones couvertes de végétation naturelle sont liées à des températures de surface inférieures à la moyenne, mettant en lumière des zones critiques négligées par l'agenda environnemental de l'université. Cet article propose des stratégies d'atténuation pour améliorer les politiques environnementales et accroître le confort thermique de la communauté universitaire.

Mots-clés : espaces périurbains ; aménagement du territoire ; LULC ; TST ; ICUS

Abstract. *Impact of land uses/land covers and environmental policies on the behaviour of surface temperatures on university campuses: the case of the Universitat Autònoma de Barcelona*

Temperature management, which is crucial in the context of climate change, has been a focal point of urban policies, while peri-urban spaces such as university campuses have often been overlooked. Through remote sensing and statistical analysis, this article explores the impact of land/cover use and environmental policies on the spatial behaviour of surface temperatures on the *Universitat Autònoma de Barcelona* campus between 2014 and 2022. A direct relationship between developed and bare land uses with above-average thermal anomalies was identified, while areas covered with natural vegetation are linked to lower-than-average surface temperatures, thus highlighting critical areas that have been overlooked in the university's environmental agenda. This article suggests mitigation strategies to enhance environmental policies and improve thermal comfort for the university community.

Keywords: peri-urban spaces; urban planning; LULC; LST; SUHI

Sumario

- | | |
|--|----------------------------|
| 1. Introducción | 4. Conclusiones |
| 2. Área de estudio, materiales y métodos | Referencias bibliográficas |
| 3. Resultados y discusión | |

1. Introducción

La temperatura en espacios de creciente urbanización ha aumentado debido a una mayor presencia de estructuras como edificios, carreteras y otras infraestructuras que absorben y reemiten el calor del sol más que los paisajes naturales como los bosques y las masas de agua (Bokaie et al., 2016; Fashae et al., 2020; Tan et al., 2020; Xian y Gallo, 2020). Este aumento de temperaturas incide de manera particular en zonas urbanas, pues en ellas se desarrolla el fenómeno de alteración del clima urbano conocido como *isla de calor urbana* (ICU). Una ICU se caracteriza por las diferencias de temperaturas ambiental entre las zonas urbanas y las zonas rurales. Si, en lugar de analizar temperaturas ambientales para su estudio, se emplean imágenes satelitales para la obtención de la temperatura de la superficie terrestre, el concepto varía hacia una isla de calor urbana de superficie (ICUS).

En las últimas décadas, este fenómeno se ha intensificado debido al cambio climático, aumentando la frecuencia y duración de las olas de calor e impulsando un incremento térmico en zonas urbanas (European Environment Agency, 2020). Consecuentemente, la atenuación de las temperaturas urbanas y la mitigación de los impactos de las olas de calor se han incorporado en las agendas políticas de las ciudades como medidas para aumentar el confort térmico en aquellas poblaciones urbanas sensibles al calor extremo.

Según varios estudios, los condicionantes que favorecen la creación e intensificación de las islas de calor incluyen la estructura urbana, los materiales con bajo albedo, la polución ambiental y la composición de usos y cubiertas del suelo (Addas et al., 2020; Chun y Guldman, 2018; Dwivedi y Mohan, 2018; Hidalgo y Arco, 2023; Santamouris, 2023; Taleghani et al., 2014; Ulpiani, 2021). En relación con estos últimos, varios autores destacan la naturaleza y la evolución de los usos del suelo como condicionantes clave en el comportamiento superficial de las temperaturas y señalando el papel fundamental de aquellas cubiertas relacionadas con el verde urbano y su estructura espacial para revertir las altas temperaturas a través de los efectos de la evapotranspiración o la generación de sombras (Abdulateef y Al-Alwan, 2022; Andrade y Vieira, 2012; Jiang y Tian, 2010; Tran et al., 2017).

No obstante, en los estudios sobre la caracterización espacial de las temperaturas no solo es necesario enfocarse en ciudades densas, sino también en aquellos espacios periurbanos determinados por una población flotante diaria como son los campus universitarios, los cuales han recibido una menor atención con algunas excepciones (Addas et al., 2020; Battista et al., 2020;

Ghaffarianhoseini et al., 2019; Mallen et al., 2020; Shashua-Bar et al., 2006). En esta línea, recientes estudios ponen el foco en el factor térmico, relacionado con las características geográficas, paisajísticas y morfológicas de los campus universitarios, donde convergen zonas verdes y zonas urbanizadas, dando lugar a peculiares configuraciones paisajísticas mixtas humanísticas y naturales (Cheng et al., 2020). Más en concreto, un reciente estudio llevado a cabo en los campus de la Universidad de Malaya y de la Universidad de Indonesia analiza, mediante imágenes térmicas de satélite, la evolución espacio-temporal (2013-2016) de la temperatura superficial y su relación con las cubiertas y los usos del suelo (Wibowo et al., 2020). Sin embargo, desde el punto de vista nacional, los casos empíricos son muy aislados (Aragoneses de la Rubia, 2020). Los campus universitarios son espacios singulares localizados, en algunas ocasiones, fuera de las aglomeraciones urbanas, conectados por infraestructuras de transporte y donde existe una interacción diaria por parte de una gran cantidad de población (estudiantes, cuerpo docente, cuerpo administrativo, etc.) y que actúan como pequeñas ciudades (Wong et al., 2007). Este artículo se enfoca en analizar la relación entre el comportamiento espacial de las temperaturas superficiales en los campus universitarios y su relación con los usos y las cubiertas del suelo, permitiendo estudiar la espacialidad térmica fuera de espacios urbanos densos y, particularmente, en espacios donde los usos del suelo urbanizado y verde se entremezclan. Entendemos que analizar estos espacios periurbanos con densidades oscilantes de población es de gran interés para la configuración de políticas públicas orientadas a la gestión y a la planificación territorial y a la mejora del confort térmico en el marco de la lucha contra el cambio climático.

Las principales herramientas para la medición directa de temperaturas superficiales terrestres están basadas, evidentemente, en sensores térmicos, ya sean en estaciones meteorológicas terrestres para la medición de la temperatura del aire o en sensores embarcados en aeronaves o satélites para la medición de la temperatura superficial terrestre (TST, en inglés Land Surface Temperature, LST). Habitualmente, los territorios disponen de redes de estaciones meteorológicas equipadas con termómetros (AEMET, 2022; METEOCAT, 2022), a partir de las cuales se obtienen datos espacialmente puntuales. Las ventajas de las observaciones sobre el terreno son su proximidad con la superficie terrestre y la resolución temporal de los datos (e.g. registros cada hora), pero como inconveniente destaca el hecho de ser observaciones puntuales desde el punto de vista geográfico, a menudo alejadas de la localización de interés a analizar. Por otra parte, desde los inicios de la teledetección con fines meteorológicos mediante satélites en la década de 1970 (p. e. Meteosat), se dispone de datos térmicos de la superficie terrestre medida desde el espacio (EUMETSAT, 2022). Las principales ventajas de las observaciones satelitales son el muestreo sistemático del territorio (cobertura global) y la periodicidad de las mediciones. Cabe señalar, como inconvenientes principales de la teledetección satelital meteorológica respecto a las estaciones sobre el terreno, aspectos como la necesidad de aplicar correcciones atmosféricas y la presencia de nubes que pueden entorpecer las mediciones. A pesar de sus inconvenientes, las técnicas de teledetección

satelital con sensores térmicos han sido cruciales en el estudio y la monitorización de las temperaturas desde la perspectiva aplicada de grandes agencias (NASA, 2022). Dada la disponibilidad de datos térmicos de las misiones de satélites MODIS (ya finalizada) y Landsat (en activo desde la década de 1970), sus imágenes han sido la base material y metodológica de muchos estudios sobre el comportamiento espacial de las temperaturas a nivel científico (Del Pozo et al., 2020; Maharjan et al., 2021; Soto-Soto et al., 2020), con especial utilidad en lugares con poca densidad de estaciones meteorológicas terrestres (Aragón et al., 2020; Sucapuca Mamani et al., 2022). Particularmente interesantes por sus características son las imágenes térmicas de la serie de satélites Landsat (USGS, 2023a), que se obtienen cada 16 días debido a la órbita que sigue el satélite y tienen una resolución espacial de 100 m, mejorables a 30 m con técnicas como el *pan-sharpening* a partir de bandas de menor resolución (Sobrinó y Jiménez-Muñoz, 2005). Con ellas se puede obtener un muestreo sistemático de la TST continuado en el tiempo y a una escala suficientemente detallada para analizar las temperaturas superficiales, tal como se ha realizado en numerosos estudios previos a lo largo del mundo (Hidalgo-García y Arco-Díaz, 2022; Sheng et al., 2017; Yi et al., 2022). La teledetección proporciona observaciones globales, oportunas y objetivas para monitorear los cambios de cubiertas y usos del suelo a lo largo del tiempo, así como su relación con la temperatura superficial. Los mapas térmicos de los satélites se pueden utilizar para monitorear la TST, mientras que los datos ópticos recopilados por los satélites pueden informar dónde y cuándo el uso y la cobertura del suelo han cambiado con el tiempo y pueden usarse para aproximar las temperaturas del aire. Una vez que se han mapeado las cubiertas del suelo y las temperaturas superficiales, la incorporación de datos socioeconómicos relacionados con la población, la demografía y la información de salud en los índices de vulnerabilidad al calor puede ayudar a guiar las intervenciones para gestionar los riesgos para la salud pública relacionados con el calor, así como el confort de los usuarios del campus universitario en este caso concreto.

El presente artículo se centra en la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), en el municipio de Cerdanyola del Vallès, en Cataluña (España). La UAB ocupa un total de 260 hectáreas y acoge diariamente a más de 50.000 personas. El objetivo de este artículo es doble. Primero, caracterizar geográficamente las temperaturas superficiales de la UAB y analizar en qué grado los usos y las cubiertas del suelo condicionan su estructura espacial entre el 2014 y el 2022. Segundo, evaluar en qué medida las políticas medioambientales y de sostenibilidad desarrolladas por la UAB han sido herramientas eficientes en la adecuación del campus contra el cambio climático y han ayudado a mitigar posibles anomalías asociadas a altas temperaturas. Las preguntas de investigación son las siguientes: 1. ¿Qué usos y cubiertas del suelo configuran anomalías térmicas superficiales asociadas a altas temperaturas dentro del campus? y 2. ¿Qué papel han tenido las políticas medioambientales implementadas por la UAB en la gestión de las temperaturas superficiales? La primera hipótesis señala que la homogeneización de usos del suelo, especialmente en lo que

respecta a la urbanización, puede provocar temperaturas superficiales por encima de la media, mientras que una mayor mixtidad de usos comporta la regulación de estas. La segunda hipótesis indica que las políticas medioambientales de la universidad no han sido suficientemente integradoras como para hacer frente a posibles anomalías térmicas de temperaturas altas. Es por ello que la contribución de este artículo es relevante para la configuración e implantación de políticas públicas no solo en campus universitarios, sino también, desde una escala más pequeña, en espacios periurbanos donde la interrelación de usos y cubiertas del suelo es compleja.

El artículo se estructura de la siguiente manera: en el segundo apartado se explica el área de estudio y la metodología. En el tercer apartado se exponen los resultados y su discusión y, posteriormente, se exponen las conclusiones.

2. Área de estudio, materiales y métodos

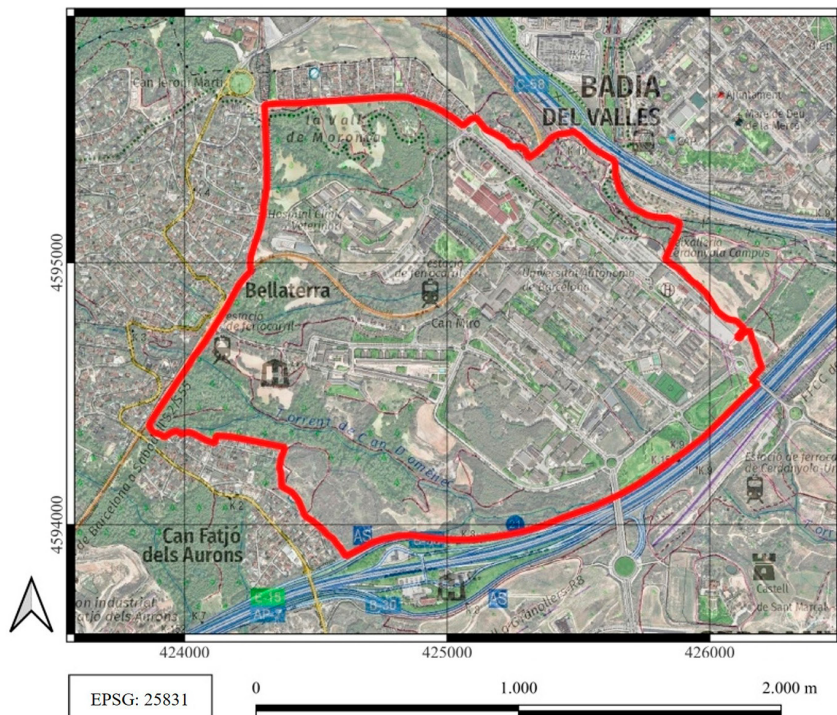
2.1. Área de estudio y políticas medioambientales

La UAB se localiza al noreste de Barcelona ($41^{\circ}30'6,9''N$ $2^{\circ}6'15,5''E$), concretamente, en el municipio de Cerdanyola del Vallès, en el Área Metropolitana de Barcelona (figura 1). Fundada en 1969, el emplazamiento de la UAB es estratégico, puesto que se localiza entre tres núcleos urbanos importantes: Barcelona, Sant Cugat del Vallès y Sabadell. Por otro lado, la universidad está conectada por una serie de infraestructuras de transporte —autovías y ferrocarril— que permite una correcta accesibilidad no solo desde el área y la región metropolitana, sino también desde otros centros urbanos fuera de estos ámbitos territoriales. En relación con el verde urbano, la UAB cuenta con 180 ha conformadas por diferentes tipologías que muestran un sistema diverso compuesto por bosques, zonas de cultivo, prados, matorrales, ambientes de ribera y zonas ajardinadas (Universitat Autònoma de Barcelona, 2023b).

En cuanto a la política medioambiental, la UAB no dispone de un plan específico referente a la lucha contra el cambio climático y, particularmente, contra la generación de altas temperaturas en superficie o ambientales. Sin embargo, la universidad ha elaborado una serie de planes y reglamentos desde el 2001 hasta el 2022 cuyos objetivos han sido adecuar el campus universitario a los parámetros óptimos de sostenibilidad (tabla 1). Estos parámetros están recogidos en documentos enmarcados por acuerdos internacionales tales como la Conferencia de Río de Janeiro en 1992 (Agenda Local 21) o la Agenda 2030 de las Naciones Unidas (objetivos de desarrollo sostenible).

Los planes desarrollados por la UAB suelen estructurarse en varias líneas de actuación. Sin embargo, para el presente artículo se han recogido propuestas referentes a tres ejes que pueden condicionar indirectamente la mitigación de temperaturas altas en superficie (Universitat Autònoma de Barcelona, 2023a). El primer eje se centra en la gestión del territorio y los espacios agroforestales, cuyo objetivo es la preservación de espacios forestales, agrarios y ajardinados a fin de preservar la biodiversidad e intensificar la conectividad entre las zonas

Figura 1. Localización de la Universitat Autònoma de Barcelona



Fuente: elaboración propia a partir de datos del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

urbanas y naturales. El segundo eje, la eficiencia energética, se enfoca en reducir el gasto energético a través de la instalación de placas fotovoltaicas o la sustitución de sistemas de climatización preexistentes por otros más eficientes. Finalmente, el tercer eje se enfoca en la movilidad incentivando el transporte público y activo, así como su integración en la planificación urbana y territorial.

2.2. Materiales

2.2.1. Datos térmicos satelitales

Los datos de temperatura de la superficie terrestre se han obtenido de las imágenes del satélite Landsat-8 Collection 2 Nivel 1 (USGS, 2023a), en concreto las bandas captadas por su sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS). Las imágenes Landsat-8 distribuidas mediante la Collection 2 Nivel 1 están corregidas geométrica y radiométricamente (USGS, 2023b). El ortorrectificado se elabora utilizando puntos de control en el terreno (GCP) y datos del modelo de digital de elevaciones (MDE) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Los GCP utilizados se derivan del conjunto de datos de Global Land Survey 2000 (GLS2000).

Tabla 1. Políticas medioambientales de la UAB, 2001-2022

| Reglamento / Plan | Año | Territorio y espacios agroforestales | Eficiencia energética | Movilidad |
|---|-----------|--|---|---|
| Pla de gestió dels espais agroforestals del Campus de la UAB (PGAF) | 2001 | Conservación y mejora del patrimonio natural e histórico-cultural como de la educación y de la gestión del uso público. | – | – |
| Pla d'Acció | 2002-2010 | Implementar el PGAF. Elaborar proyectos para potenciar usos de ocio, paisajísticos y de hábitat en espacios intersticiales. | Sustituir sistemas de climatización por sistemas más eficientes. Aumentar la eficiencia de la red eléctrica. Instalación de placas solares fotovoltaicas. Eficiencia energética aplicable a vehículos de la UAB. | Mejorar la frecuencia del transporte público. Renovar la flota de autobuses internos. |
| Pla de sostenibilitat de la UAB | 2013-2017 | Preservar los espacios agroforestales y su conectividad en la planificación urbanística y territorial. Mantener los campos de cultivo, los espacios agroforestales y otras zonas abiertas para conservar el mosaico agroforestal del campus. Realizar actuaciones de conservación y de mejora paisajística. | Mejorar la eficiencia energética de las instalaciones de climatización. Potenciar el uso de energías renovables. | Integrar la gestión de la movilidad dentro de la planificación urbanística y territorial. Potenciar el transporte público colectivo y un uso racional del transporte privado. Mejorar la accesibilidad al campus a través del uso de medios no motorizados. |
| Pla Campus Saludable i Sostenible | 2018-2022 | Favorecer la estructura compacta. Integrar la movilidad y la gestión ambiental dentro de la planificación urbanística y territorial. Realizar una gestión activa y sostenible del mosaico agroforestal. Gestionar las zonas ajardinadas con criterios de sostenibilidad y salud. Gestionar la biodiversidad. | Fomentar la eficiencia energética de las instalaciones y el ahorro energético de los equipamientos. Potenciar el uso de recursos locales y renovables. | Potenciar el transporte público colectivo. Racionalizar el uso del transporte privado. Potenciar los desplazamientos con medios de transporte activos. |

Fuente: elaboración propia a través de la UAB (Universitat Autònoma de Barcelona, 2023a).

La calibración radiométrica en los datos de la Colección 2 consiste en un ajuste lineal (los parámetros de ganancia y sesgo se encuentran en el fichero MTL que acompaña a cada imagen). Adicionalmente, la calibración radiométrica de detector a detector de ambas bandas TIRS del Landsat 8 corrige posibles franjas longitudinales. Los datos de la Collection 2 nivel 1 son valores equivalentes a

Tabla 2. Fechas de obtención (captura) de las imágenes satelitales utilizadas (fase diurna)

| Año | Fecha imagen invierno | Fecha imagen primavera | Fecha imagen verano | Fecha imagen otoño |
|------|-----------------------|------------------------|---------------------|--------------------|
| 2014 | 2014/03/09 | 2014/05/05 | 2014/07/31 | 2014/10/19 |
| 2015 | 2015/03/12 | 2015/05/08 | 2015/08/03 | 2015/10/31 |
| 2016 | 2016/03/30 | 2016/06/02 | 2016/07/29 | 2016/11/02 |
| 2017 | 2017/03/17 | 2017/05/20 | 2017/08/17 | 2017/10/27 |
| 2018 | 2018/02/25 | 2018/04/21 | 2018/07/26 | 2018/09/28 |
| 2019 | 2019/03/23 | 2019/05/10 | 2019/07/22 | 2019/10/26 |
| 2020 | 2020/02/22 | 2020/05/21 | 2020/08/09 | 2020/10/28 |
| 2021 | 2021/03/21 | 2021/05/08 | 2021/07/27 | 2021/10/31 |
| 2022 | 2022/02/20 | 2022/05/11 | 2022/08/06 | 2022/10/02 |

Fuente: elaboración propia (fechas en formato AAAA/MM/DD).

radiancias en la parte superior de la atmósfera (comúnmente conocidas por su acrónimo inglés TOA). Los productos de nivel 1 son de calidad adecuada para el análisis de series temporales a nivel de píxeles (USGS, 2023c).

La hora de paso del satélite Landsat-8 sobre la zona de interés (UAB) es a las 10:30 UTC, es decir en fase diurna. Dada la localización geográfica de la UAB, se han utilizado imágenes de la tesela 197031 y de la 198031. En concreto, se han utilizado cuatro imágenes por año entre 2014 y 2022, una para cada estación, con el fin de obtener una imagen térmica sintética representativa de la mediana anual. Por lo tanto, se han utilizado 36 imágenes (tabla 2).

El criterio principal en la selección de imágenes ha sido el de la baja presencia de nubes que pudieran impedir la correcta medición de la temperatura en superficie. En segundo lugar, de entre las imágenes con menos nubosidad, se ha intentado seleccionar para cada estación de cada año aquellas más similares en cuanto al día del año, para así minimizar posibles variaciones meteorológicas o debidas al propio ciclo climático (téngase en cuenta que la resolución temporal del satélite Landsat-8 es de 16 días).

2.2.2. Datos de cubiertas del suelo

Con el objetivo de obtener datos precisos sobre las temperaturas en superficie, se ha realizado una actualización de los usos del suelo del campus. A través de la fotointerpretación de las ortofotos de los años 2014 y 2022 y teniendo como marco de referencia el mapa de hábitats del suelo de la UAB realizado por la Oficina de Medi Ambient en el 2015 (Universitat Autònoma de Barcelona, 2023c), se han diferenciado seis categorías (tabla 3 y figura 2). Los usos relacionados con los bosques son los únicos que han aumentado su peso relativo, alcanzando el 44,58% del total de la superficie del campus, mientras que la superficie del suelo urbanizado y el suelo desnudo se ha reducido, representando conjuntamente el 41,41% en el año 2022. Por último, destacar que los cultivos, la vegetación a media altura y los jardines han experimentado un descenso en la ocupación del suelo del 22,47% al 14,01%.

Tabla 3. Categorización, descripción y valores absolutos y relativos de ocupación actualizada de los usos del suelo de la UAB, 2014-2022

| Categorías | Descripción | Ocupación del suelo (m ²) | | Porcentaje de ocupación del suelo | |
|----------------------------|---|---------------------------------------|-----------|-----------------------------------|--------|
| | | 2014 | 2022 | 2014 | 2022 |
| Bosques | Especies vegetales con una altura superior a un metro y medio. | 794.193 | 1.170.287 | 30,75% | 44,58% |
| Suelo urbanizado | Espacios construidos. | 850.401 | 819.157 | 32,92% | 31,20% |
| Suelo desnudo | Espacios urbanos sin construcción de edificios ni vegetación. | 357.924 | 268.068 | 13,86% | 10,21% |
| Cultivos | Espacios donde existen cultivos de diferentes especies. | 850.401 | 819.157 | 8,12% | 5,74% |
| Vegetación de media altura | Especies vegetales que tengan una altura inferior a un metro y medio. | 233.774 | 162.063 | 9,05% | 6,17% |
| Jardines | Espacios verdes ajardinados. | 137.019 | 55.105 | 5,30% | 2,10% |

Fuente: elaboración propia.

2.3. Métodos

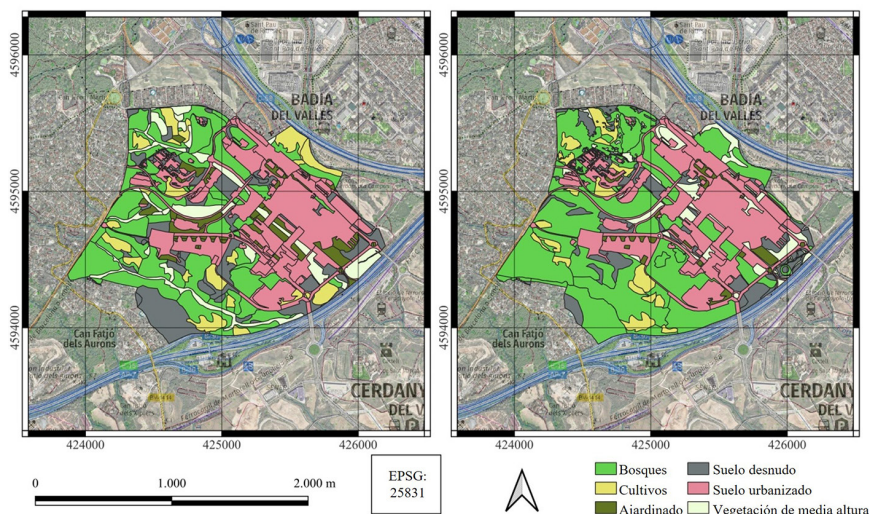
Las imágenes de Landsat-8 se han descargado de la web oficial EarthExplorer (USGS, 2023d), donde la entidad gestora de los datos, el United States Geological Survey (USGS), distribuye las imágenes. Estas se han procesado mediante un programa de sistemas de información geográfica (SIG), para obtener los valores de la temperatura superficial terrestre (TST). El método utilizado ha sido el propuesto por el propio USGS (Avdan y Jovanovska, 2016) y que los autores consideramos fiable, así como lo han hecho estudios previos (Hidalgo y Arco, 2021). El algoritmo está verificado mediante su comparación con la temperatura de la superficie terrestre y la temperatura cercana al aire (los resultados mostraron que, para el primer caso, la desviación estándar fue de 2,4 °C, y para el segundo caso, de 2,7 °C). Partiendo de las imágenes de la colección 2 nivel 1, el algoritmo consiste fundamentalmente en los siguientes seis pasos:

1. Conversión de los valores de la imagen en niveles digitales a radiancias espectrales. Este proceso se realiza aplicando una ecuación lineal a partir de los parámetros de escalado (ganancia o factor multiplicativo) y adición (sesgo o valor aditivo) que acompañan a la imagen en sus metadatos.

$$L\lambda \times (M \times DN) + A \quad [1]$$

Donde $L\lambda$ es la radiancia espectral ($\text{wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$), M es el valor del número digital multiplicativo en la temperatura bandas, DN es un número digital de la banda térmica de Landsat y A es el valor aditivo de la radiancia espectral en la banda térmica.

Figura 2. Mapa de usos del suelo realizado por la UAB en 2014 (izquierda) y por los autores en 2022 (derecha)



Fuente: Oficina de Medi Ambient y elaboración propia.

2. Conversión de las radiancias espectrales a temperatura de brillo (BT) en grados Celsius. Este proceso se realiza aplicando unos parámetros de los metadatos que acompañan a la imagen, y sumando la constante del cero absoluto ($-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$).

$$BT = (K2/\ln[(K1/L\lambda) + 1]) - 273,15 \quad [2]$$

Donde BT es la temperatura de brillo en el sensor del satélite (Kelvin), $K1$ es la constante de calibración 1 para Landsat (774,86), $K2$ es la constante de calibración 2 para Landsat (1321,08) y $L\lambda$ es la radiancia espectral de la banda obtenida en el paso anterior.

3. Cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (del inglés Normalized Difference Vegetatio Index [NDVI]) con las bandas del rojo y el infrarrojo cercano (bandas 4 y 5 respectivamente), para posteriormente calcular la proporción de vegetación en cada píxel.

$$NDVI = (IRc - R) / (IRc + R) \quad [3]$$

Donde $NDVI$ es el índice de vegetación de diferencia normalizada (adimensional, toma valores de -1 a 1), IRc es la banda de la región espectral del infrarrojo cercano (banda 5 en el sensor OLI de Landsat-8) y R es la banda de la región espectral del rojo cercano (banda 4 en el sensor OLI de Landsat-8).

4. Cálculo de la proporción de vegetación (P_v) en cada píxel, que se obtiene en función de la proporción entre el valor de $NDVI$ en dicho píxel y el rango de mínimo y máximo en toda la imagen.

$$PV = ((NDVI - NDVI_{mín}) / (NDVI_{máx} - NDVI_{mín}))^2 \quad [4]$$

Donde PV es la proporción de vegetación en un píxel, $NDVI$ es el índice de vegetación de diferencia normalizada en un píxel dado, $NDVI_{mín}$ es el valor mínimo de $NDVI$ en toda la imagen y $NDVI_{máx}$ es el valor máximo de $NDVI$ en toda la imagen.

5. Cálculo de la emisividad (ε) en función de la P_v y los parámetros correctores que acompañan a la imagen en sus metadatos.

$$\varepsilon = 0,004 * PV + 0,986 \quad [5]$$

Donde ε es el valor de emisividad de la superficie terrestre en un píxel, PV es la proporción de vegetación, y los valores 0,004 y 0,986 son constantes de la fórmula propuesta por el USGS (Avdan y Jovanovska, 2016).

6. Cálculo de la temperatura superficial terrestre (TST) a partir de la BT y la ε .

$$TST = (BT / (1 + (0,00115 * BT / 1,4388) * Ln(\varepsilon))) \quad [6]$$

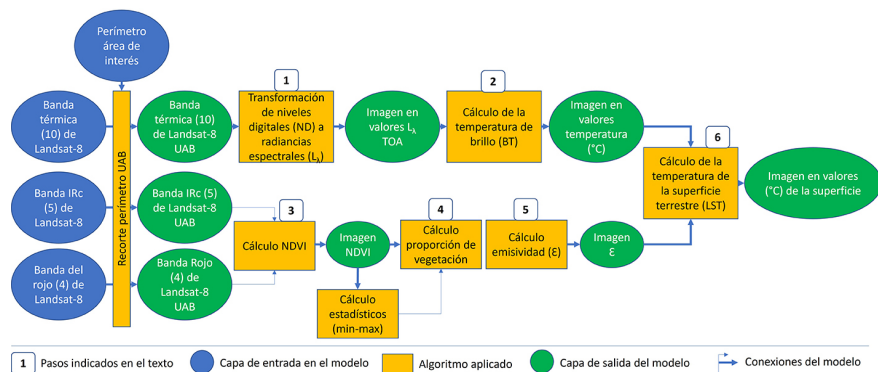
Donde TST es el valor de temperatura superficial terrestre en un píxel, BT es la temperatura de brillo calculada en [2], ε es el valor de emisividad de la superficie terrestre en un píxel calculado en el [5], y los valores 0,00115 y 1,4388 son constantes de la fórmula propuesta por el USGS (Avdan y Jovanovska, 2016).

El proceso ha sido implementado en un modelo reproducible en un programa SIG para automatizar la obtención de TST en todas las imágenes (figura 3), aplicándose a cada imagen para posteriormente calcular la mediana anual utilizando las cuatro imágenes correspondientes a cada año natural. De esta manera se ha obtenido una imagen sintética representativa de la temperatura anual del ámbito de estudio y, consecuentemente, la serie temporal por el rango de años analizados (2014-2021). Una vez elaborados los diferentes mapas para cada año, se procedió a calcular la mediana de toda la serie (figura 4). El uso de la mediana como estadístico de centralidad para la creación de una imagen sintética anual responde a los siguientes motivos:

1. La creación de una imagen sintética anual resultante de la mediana entre varias imágenes estacionales es un método habitual en teledetección, utilizado con la finalidad de obtener un único dato representativo y comparable interanualmente, y así generar series temporales (Díaz-Delgado y Pons, 2001).

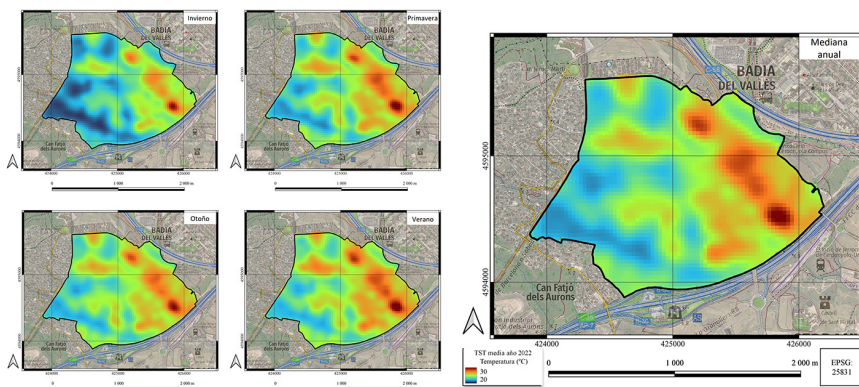
2. El uso de la mediana en lugar de la media es un estadístico menos sensible a los valores extremos (*outliers*).
3. Al tratarse de fechas ligeramente diferentes en cada año en función de la disponibilidad de imágenes satelitales sin nubes, además de las diferencias fenológicas que se dan entre un año y otro, no se podrían comparar estacionalmente; la generación de una imagen sintética anual intenta absorber este hecho.
4. En el caso del campus universitario la actividad en los meses de verano es prácticamente nula, así que creemos más acertado hacer un estudio anual en lugar de un estudio segmentado entre meses de invierno y meses de verano.

Figura 3. Proceso de obtención de temperatura de la superficie terrestre (TST) a partir de una imagen de satélite Lansat-8 (Collection 2 Nivel 1). El proceso está basado en Avdan y Jovanovska (2016)



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Ejemplo de cálculo de la TST en cuatro imágenes de cada una de las estaciones de un año, y mediana anual obtenida para el ámbito de estudio



Fuente: elaboración propia.

Para clasificar estas temperaturas se ha utilizado el método de clasificación de rupturas naturales de Jenks (1967). Este método permite crear grupos a partir de agrupar valores similares y maximizando la varianza estadística dentro de cada categoría y entre las diferentes categorías. Como resultado, se han obtenido las siguientes clases de temperaturas: temperatura baja (de 21,06 °C a 22,50 °C), temperatura baja-media (de 22,51 °C a 23,69 °C), temperatura media (de 23,70 °C a 24,80 °C), temperatura media-alta (de 24,81 °C a 26,15 °C) y temperatura alta (de 26,16 °C a 29,43 °C). La media de las temperaturas se sitúa en 23,9 °C, mientras que la desviación estándar es de 1,53 °C. Una vez elaborado el mapa de usos del suelo y las categorías de temperatura, se han combinado las dos capas para obtener las temperaturas de cada uso del suelo a través del software ArcMap (ESRI©) y, particularmente, la herramienta Identity.

2.4. Validación de la TST

Si bien la validación de las imágenes sintéticas anuales no es posible dada su composición de varias fechas, sí que se han validado las TST obtenidas en cada una de las fechas individuales. Esta validación se ha llevado a cabo comparando los datos del sensor de temperatura ambiental del Servicio Meteorológico de Catalunya (METEOCAT, 2024) más cercano a la UAB, ubicado en el Parc Agrari de Sabadell (situado a unos 8 km), con la temperatura media de la imagen en esa fecha. Se ha utilizado el valor de temperatura ambiental (°C) medida a la hora UTC a la hora más cercana al paso del satélite, las 10:30 UTC. La métrica utilizada para evaluar el posible error es el RMSE y también se ha calculado el coeficiente de determinación (R^2) para cuantificar el ajuste entre ambas fuentes de datos. Cabe señalar que la estación meteorológica se encuentra en un espacio periurbano ruralizado.

3. Resultados y discusión

3.1. Resultados de la validación de la TST

Antes de presentar los datos generales del estudio, mostramos los resultados de la validación de las TST. La tabla 4 muestra las diferencias entre las temperaturas ambientales medidas en la estación meteorológica del Parc Agrari de Sabadell y la media de TST de cada imagen satelital en el ámbito de la UAB, utilizadas para el cálculo del RMSE. La figura 5 muestra el gráfico de dispersión que pone en correlación la temperatura ambiental y la TST.

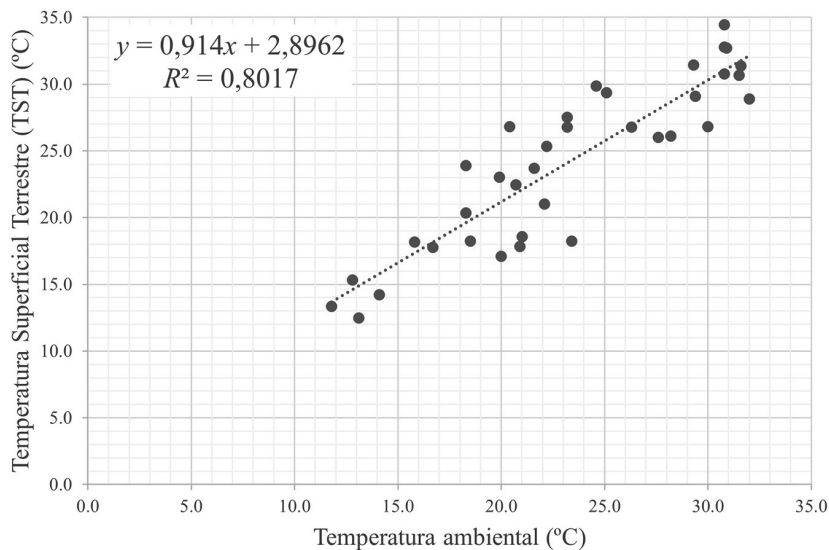
Los resultados arrojan un $RMSE \leq 2,9$ °C, similar al obtenido en estudios previos (Hidalgo y Arco, 2021). En el coeficiente de determinación se obtiene un $R^2 = 0,8017$, lo cual indica una buena correlación entre las temperaturas ambientales y las obtenidas en las imágenes de satélite. No obstante, el parámetro de intercepto de la recta de regresión arroja un valor aditivo de 2,9, en consonancia con el RMSE, lo cual indica que las tem-

Tabla 4. Diferencias entre las temperaturas ambientales medidas a las 10:30 UTC en la estación meteorológica del Parc Agrari de Sabadell, y las temperaturas (TST) medias de cada imagen satelital utilizada para el estudio

| Fecha | Temperatura ambiental | Temperatura (TST) media imagen | Diferencia | Diferencia ² |
|------------|-----------------------|--------------------------------|------------|-------------------------|
| 09/03/2014 | 15,8 | 18,2 | -2,4 | 5,6 |
| 05/05/2014 | 20,4 | 26,8 | -6,4 | 41,2 |
| 31/07/2014 | 29,3 | 31,4 | -2,1 | 4,5 |
| 19/10/2014 | 23,4 | 18,3 | 5,2 | 26,5 |
| 12/03/2015 | 16,7 | 17,8 | -1,1 | 1,1 |
| 08/05/2015 | 24,6 | 29,9 | -5,3 | 27,6 |
| 03/08/2015 | 30,9 | 32,7 | -1,8 | 3,2 |
| 31/10/2015 | 18,3 | 23,9 | -5,6 | 31,2 |
| 30/03/2016 | 19,9 | 23,0 | -3,1 | 9,7 |
| 02/06/2016 | 23,2 | 27,5 | -4,3 | 18,5 |
| 29/07/2016 | 30,8 | 30,8 | 0,0 | 0,0 |
| 02/11/2016 | 18,5 | 18,3 | 0,3 | 0,1 |
| 17/03/2017 | 18,3 | 20,4 | -2,1 | 4,2 |
| 20/05/2017 | 30,0 | 26,8 | 3,2 | 10,2 |
| 17/08/2017 | 30,8 | 32,8 | -2,0 | 3,9 |
| 27/10/2017 | 22,1 | 21,0 | 1,1 | 1,2 |
| 25/02/2018 | 13,1 | 12,5 | 0,6 | 0,4 |
| 21/04/2018 | 22,2 | 25,4 | -3,2 | 9,9 |
| 26/07/2018 | 30,8 | 34,5 | -3,7 | 13,3 |
| 28/09/2018 | 26,3 | 26,8 | -0,5 | 0,2 |
| 23/03/2019 | 20,7 | 22,5 | -1,8 | 3,1 |
| 10/05/2019 | 21,6 | 23,7 | -2,1 | 4,4 |
| 22/07/2019 | 32,0 | 28,9 | 3,1 | 9,6 |
| 26/10/2019 | 21,0 | 18,6 | 2,4 | 5,9 |
| 22/02/2020 | 14,1 | 14,2 | -0,1 | 0,0 |
| 21/05/2020 | 28,2 | 26,1 | 2,1 | 4,4 |
| 09/08/2020 | 31,5 | 30,7 | 0,8 | 0,7 |
| 28/10/2020 | 20,0 | 17,1 | 2,9 | 8,4 |
| 21/03/2021 | 12,8 | 15,3 | -2,5 | 6,4 |
| 08/05/2021 | 23,2 | 26,8 | -3,6 | 12,7 |
| 27/07/2021 | 29,4 | 29,1 | 0,3 | 0,1 |
| 31/10/2021 | 20,9 | 17,8 | 3,1 | 9,5 |
| 20/02/2022 | 11,8 | 13,3 | -1,5 | 2,4 |
| 11/05/2022 | 25,1 | 29,4 | -4,3 | 18,2 |
| 06/08/2022 | 31,6 | 31,4 | 0,2 | 0,1 |
| 02/10/2022 | 27,6 | 26,0 | 1,6 | 2,5 |
| Media | | | -0,9 | 8,4 |
| RMSE | | | | 2,9 |

Fuente: elaboración propia con datos de la estación meteorológica del Parc Agrari de Sabadell e imágenes Landsat-8.

Figura 5. Gráfico de dispersión que correlaciona la temperatura ambiental en la estación meteorológica del Parc Agrari de Sabadell, y las temperaturas (TST) medias de cada imagen satelital utilizada para el estudio



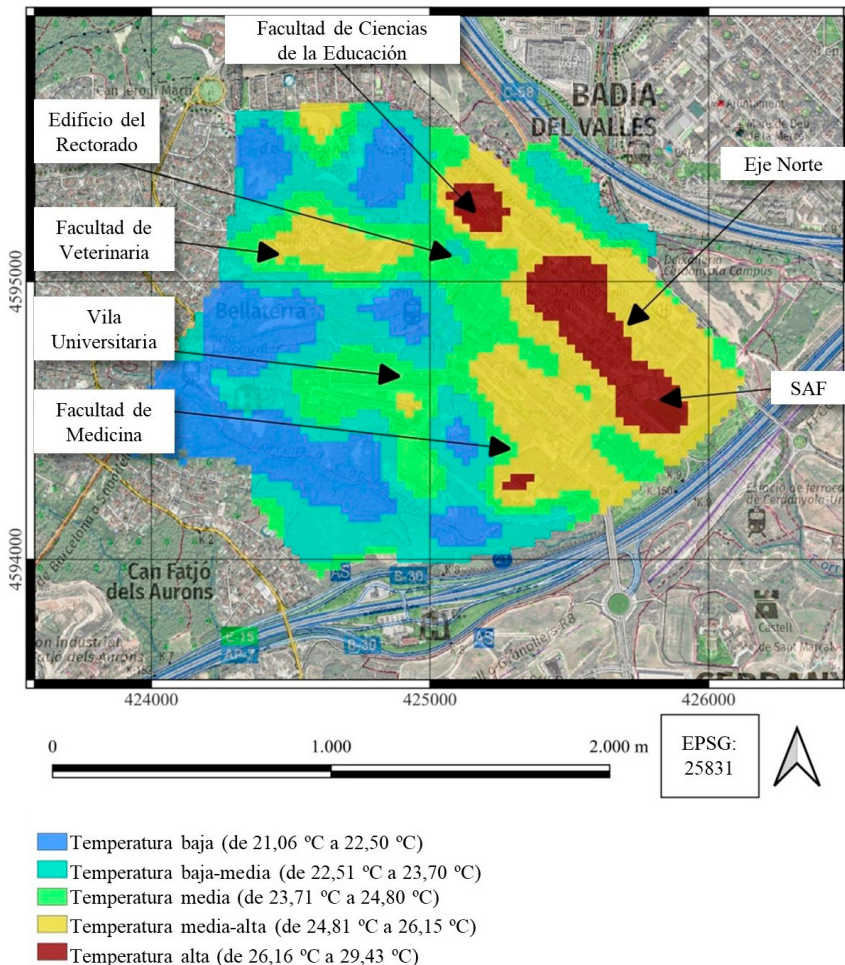
Fuente: elaboración propia con datos de la estación meteorológica del Parc Agrari de Sabadell e imágenes Landsat-8.

peraturas en la estación del Parc Agrari de Sabadell son sistemáticamente más bajas que en la UAB, dado que en el Parc Agrari hay un entorno ligeramente más ruralizado que en la UAB, en concordancia con el concepto de las ICU.

3.2. Caracterización espacial de las temperaturas superficiales

La distribución espacial de las temperaturas dentro del campus no es homogénea (figura 6). Las temperaturas altas (de 26,16 °C a 29,43 °C) se concentran espacialmente en tres puntos específicos. En primer lugar, el eje norte y el central, donde se localizan varias facultades —Filosofía y Letras, Psicología, Economía y Empresa y Ciencias y Biociencias—, lo que dificulta la presencia de bosques o espacios verdes densos. En segundo lugar, la zona noroeste, caracterizada también por la concentración de edificios —instituciones de educación básica y secundaria e institutos de investigación— y la predominancia de zonas de asfalto y vegetación de media altura. Finalmente, la zona deportiva o SAF (Servicio de Actividad Física), donde destaca el campo de fútbol como punto caliente debido al uso del caucho como base para la implantación de hierba natural. Las temperaturas medias-altas y medias se localizan en zonas adyacentes a las de mayores temperaturas superficiales,

Figura 6. Distribución espacial de las temperaturas en el campus de la UAB, 2014-2022



Fuente: elaboración propia.

ocupando espacios donde el bosque es poco compacto, hay zonas de cultivos y donde predomina el suelo desnudo como, por ejemplo, los parques. Por otro lado, estas temperaturas también engloban zonas de mayor mixticidad de usos del suelo —Facultad de Ciencias de la Comunicación, Facultad de Medicina y Facultad de Veterinaria, Rectorado y Villa Universitaria—, donde prevalecen espacios urbanizados y desnudos, pero con presencia de jardines y vegetación de media altura junto con tipologías más compactas de bosques en sus alrededores.

3.3. Distribución y relación de los usos y las cubiertas del suelo y las temperaturas superficiales

Los resultados muestran, en primer lugar, diferencias en la distribución de los usos del suelo respecto a las diferentes categorías de las temperaturas. La tabla 4 señala el porcentaje de usos del suelo localizados en cada rango de temperaturas respecto a la superficie total de la UAB (tabla 5 y figura 7). En primer lugar, se observa una predominancia de los bosques y el suelo urbano en relación con la superficie total del campus, alcanzando, conjuntamente, el 76%. Sin embargo, la distribución de los valores de ambos usos no es homogénea en cuanto a su localización en las diferentes categorías de temperaturas, lo que indica una disimetría espacial. Si bien la desviación típica del suelo desnudo, cultivos, vegetación de media altura y jardines tiende a agruparse cerca de sus medias respectivas, los valores de los bosques y del suelo urbano alcanzan el 8,42% y el 5,50%, respectivamente. Este hecho se refleja en la concentración de bosques en rangos de temperaturas bajas y medias-bajas (un 35,24%) y de suelo urbano en categorías de temperatura media y media-alta (un 22,43%). Estos resultados coinciden con estudios previos centrados en campus universitarios donde la localización de puntos calientes y fríos de la TST están fuertemente relacionados con la presencia de cubiertas del suelo asociadas a urbanización y vegetación, respectivamente (Wibowo et al., 2020), destacando, en algunos estudios, la correlación negativa entre la temperatura superficial y el NDVI y positiva con el índice de urbanización de diferencia normalizada (del inglés Normalized Difference Built-up Index [NDBI]) (Addas et al., 2020).

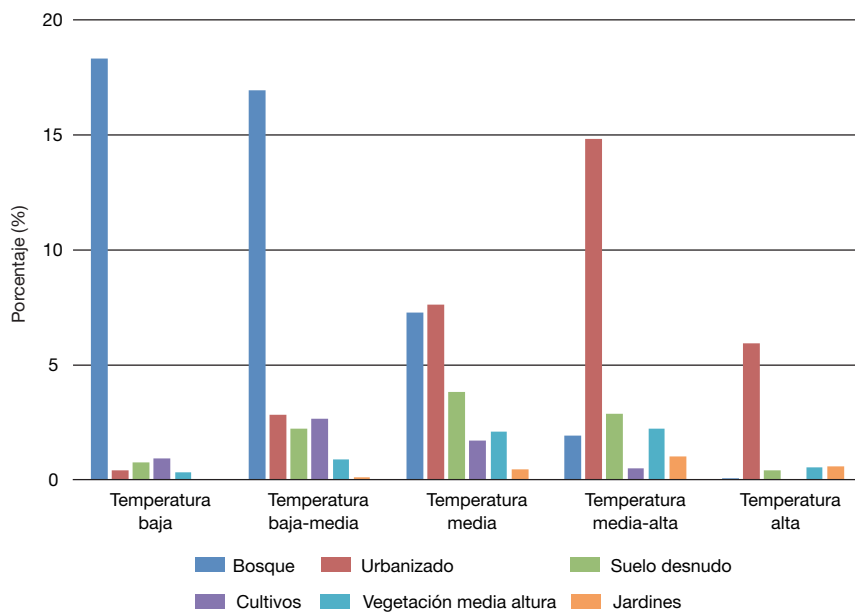
Por otro lado, se observa que la presencia de verde urbano en coexistencia con usos relacionados con suelo urbanizado tiende a asociarse con temperaturas más suaves (figura 5). Es el caso de las temperaturas medias, donde el 49,89% de su extensión total se ubica en suelo urbanizado y desnudo, en contraste con el 50,01% correspondiente a usos vinculados a vegetación urbana —bosques, cultivos, vegetación y jardines (tabla 5)—. A medida que disminuye la presencia de bosques y aumenta la vegetación de media altura junto con los jardines, las temperaturas superficiales aumentan. Este fenómeno se explica por la frondosidad del verde urbano y su capacidad de retener humedad y generar

Tabla 5. Distribución porcentual de usos del suelo en relación con categorías de TST, 2022

| | Temperatura baja | Temperatura baja-media | Temperatura media | Temperatura media-alta | Temperatura alta | % usos del suelo (UAB) ¹ | Desviación estándar |
|---------------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|--|------------------------|
| Bosques | 18,32% | 16,92% | 7,27% | 1,91% | 0,02% | 44,44% | 8,42 |
| Suelo urbanizado | 0,42% | 2,80% | 7,63% | 14,80% | 5,91% | 31,57% | 5,5 |
| Suelo desnudo | 0,74% | 2,22% | 3,81% | 2,86% | 0,42% | 10,06% | 1,42 |
| Cultivos | 0,93% | 2,64% | 1,71% | 0,51% | 0,00% | 5,78% | 1,04 |
| Vegetación a media altura | 0,32% | 0,88% | 2,07% | 2,21% | 0,55% | 6,04% | 0,88 |
| Ajardinado | 0,00% | 0,09% | 0,44% | 1,01% | 0,57% | 2,12% | 0,41 |
| Total | 20,74% | 25,55% | 22,94% | 23,29% | 7,48% | 100,00% | |

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Distribución de las categorías de temperatura relacionada con el porcentaje de distribución de los usos del suelo, 2022



Fuente: elaboración propia.

sombras. Los resultados obtenidos son compatibles con los de varios autores que, en el ámbito de los parques urbanos o de las zonas urbanizadas, indican que las temperaturas aumentan con la progresiva sustitución de espacios verdes densos caracterizados por árboles altos y copas amplias, por aquellos que presentan hierba o una menor presencia de árboles, con una estatura más reducida (Abdulateef y Al-Alwan, 2022; Potchter et al., 2006). La normalización de los valores referentes a los usos del suelo confirma este hecho (tabla 5 y figura 7).

La tabla 6 y la figura 8, mediante la utilización de la desviación típica, revelan, en primer término, una distribución de valores menos homogénea, con un 35,15% y un 30,76% en temperaturas bajas y altas, respectivamente. Sin embargo, en las restantes categorías, esta disimetría espacial se suaviza. Esta dinámica refleja una concentración espacial de temperaturas bajas y medias-bajas en áreas boscosas, alcanzando un 88,34% y un 66,2%, respectivamente, confirmando la relación entre áreas verdes y temperaturas bajas, previamente mencionada. Por otro lado, a medida que las temperaturas aumentan, se observa una concentración espacial en áreas urbanizadas, oscilando del 33,26% en temperaturas medias al 79,08% en temperaturas altas. Finalmente, aunque la coexistencia de áreas verdes, como vegetación de media altura y jardines, aumenta en espacios urbanizados en las categorías térmicas media-alta y alta (un 13,79% y un 15,05%, respectivamente), su efecto como mitigadores térmicos es limitado. Esta limitación puede explicarse por los bajos valores

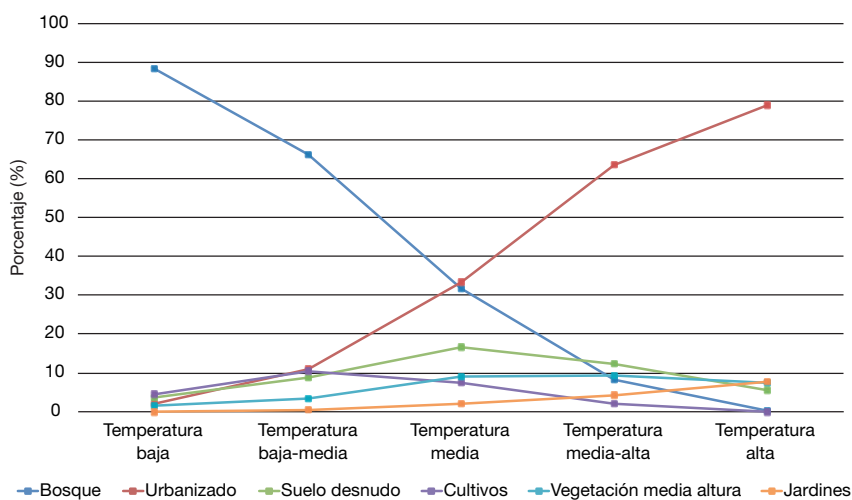
Tabla 6. Distribución porcentual de usos del suelo normalizado por categoría de TST, 2022

| | Temperatura baja | Temperatura baja-media | Temperatura media | Temperatura media-alta | Temperatura alta | % usos del suelo (UAB)* |
|----------------------------|------------------|------------------------|-------------------|------------------------|------------------|-------------------------|
| Bosques | 88,34% | 66,20% | 31,70% | 8,18% | 0,28% | 44,44% |
| Suelo urbanizado | 2,03% | 10,97% | 33,26% | 63,55% | 79,08% | 31,57% |
| Suelo desnudo | 3,58% | 8,69% | 16,63% | 12,30% | 5,58% | 10,06% |
| Cultivos | 4,47% | 10,32% | 7,46% | 2,18% | 0,00% | 5,78% |
| Vegetación de media altura | 1,56% | 3,45% | 9,02% | 9,47% | 7,41% | 6,04% |
| Ajardinado | 0,02% | 0,37% | 1,92% | 4,32% | 7,64% | 2,12% |
| Total general | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| Desviación estándar | 35,15 | 24,62 | 13,13 | 23,25 | 30,76 | |

* Existe un desfase entre los valores de esta tabla y aquellos correspondientes a la tabla 3 debido a que los valores se han obtenido de ficheros de diferente naturaleza. Los de la tabla 4 se han obtenido a través de un ráster de temperaturas superficiales, mientras que los de la tabla 3 se han obtenido a través de capa vectorial.

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Distribución de las temperaturas respecto a los usos del suelo, 2022



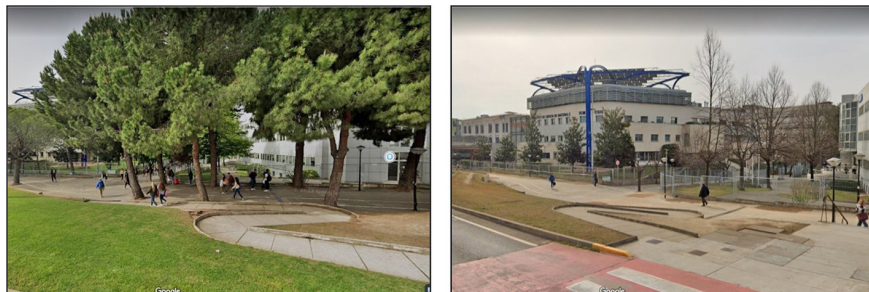
Fuente: elaboración propia.

relativos a su distribución espacial, que asciende al 3,22% y al 1,12%, respectivamente (véase la tabla 5).

3.4. ¿Hacia un campus sostenible?: Estrategias de mitigación térmica superficial

Durante los últimos veinte años, la UAB ha implementado diversos planes enmarcados dentro de una política orientada a la consecución de la sostenibilidad ambiental en el campus (Universitat Autònoma de Barcelona, 2023a,

Figura 9. Eliminación de verde urbano para la adecuación del carril bici en el eje norte



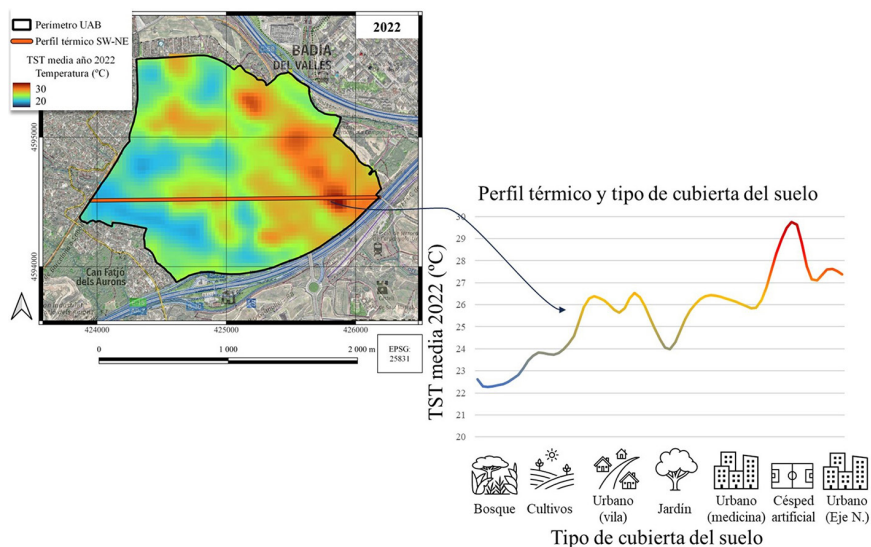
Fuente: Google Maps (Street View).

2023b, 2023c). Sin embargo, los resultados muestran la configuración de concentraciones de temperaturas superficiales altas, evidenciando la necesidad de complementar los planes preexistentes con nuevas propuestas que ayuden a mitigarlas y al logro de los objetivos establecidos. En primer lugar, los resultados señalan que las actuaciones enfocadas a la gestión de espacios forestales y agrícolas están permitiendo la aparición y consolidación de zonas susceptibles de ser categorizadas como refugios climáticos naturales, al mantener temperaturas por debajo de la media. Sin embargo, la generación de temperaturas altas en usos del suelo urbanizados conlleva la configuración de espacios de urgente actuación. En este contexto, se sugieren varias propuestas.

Enfocándonos en la zona del eje norte —facultades de Filosofía y Letras, Psicología, Economías y Empresa y Ciencias y Biociencias y la biblioteca de Humanidades y alrededores—, la UAB se ha centrado, especialmente, en propuestas relacionadas con el consumo energético. Creemos que esta línea propositiva es indispensable pero mejorable, más aún cuando varios estudios indican la relación directa entre temperaturas y consumo de energía en edificios (Kumari et al., 2020; Fung et al., 2006). Complementariamente, debido a la baja absorción solar y a su impacto en la reducción de las temperaturas superficiales, los techos verdes son también una opción, permitiendo, incluso, aumentar el confort térmico interior (Kim et al., 2020; Razzaghmanesh et al., 2016; Sfakianaki et al., 2009; Skelhorn et al., 2014; Susca et al., 2011; Wong et al., 2003). Sin embargo, esta estrategia de reverdificación choca con estrategias que se han llevado a cabo a comienzos del 2023 y que conducen a resultados indeseados. Es el caso de la eliminación de bosque y vegetación urbana para la implantación de un carril bici en un espacio de tránsito peatonal (figura 9). Por este motivo, enfatizamos repensar su adecuación localizándolo en la calzada, coexistiendo con el transporte motorizado.

Una segunda zona de urgente actuación se localiza en las instalaciones deportivas del campus, específicamente en el campo de fútbol de césped artificial con base de caucho. Estos materiales, bajo ciertas condiciones como la velocidad del viento o la situación meteorológica del momento, pueden condicionar la configuración de altas temperaturas superficiales (Jia, 2007;

Figura 10. Perfil térmico (SW-NE) en relación con el tipo de cubierta del suelo (año 2022). Nótese el pico de temperatura en superficie relacionado con el campo de césped artificial



Fuente: elaboración propia.

Thoms et al., 2014), superando, incluso, a aquellas temperaturas localizadas en usos del suelo urbanizados (figura 10). La sustitución por hierba natural es una opción válida, aunque la situación de emergencia climática actual en Cataluña dificulta su implantación. La aplicación de sistemas de irrigación eficientes ayudaría a su establecimiento, pero, en caso de que no sea factible, las autoridades competentes deben considerar restricciones temporales en el uso de estas instalaciones.

Una tercera zona de actuación podría ser la formada por aquellas zonas ubicadas en temperaturas medias-altas y medias, consideradas como posibles zonas de transición. El objetivo deseado sería homogeneizar las temperaturas dentro de rangos cercanos a la media o, incluso, inferiores. Los resultados anteriores muestran que la coexistencia de verde urbano en zonas donde predominan usos del suelo urbanizados contribuye a la reducción de las temperaturas. Entre las zonas de actuación se encuentran los parques y, en especial, el eje central. Respecto a los primeros, la universidad ha implementado políticas para mejorar la movilidad sostenible, fomentando la reducción del uso del vehículo privado y el transporte público. La propuesta de disminuir la superficie de los parques podría ser una estrategia complementaria, permitiendo reducir el uso del vehículo privado y, a su vez, reemplazar estos espacios con áreas de bosques, jardines o vegetación de media altura, contribuyendo así a impulsar la estructura compacta de los espacios agroforestales. En cuanto al eje central, aunque se ha restringido el paso de vehículos motorizados favoreciendo la peatonalización, consideramos necesario

acompañar estas medidas con la implantación de vegetación a media altura, jardines o toldos que ayuden a mitigar las temperaturas.

Un último punto de actuación sería los espacios urbanizados rodeados por áreas agroforestales, como es el caso de la Vila o la Facultad de Veterinaria. Aunque las temperaturas son menores que en el eje norte debido a la influencia del verde urbano, aún existen oportunidades para reducirlas mediante la instalación de techos verdes en los edificios y el aumento de la vegetación urbana en zonas internas e intersticiales.

En resumen, recomendamos la implantación de vegetación en áreas de urgente actuación, aunque conlleve costos económicos adicionales requeridos para su correcto mantenimiento durante todo el año (riego, poda, control de plagas, etc.). Cabe tener en cuenta la idiosincrasia de un espacio caracterizado por una variación significativa en la ocupación por parte de la comunidad universitaria, tanto diurna como nocturna, y a lo largo de ciertas temporadas (periodos de vacaciones). En este contexto, sugerimos que, respecto a los techos verdes, la universidad considere la viabilidad de incorporar paneles solares u otras actuaciones similares para asegurar el confort térmico interior y reducir el impacto en el consumo energético, especialmente en zonas prioritarias como el eje norte.

A pesar de estas consideraciones, sostenemos que la adaptación del campus al cambio climático debe priorizar la promoción de áreas verdes en lugar de su reducción, especialmente mediante la incorporación de especies resistentes a la sequía y adaptadas a hábitats mediterráneos.

4. Conclusiones

El desafío del cambio climático ante el que se encuentra actualmente nuestra sociedad merece la implantación de políticas multiescalares para reducir sus efectos. Las directrices y leyes que se desarrollan a nivel internacional, estatal o autonómico deben de ser complementadas por actuaciones a nivel urbano o, en este caso, a escala intraurbana. Los campus universitarios son piezas importantes dentro de la planificación territorial, puesto que son centros de atracción y concentración de población donde los usos del suelo tienden a entremezclarse creando complejidades territoriales. Es por ello que el presente artículo tiene como objetivo caracterizar las temperaturas superficiales en el campus de la UAB, analizando su relación con los usos y las cubiertas del suelo entre 2014 y 2022. Por otro lado, este estudio también tiene como finalidad ser una herramienta metodológica de conocimiento útil, aplicable para la toma de decisiones políticas. De esta manera, se han analizado las principales políticas llevadas a cabo desde hace veinte años por la UAB, subrayando las deficiencias que han permitido la configuración de anomalías térmicas de altas temperaturas dentro del campus y proporcionando posibles actuaciones para mitigarlas.

Los resultados señalan que la creciente homogeneización de usos del suelo relativos a los bosques permite la creación de refugios climáticos. Por otro lado, la homogeneización de usos del suelo urbanizado y desnudo en ciertos espacios

—eje norte— se asocia con temperaturas más altas dentro del campus, lo que confirma la hipótesis 1. No obstante, la coexistencia de espacios urbanizados con usos del suelo relativos al verde urbano —bosques, jardines o vegetación de media altura— ayuda a mitigar las temperaturas. En relación con las políticas medioambientales, la UAB ha gestionado correctamente aquellos espacios agroforestales permitiendo la configuración de refugios climáticos caracterizados por temperaturas por debajo de la media. No obstante, los resultados confirman la necesidad de realizar políticas más integradoras en espacios de urgente actuación y de transición, con el objetivo de mejorar el confort térmico de estas zonas (hipótesis 2).

Finalmente, el presente artículo abre nuestras vías de investigación en relación con el comportamiento de las temperaturas en los campus universitarios y, en general, en zonas periurbanas. Con el objetivo de realizar una mayor contribución a la literatura sobre el efecto del cambio climático en estos espacios (p. e. Fernández-Pablos et al., 2021; Gómez-Villarino et al., 2020; López-Bueno et al., 2019), sugerimos que nuevas líneas de investigación deben de orientarse no solo hacia el comportamiento espacial de las temperaturas superficiales, sino también de las ambientales, considerando factores complementarios tales como la polución atmosférica (Alonso et al., 2023; Ulpiani, 2021). Adicionalmente, creemos que integrar los campus universitarios en una escala supramunicipal ayudaría a relacionar las temperaturas que se configuran dentro de ellos con sus espacios periféricos, permitiendo analizar la posible configuración o integración dentro de una ICU o de varias ICUS, obteniendo así una mejor comprensión de la espacialidad de las temperaturas fuera de zonas urbanas densas.

Referencias bibliográficas

- ABDULATEEF, M. F. y AL-ALWAN, H. A. S. (2022). «The effectiveness of urban green infrastructure in reducing surface urban heat island: Baghdad city as a case study». *Ain Shams Engineering Journal*, 13 (1), 101526.
<<https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.06.012>>
- ADDAS, A.; GOLDBLATT, R. y RUBINYI, S. (2020). «Utilizing remotely sensed observations to estimate the urban heat Island effect at a local scale: Case study of a University campus». *Land*, 9 (6).
<<https://doi.org/10.3390/LAND9060191>>
- AEMET (2022). *Redes de observación de superficie y en altura. Redes de observación de superficie y en altura*. Recuperado de <www.aemet.es/ca/idi/observacion/observacion_convencional> [Fecha de consulta: 19/01/2024].
- ALONSO, M. S.; LABAJO, J. L. y FIDALGO, M. R. (2003). «Characteristics of the urban heat island in the city of Salamanca, Spain». *Atmosfera*, 16 (3), 137-148.
- ANDRADE, H. y VIEIRA, R. (2007). «A climatic study of an urban green space: The Gulbenkian Park in Lisbon (Portugal)». *Finisterra*, 42 (84).
<<https://doi.org/10.18055/FINIS1420>>
- ARAGÓN, J. A.; RODRÍGUEZ, E. D.; VARON, G. A. y SÁNCHEZ, G. A. (2020). «Análisis de islas de calor por medio de imágenes satelitales y sistemas de información geográficos en el área urbana de la Sabana de Bogotá». *Geographicalia*, 72, 39-64.
<https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2020724571>

- ARAGONESES DE LA RUBIA, E. (2020). «Caracterización de la isla de calor urbana en el campus de la UAM por medio de teledetección». *GeoFocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 26, 43-67.
<<https://doi.org/10.21138/GF.678>>
- AVDAN, U. y JOVANOVSKA, G. (2016). «Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data». *Journal of Sensors*, ID 1480307-1480315.
<<https://doi.org/10.1155/2016/1480307>>
- BALANY, F.; NG, A. W. M.; MUTTIL, N.; MUTHUKUMARAN, S. y WONG, M. S. (2020). «Green infrastructure as an urban heat island mitigation strategy—A review». *Water (Switzerland)*, 12 (12), 1-22.
<<https://doi.org/10.3390/w12123577>>
- BATTISTA, G.; EVANGELISTI, L.; GUATTARI, C.; VOLLARO, E. D. L.; VOLLARO, R. D. L. y ASDRUBALI, F. (2020). «Urban heat island mitigation strategies: Experimental and numerical analysis of a university campus in Rome (Italy)». *Sustainability (Switzerland)*, 12 (19), 1-18.
<<https://doi.org/10.3390/su12197971>>
- BOKAIE, M.; ZARKESH, M. K.; ARASTEH, P. D. y HOSSEINI, A. (2016). «Assessment of Urban Heat Island based on the relationship between land surface temperature and Land Use/ Land Cover in Tehran». *Sustainable Cities and Society*, 23, 94-104.
<<https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.03.009>>
- CHENG, D.; GAO, C.; SHAO, T. e IQBAL, J. (2020). «A Landscape Study of Sichuan University (Wangjiang Campus) from the Perspective of Campus Tourism». *Land*, 9 (12), 499-520.
<<https://doi.org/10.3390/land9120499>>
- CHUN, B. y GULDMANN, J.-M. (2018). «Impact of greening on the urban heat island: Seasonal variations and mitigation strategies». *Computers, Environment and Urban Systems*, 71, 165-176.
<<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.05.006>>
- DEZSŐ, Z.; PONGRÁCZ, R. y BARTHOLY, J. (2019). «Analysis of surface temperature measurements over complex urban sites». *Geographica Pannonica*, 23 (4), 337-346.
<<https://doi.org/10.5937/gp23-23844>>
- DÍAZ-DELGADO, R. y PONS, X. (2001). «Spatial patterns of forest fires in Catalonia (NE of Spain) along the period 1975–1995: analysis of vegetation recovery after fire». *Forest Ecology and Management*, 147 (1), 67-74.
<[https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00434-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00434-5)>
- DWIVEDI, A. y MOHAN, B. K. (2018). «Impact of green roof on micro climate to reduce Urban Heat Island». *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 10, 56-69.
<<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.01.003>>
- EUMETSAT (2022). *Meteosat series*. Recuperado de <<https://www.eumetsat.int/our-satellites/meteosat-series>> [Fecha de consulta: 19/01/2024].
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2020). *Urban adaptation in Europe: How cities and towns respond to climate change*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.
<<https://doi.org/10.2800/324620>>
- FASHAE, O. A.; ADAGBASA, E. G.; OLUSOLA, A. O.; OBATERU, R. O. (2020). «Land use/land cover change and land surface temperature of Ibadan and environs, Nigeria». *Environmental Monitoring and Assessment*, 192 (2), 109.
<<https://doi.org/10.1007/s10661-019-8054-3>>

- FERNÁNDEZ-PABLOS, E.; VERDÚ-VÁZQUEZ, A.; LÓPEZ-ZALDÍVAR, Ó. y LOZANO-DÍEZ, R. V. (2021). «Periurban Areas in the Design of Supra-Municipal Strategies for Urban Green Infrastructures». *Forests*, 12 (5), 626.
<<https://doi.org/10.3390/f12050626>>
- FUNG, W.; LAM, K.; HUNG, W.; PANG, S. y LEE, Y. (2006). «Impact of urban temperature on energy consumption of Hong Kong». *Energy*, 31 (14), 2623-2637.
<<https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.12.009>>
- GHAFFARIANHOSEINI, A.; BERARDI, U.; GHAFFARIANHOSEINI, A. y AL-OBAIDI, K. (2019). «Analyzing the thermal comfort conditions of outdoor spaces in a university campus in Kuala Lumpur, Malaysia». *Science of the Total Environment*, 666, 1327-1345.
<<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.284>>
- GÓMEZ-VILLARINO, M. T.; GÓMEZ VILLARINO, M. y RUIZ-GARCÍA, L. (2020). «Implementation of Urban Green Infrastructures in Peri-Urban Areas: A Case Study of Climate Change Mitigation in Madrid». *Agronomy*, 11 (1), 31.
<<https://doi.org/10.3390/agronomy11010031>>
- HERATH, H. M. P. I. K.; HALWATURA, R. U. y JAYASINGHE, G. Y. (2018). «Evaluation of green infrastructure effects on tropical Sri Lankan urban context as an urban heat island adaptation strategy». *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 212-222.
<<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.11.013>>
- HERRERA-GÓMEZ, S. S.; QUEVEDO-NOLASCO, A. y PÉREZ-URRESTARAZU, L. (2017). «The role of green roofs in climate change mitigation: A case study in Seville (Spain)». *Building and Environment*, 123, 575-584.
<<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.036>>
- HIDALGO-GARCÍA, D. y ARCO-DÍAZ, J. (2021). «Spatial and Multi-Temporal Analysis of Land Surface Temperature through Landsat 8 Images: Comparison of Algorithms in a Highly Polluted City (Granada)». *Remote Sensing*, 13, 1012.
<<https://doi.org/10.3390/rs13051012>>
- (2022). «Modeling the Surface Urban Heat Island (SUHI) to study of its relationship with variations in the thermal field and with the indices of land use in the metropolitan area of Granada (Spain)». *Sustainable Cities and Society*, 87, 104166.
<<https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104166>>
- JENKS, G. F. (1967). «The data model concept in statistical mapping». *International Yearbook of Cartography*, 7, 186-190.
- JIA, X.; DUKES, M. D. y MILLER, G. L. (2007). «Temperature Increase on Synthetic Turf Grass». *World Environmental and Water Resources Congress 2007*, 1-20.
<[https://doi.org/10.1061/40927\(243\)240](https://doi.org/10.1061/40927(243)240)>
- JIANG, J. y TIAN, G. (2010). «Analysis of the impact of Land use/Land cover change on Land Surface Temperature with Remote Sensing». *Procedia Environmental Sciences*, 2, 571-575.
<<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.062>>
- KIM, J.; LEE, S. Y. y KANG, J. (2020). «Temperature Reduction Effects of Rooftop Garden Arrangements: A Case Study of Seoul National University». *Sustainability*, 12 (15), 6032.
<<https://doi.org/10.3390/su12156032>>
- KUMARI, P.; KAPUR, S.; GARG, V. y KUMAR, K. (2020). «Effect of Surface Temperature on Energy Consumption in a Calibrated Building: A Case Study of Delhi». *Climate*, 8 (6), 71.
<<https://doi.org/10.3390/cli8060071>>

- LEAL FILHO, W.; WOLF, F.; CASTRO-DÍAZ, R.; LI, C.; OJEH, V. N.; GUTIÉRREZ, N.; NAGY, G. J.; Savić, S.; NATENZON, C. E.; QUASEM AL-AMIN, A.; MARUNA, M. y BÖNECKE, J. (2021). «Addressing the Urban Heat Islands Effect: A Cross-Country Assessment of the Role of Green Infrastructure». *Sustainability*, 13 (2), 753.
<<https://doi.org/10.3390/su13020753>>
- LÓPEZ-BUENO, J. A.; DÍAZ, J. y LINARES, C. (2019). «Differences in the impact of heat waves according to urban and peri-urban factors in Madrid». *International Journal of Biometeorology*, 63 (3), 371-380.
<<https://doi.org/10.1007/s00484-019-01670-9>>
- MAHARJAN, M.; ARYAL, A.; MAN SHAKYA, B.; TALCHABHADEL, R.; THAPA, B. R. y KUMAR, S. (2021). «Evaluation of Urban Heat Island (UHI) Using Satellite Images in Densely Populated Cities of South Asia». *Earth*, 2 (1), 86-110.
<<https://doi.org/10.3390/earth2010006>>
- MALLEN, E.; BAKIN, J.; STONE, B.; SIVAKUMAR, R. y LANZA, K. (2020). «Thermal impacts of built and vegetated environments on local microclimates in an Urban University campus». *Urban Climate*, 32 (april), 100640.
<<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100640>>
- METEÓCAT (2022). *Dades d'estacions meteorològiques automàtiques de Catalunya: Mapa d'estacions automàtiques*. Recuperado de <<https://www.meteo.cat/observacions/xema>> [Fecha de consulta: 19/01/2024].
- (2024). *Dades de l'estació automàtica Sabadell - Parc Agrari*. Recuperado de <<https://www.meteo.cat/observacions/xema/dades?codi=XF>> [consulta: 19 de enero de 2024].
- NASA (2022). *ARSET - Satellite Remote Sensing for Urban Heat Islands*. Recuperado de <<https://appliedsciences.nasa.gov/get-involved/training/english/arsat-satellite-remote-sensing-measuring-urban-heat-islands-and>> [Fecha de consulta: 19/01/2024].
- POTCHTER, O.; COHEN, P. y BITAN, A. (2006). «Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the mediterranean city of Tel Aviv, Israel». *International Journal of Climatology*, 26 (12), 1695-1711.
<<https://doi.org/10.1002/joc.1330>>
- POZO, S. del; LANDES, T.; NERRY, F.; KASTENDEUCH, P.; NAJJAR, G.; PHILIPPS, N. y LAGÜELA, S. (2020). «UHI estimation based on aster and MODIS satellite imagery: first results on Strasbourg city, France». *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B3-2020, 799-805.
<<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2020-799-2020>>
- RAZZAGHMANESH, M.; BEECHAM, S. y SALEMI, T. (2016). «The role of green roofs in mitigating Urban Heat Island effects in the metropolitan area of Adelaide, South Australia». *Urban Forestry & Urban Greening*, 15, 89-102.
<<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.11.013>>
- SANTAMOURIS, M. (2023). «Urban climate change: Reasons, magnitude, impact, and mitigation». En: *Urban Climate Change and Heat Islands*. Amsterdam: Elsevier, 1-27.
<<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818977-1.00002-8>>
- SFAKIANAKI, A.; PAGALOU, E.; PAVLOU, K.; SANTAMOURIS, M. y ASSIMAKOPOULOS, M. N. (2009). «Theoretical and experimental analysis of the thermal behaviour of a green roof system installed in two residential buildings in Athens, Greece». *International Journal of Energy Research*, 33 (12), 1059-1069.
<<https://doi.org/10.1002/er.1535>>

- SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E. y TZAMIR, Y. (2006). «Integrated thermal effects of generic built forms and vegetation on the UCL microclimate». *Building and Environment*, 41 (3), 343-354.
<<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.032>>
- SHENG, L.; TANG, X.; YOU, H.; GU, Q. y HU, H. (2017). «Comparison of the urban heat island intensity quantified by using air temperature and Landsat land surface temperature in Hangzhou, China». *Ecological Indicators*, 72, 738-746.
<<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.009>>
- SKELHORN, C.; LINDLEY, S. y LEVERMORE, G. (2014). «The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK». *Landscape and Urban Planning*, 121, 129-140.
<<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09.012>>
- SOBRINO, J. A. y JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. (2005). «Land surface temperature retrieval from thermal infrared data: An assessment in the context of the Surface Processes and Ecosystem Changes Through Response Analysis (SPECTRA) mission». *Journal of Geophysical Research*, 110 (D16), D16103.
<<https://doi.org/10.1029/2004JD005588>>
- SOTO-SOTO, J. E.; GARZON-BARRERO, J. y JIMENEZ-CLEVES, G. (2020). «Análisis de islas de calor urbano usando imágenes Landsat caso de estudio Armenia-Colombia 1996-2018». *Revista Espacios*, 41 (8), 9. Recuperado de <<https://www.revistaespacios.com/a20v41n08/a20v41n08p09.pdf>>.
- SUCAPUCA MAMANI, R. O.; CHOQUEHUANCA SOTO, J. D. y PELINCO RUEDAS, E. (2022). «Islas de calor urbano mediante imágenes satelitales en la ciudad de Juliaca durante el año 2019». *Ciencia & Desarrollo*, 21 (1), 10-28.
<<https://doi.org/10.33326/26176033.2022.1.1387>>
- SUSCA, T.; GAFFIN, S. R. y DELL'OSSO, G. R. (2011). «Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs». *Environmental Pollution*, 159 (8-9), 2119-2126.
<<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007>>
- TALEGHANI, M.; TENPIERIK, M.; VAN DEN DOBBELSTEEN, A.; SAILOR, D. J. (2014). «Heat mitigation strategies in winter and summer: Field measurements in temperate climates». *Building and Environment*, 81, 309-319.
<<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.07.010>>
- TAN, J.; YU, D.; LI, Q.; TAN, X. y ZHOU, W. (2020). «Spatial relationship between land-use/land-cover change and land surface temperature in the Dongting Lake area, China». *Scientific Reports*, 10, 9245-9254.
<<https://doi.org/10.1038/s41598-020-66168-6>>
- THOMS, A. W.; BROSNAN, J. T.; ZIDEK, J. M. y SOROCHAN, J. C. (2014). «Models for Predicting Surface Temperatures on Synthetic Turf Playing Surfaces». *Procedia Engineering*, 72, 895-900.
<<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.06.153>>
- TRAN, D.X.; PLA, F.; LATORRE-CARMONA, P.; MYINT, S.W.; CAETANO, M. y KIEU, H.V. (2017). «Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature». *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 124, 119-132.
<<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.001>>
- ULPIANI, G. (2021). «On the linkage between urban heat island and urban pollution island: Three-decade literature review towards a conceptual framework». *Science of The Total Environment*, 751, 141727.
<<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141727>>

- UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA (2023a). *Medi ambient, Universitat Autònoma de Barcelona*. Recuperado de <www.uab.cat/web/uab-medi-ambient-1270542630903.html> [Fecha de consulta: 19/01/2024].
- (2023b). *Naturaleza y biodiversidad de la Universitat Autònoma de Barcelona*. Recuperado de <<https://www.uab.cat/web/naturaleza-y-biodiversidad/introduccion-1345828283608.html>>.
- (2023c). *Plan de Gestión de los espacios agroforestales: 180 hectáreas de espacios agroforestales (bosques, prados, cultivos, matorrales,...) y ajardinados*. Recuperado de <<https://www.uab.cat/web/naturaleza-y-biodiversidad/plan-de-gestion-de-los-espacios-agroforestales-1345660888901.html>>.
- USGS (2023a). *Landsat Collection 2 Surface Temperature*. Recuperado de <<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-surface-temperature>> [consulta: 19 de enero de 2024].
- (2023b). *Landsat Collection 2 Level-1 Data*. Recuperado de <<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-level-1-data>> [consulta: 19 de enero de 2024].
- (2023c). *Landsat Level-1 Processing Levels*. Recuperado de <<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8-oli-and-tirs-calibration-notice>> [consulta: 19 de enero de 2024].
- (2023d). USGS EROS Archive. Recuperado de <<https://earthexplorer.usgs.gov/>> [consulta: 19 de enero de 2024].
- WIBOWO, A.; YUSOFF, M. M.; HAMZAH, T. A. A.; BINTI, T. y SHIDIQ, I. P. A. (2020). «Urban heat hazard threat on University Campus (University of Indonesia and University of Malaya)». *International Journal of GEOMATE*, 19 (76), 141-148. <<https://doi.org/10.21660/2020.76.95107>>
- WONG, N. H.; CHEONG, D. K. W.; YAN, H.; SOH, J.; ONG, C. L. y SIA, A. (2003). «The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore». *Energy and Buildings*, 35, 353-364.
- WONG, N. H.; KARDINAL JUSUF, S.; AUNG LA WIN, A.; KYAW THU, H.; SYATIA NEGARA, T. y XUCHAO, W. (2007). «Environmental study of the impact of greenery in an institutional campus in the tropics». *Building and Environment*, 42 (8), 2949-2970. <<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.004>>
- XIAN, G. y GALLO, K. (2020). «Islas de Calor Urbano Observadas a partir de una Serie Temporal de Datos de Teledetección». *Applied Remote Sensing Training Program National Aeronautics and Space Administration*. Recuperado de <https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2020-11/UHI_Part3_Xian_Span.pdf> [Fecha de consulta: 19/01/2024].
- YANG, J.; YU, Q. y GONG, P. (2008). «Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago». *Atmospheric Environment*, 42 (31), 7266-7273. <<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.003>>
- YI, T.; WANG, H.; LIU, C.; LI, X. y WU, J. (2022). «Thermal comfort differences between urban villages and formal settlements in Chinese developing cities: A case study in Shenzhen». *Science of The Total Environment*, 853, 158283. <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158283>>