



Universitat Autònoma de Barcelona

**Aproximació del fenomen de l'illa de calor en dos
entorns universitaris. Els casos de la Universitat
Autònoma de Barcelona i la Universitat de
Barcelona**

Autora

Sofia Logan de la Rosa

Directors

Dr. Rafael Vicente Salar

Marc Castelló Bueno

2021

TFG EN GESTIÓ DE CIUTATS INTEL·LIGENTS I SOSTENIBLES,
UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA (UAB)

Índex

Abstract	5
1. Introducció	5
2. Objectius, preguntes de recerca i hipòtesi	6
3. Marc teòric.....	6
3.1. Què és la teledetecció?	6
3.2. L'aplicació de la teledetecció en estudis mediambientals	8
3.3. Illes de calor i bibliografia relacionada	9
3.4. Les illes de calor en espais universitaris	11
4. Cas d'estudi.....	12
5. Materials i metodologia	14
5.1. Fonts de dades	14
5.2. Metodologia	14
6. Resultats	17
6.1. Preparació de les taules	17
6.2. Descripció numèrica.....	18
6.3. Descripció espacial	19
6.4. Descripció de les comparacions entre valors	23
7. Discussió.....	25
8. Conclusió.....	26
9. Futures línies de treball	27
10. Agraïments.....	27
11. Bibliografia	27
12. Annex.....	31

Taula de continguts

Mapes

MAPA I, UAB: PLÀNOL DELS PRINCIPALS EDIFICIS DEL CAMPUS I LA UBICACIÓ EN CATALUNYA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA. DADES EXTRETES DE ICGC (INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA)	12
MAPA II, UB: PLÀNOL DE L'EDIFICI PRINCIPAL DELINEAT I LA SEVA UBICACIÓ EN CATALUNYA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA, DADES EXTRETES DE ICGC.	12

Taules

TAULA I. FÓRMULES DELS INDICADORS AMBIENTALS UTILITZATS PELS AUTORS RODRÍGUEZ ET AL., TELLO-CIFUENTES I DÍAZ-PAZ; SORRIANO-BELDA.....	9
TAULA II, CONJUNT DE TAULES DELS HISTOGRAMES DEL 2015.	31
TAULA III, CONJUNT DE TAULES DELS HISTOGRAMES DEL 2015.	32

Imatges

IMATGE I, A L'ESQUERRA, RADI DE 500 M AL VOLTANT DE LA UAB. A LA DRETA, RADI DE 500 M AL VOLTANT DE LA UB.	13
IMATGE I, A L'ESQUERRA, RADI DE 500 M AL VOLTANT DE LA UAB. A LA DRETA, RADI DE 500 M AL VOLTANT DE LA UB.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
IMATGE II, A L'ESQUERRA, ALGUNS PUNTS D'INTERÈS DE LA UAB. A LA DRETA, ALGUNS PUNTS D'INTERÈS DE LA UB.	13
IMATGE II, A L'ESQUERRA, ALGUNS PUNTS D'INTERÈS DE LA UAB. A LA DRETA, ALGUNS PUNTS D'INTERÈS DE LA UB.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
IMATGE III, FUNCIONAMENT DE L'EINA "EXTRACT BY POLYGON"	16
IMATGE IV, CREACIÓ DELS HISTOGRAMES.	16
IMATGE V, EXEMPLE DE LA INTERFÍCIE DE L'HTML.....	17
IMATGE VI, PÍXEL AMB LA TEMPERATURA MÀXIMA SIMBOLITZAT EN NEGRE I EN CERCLAT	33
IMATGE VII, PÍXEL AMB LA TEMPERATURA MÀXIMA SIMBOLITZAT EN NEGRE I EN CERCLAT	34
IMATGE VIII, PÍXEL AMB LA TEMPERATURA MÍNIMA SIMBOLITZAT EN NEGRE I EN CERCLAT	35
IMATGE IX, PÍXEL AMB LA TEMPERATURA MÍNIMA SIMBOLITZAT EN NEGRE I EN CERCLAT	36
IMATGE X, PÍXEL AMB EL VALOR NDVI MÉS ELEVAT SIMBOLITZAT EN NEGRE I EN CERCLAT.....	37
IMATGE IX, PÍXEL AMB EL VALOR NDVI MÉS ELEVAT SIMBOLITZAT EN NEGRE I EN CERCLAT	38
IMATGE XII, PÍXEL AMB EL VALOR MÍNIM NDVI SIMBOLITZAT EN NEGRE I EN CERCLAT EN BLAU	39
IMATGE XIII, PÍXEL AMB EL VALOR MÍNIM NDVI SIMBOLITZAT EN NEGRE I EN CERCLAT EN BLAU	40
IMATGE XIV, PÍXEL AMB EL VALOR MÍNIM NDVI SIMBOLITZAT EN NEGRE I EN CERCLAT EN BLAU.....	18
IMATGE XV, EN CERCLADA LA UBICACIÓ DE LA MASSA DE TEMPERATURES ELEVADES. EN BLAU, EN CERCLADA LA POSICIÓ DE LA MASSA DE TEMPERATURES BAIXES.	19
IMATGE XVI, CAPTURA DE PANTALLA DE LA PÀGINA HTML. COMPOSTA PER VUIT IMATGES ON LA FILA DE DALT CORRESPON A RÀSTERS DEL 2015 I DAVALL DEL 2020. EN VERMELL EN CERCLADA LA UBICACIÓ DE LA MASSA DE TEMPERATURES ELEVADES. EN NEGRE, EN CERCLADA LA POSICIÓ DE LA MASSA DE TEMPERATURES BAIXES.....	20
IMATGE XVII, A L'ESQUERRA REPRESENTADES LES TEMPERATURES EN RÀSTER. A LA DRETA REPRESENTADES COM A HISTOGRAMES.	20
IMATGE XVIII, A L'ESQUERRA REPRESENTATS ELS VALORS NDVI A L'ESTIU DE 2020. A LA DRETA, ELS SEUS RESPECTIUS HISTOGRAMES.....	20
IMATGE XIX, EN ROSA EN CERCLADA LA UBICACIÓ DE LA VILA UNIVERSITÀRIA DE LA UAB.	21
IMATGE XX, TEULADA DE L'HOSPITAL CLÍNIC	21
IMATGE XXI, , EN CERCLADA EN VERMELL LA UBICACIÓ DE L'HOSPITAL CLÍNIC.	21
IMATGE XXII, EN CERCLADA EN VERMELL LA UBICACIÓ DE L'HOSPITAL CLÍNIC.	22

IMATGE XXIII, ENCLADA EN VERMELL LA GRAN VIA DE LES CORTS CATALANES	22
IMATGE XXIV, A L'ESQUERRA I ENCLADA EN BLAU LA MASSA DE TEMPERATURES BAIXES EN LA GRAN VIA DE LES CORTS CATALANES. A LA DRETA, ENCLADA EN NEGRE LA MASSA DE VALORS NDVI DE LA GRAN VIA.	23
IMATGE XXV, ENCLAT EN NEGRE EL VALOR NDVI DE LA CIUTAT VELLA.	23
IMATGE XXVI, ENCLAT EN VERMELL PART DEL PERÍMETRE DE LA CIUTAT VELLA.	23
IMATGE XXVII, CAPTURA DE PANTALLA DE LA COMPARACIÓ ENTRE VALORS DE MITJANES EN EXCEL.	24
IMATGE XXVIII, CAPTURA DE PANTALLA DE LA COMPARACIÓ ENTRE VALORS MÀXIMS EN EXCEL.	24
IMATGE XXIX, , CAPTURA DE PANTALLA DE LA COMPARACIÓ ENTRE VALORS MÍNIMS EN EXCEL.	25

Ortofotos

ORTOFOTO I, UBICACIÓ ENCLADA DE LA TEMPERATURA MÀXIMA EN ORTOFOTO.	33
ORTOFOTO II, UBICACIÓ ENCLADA DE LA TEMPERATURA MÀXIMA EN ORTOFOTO.	34
ORTOFOTO III, UBICACIÓ ENCLADA DE LA TEMPERATURA MÍNIMA EN ORTOFOTO.	35
ORTOFOTO IV, UBICACIÓ ENCLADA DE LA TEMPERATURA MÍNIMA EN ORTOFOTO.	36
ORTOFOTO V, UBICACIÓ ENCLADA DEL VALOR NDVI MÉS ELEVAT EN ORTOFOTO.	37
ORTOFOTO VI, UBICACIÓ ENCLADA DEL VALOR NDVI MÉS ELEVAT EN ORTOFOTO.	38
ORTOFOTO VII, AMPLIACIÓ DE L'ORTOFOTO VII.	39
ORTOFOTO VIII, UBICACIÓ ENCLADA DEL VALOR MÍNIM NDVI EN ORTOFOTO.	39
ORTOFOTO IX, UBICACIÓ ENCLADA DEL VALOR MÍNIM NDVI EN ORTOFOTO.	40
ORTOFOTO X, AMPLIACIÓ DE L'ORTOFOTO VIII.	40

Composicions

COMPOSICIÓ I, UNIÓ DEL RÀSTER DE TEMPERATURES AMB ORTOFOTO. ENCLADA EN VERMELL LA POSICIÓ DE LA TEMPERATURA MÀXIMA.	33
COMPOSICIÓ II, , UNIÓ DEL RÀSTER DE TEMPERATURES AMB ORTOFOTO. ENCLADA EN VERMELL LA POSICIÓ DE LA TEMPERATURA MÀXIMA.	34
COMPOSICIÓ III, UNIÓ DEL RÀSTER DE TEMPERATURES AMB ORTOFOTO. ENCLADA EN VERMELL LA POSICIÓ DE LA TEMPERATURA MÍNIMA.	35
COMPOSICIÓ IV, UNIÓ DEL RÀSTER DE TEMPERATURES AMB ORTOFOTO. ENCLADA EN VERMELL LA POSICIÓ DE LA TEMPERATURA MÍNIMA.	36
COMPOSICIÓ V, UNIÓ DEL RÀSTER NDVI AMB ORTOFOTO. ENCLADA EN VERMELL LA POSICIÓ DEL VALOR MÀXIM.	37
COMPOSICIÓ VI, UNIÓ DEL RÀSTER NDVI AMB ORTOFOTO. ENCLADA EN VERMELL LA POSICIÓ DEL VALOR MÀXIM.	38
COMPOSICIÓ VII, UNIÓ DEL RÀSTER NDVI AMB ORTOFOTO. ENCLADA EN BLAU LA POSICIÓ DEL VALOR MÍNIM.	39
COMPOSICIÓ VIII, UNIÓ DEL RÀSTER NDVI AMB ORTOFOTO. ENCLADA EN BLAU LA POSICIÓ DEL VALOR MÍNIM.	40

Figures

FIGURA I, COMPOSICIÓ DE FOTOGRAFIES PER A LA IL·LUSTRACIÓ DE LA TEMPERATURA I MITJANA MÉS ALTES.	33
FIGURA II: COMPOSICIÓ DE FOTOGRAFIES PER A LA IL·LUSTRACIÓ DE LA SEGONA MITJANA MÉS ALTA.	34
FIGURA III: COMPOSICIÓ DE FOTOGRAFIES PER A LA IL·LUSTRACIÓ DE LA TEMPERATURA I MITJANA MÉS BAIXES.	35
FIGURA IV: COMPOSICIÓ DE FOTOGRAFIES PER A LA IL·LUSTRACIÓ DE LA SEGONA MITJANA MÉS BAIXA.	36
FIGURA V: COMPOSICIÓ DE FOTOGRAFIES PER A LA IL·LUSTRACIÓ DEL VALOR NDVI MÉS ELEVAT.	37
FIGURA VI: COMPOSICIÓ DE FOTOGRAFIES PER A LA IL·LUSTRACIÓ DE LA MITJANA NDVI MÉS ELEVADA.	38
FIGURA VII: COMPOSICIÓ DE FOTOGRAFIES PER A LA IL·LUSTRACIÓ DEL VALOR NDVI MÍNIM.	39
FIGURA VIII: COMPOSICIÓ DE FOTOGRAFIES PER A LA IL·LUSTRACIÓ DE LA MITJANA INFERIOR NDVI.	40
FIGURA IX: COMPOSICIÓ D'IMATGES PER L'ANÀLISI DE LA VARIACIÓ DE TEMPERATURA EN LA VILA UNIVERSITÀRIA.	41

Abstract

La teledetecció és una disciplina per a l'adquisició de dades de la superfície de la Terra utilitzada en molts estudis climàtics, com en el seguiment de fenòmens. L'illa de calor urbana (UHI) és un d'aquests fenòmens ambientals on la seva captació és definida també com a objectiu principal del treball. Mitjançant imatges proporcionades pel satèl·lit *Landsat-8*, es va fer una aproximació dels dos indicadors claus de la UHI, la temperatura de la superfície i de la vegetació activa, de dos entorns universitaris. Els resultats van indicar diverses diferències entre els dos espais, on la morfologia de l'àrea i la distribució de les zones verdes, van semblar influenciar considerablement a les conclusions que van destacar positivament l'abundant presència de vegetació com a element moderador tèrmic de la Universitat Autònoma de Barcelona. Desenvolupar planificacions urbanes a consciència de la preservació el medi ambient, pot proporcionar respostes d'èxit davant la mitigació de la UHI.

Paraules clau: Illa de calor urbana; teledetecció; Landsat-8; Universitat Autònoma de Barcelona; Universitat de Barcelona.

Remote sensing is known to be a discipline to acquire data from the Earth's surface, which is used in many climate studies, such as tracking phenomena. Urban heat island (UHI) is one of these environmental phenomena whose detection is also defined as the main objective of this study. By using *Landsat-8*'s images, an approximation of the two key indicators of the UHI, surface temperature and active vegetation, was made in two university environments. The results indicated several differences between the two spaces, where the morphology of the area and the distribution of the green areas, seemed to considerably influence the conclusions that positively highlighted the abundant presence of vegetation as a thermal moderating element of the Autonomous University of Barcelona. Developing urban planning with an awareness of environmental preservation, may provide successful answers to UHI mitigation.

Keywords: Urban heat island; remote sensing; Landsat-8; Autonomous University of Barcelona; University of Barcelona.

1. Introducció

EL fenomen de l'illa de calor, també conegut com la diferència de temperatura entre zones urbanes i zones rurals, és un concepte que fa relativament poc comença a ser de gran interès en els estudis ambientals. Per poder-lo estudiar, s'han desenvolupat diferents mètodes on queda inclosa la teledetecció, entesa per ser una tècnica on els sensors remots son utilitzats per recol·lectar informació de la superfície de la Terra analitzable gràcies al desenvolupament tecnològic vigent. Actualment, hi ha desenes de plataformes satel·litàries que realitzen aquesta funció com el satèl·lit *Landsat-8*, utilitzat en aquest treball juntament amb la informació proporcionada pels seus sensors en forma de bandes radiomètriques. Amb un conjunt específic d'aquestes bandes i el software *ArcGIS*, és possible calcular els dos indicadors ambientals bàsics que caracteritzen el fenomen de l'illa de calor: LST (*Land Surface Temperature*; Temperatura de la superfície de la Terra) i NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*; Índex Diferencial Normalitzat de Vegetació). Posteriorment, aplicats aquests càlculs en les àrees d'interès, és possible estimar la diferència en les temperatures i com l'entorn exerceix influència en els resultats.

2. Objectius, preguntes de recerca i hipòtesi

L'objectiu principal del treball és analitzar el fenomen ambiental de l'illa de calor en la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) i en la Universitat de Barcelona (UB), estudiant a la vegada els aspectes desiguals resultants entre ambdues. A més, aquests àmbits d'estudi geogràfics són rellevants per ser dos espais amb una població flotant important i perquè romanen molt poc explorats en la literatura acadèmica. Consegüentment, a part d'estudiar parcialment el medi ambient de dues universitats, seria un bon desenllaç contribuir en l'augment de la limitada documentació disponible en aquesta matèria. Per aquestes raons i per assolir l'objectiu, s'han elaborat una sèrie de preguntes de recerca:

- Pregunta de recerca 1: Quines són les diferències entre els dos entorns universitaris i com afecta la seva morfologia en els principals indicadors de la teledetecció?
- Pregunta de recerca 2: Des d'un punt metodològic, pot ser que aquest buit bibliogràfic sigui conseqüència de la incapacitat de quantificar l'illa de calor en escales d'anàlisi més reduïdes mitjançant la teledetecció?

Per respondre a aquestes preguntes s'han elaborat una sèrie d'hipòtesis:

- Hipòtesi 1 (pregunta de recerca 1): En primer lloc, dedueixo que la ubicació i els entorns de cada universitat són factors que si es veuran reflectits en els resultats. Per exemple, el Campus de la UAB té moltes infraestructures on es pot concentrar la calor, no obstant això, també té moltes zones verdes que poden exercir de moderadors tèrmics. Mentre que, la Universitat de Barcelona es troba en una localització on hi ha poques zones verdes detectables i envoltada d'edificis que probablement repercutiran negativament en la seva temperatura.
- Hipòtesi 2 (pregunta de recerca 2): En aquesta segona hipòtesi, tenint en compte altres estudis similars, considero realista l'estima de l'illa de calor en l'àmbit local. Addicionalment, el dèficit de documentació en aquesta qüestió aparentment és producte de la dinàmica evolució de la tecnologia en el sector de la teledetecció i la seva recent difusió respecte a altres metodologies comparables.

3. Marc teòric

3.1. Què és la teledetecció?

La teledetecció és una tècnica de recollida de dades en forma d'imatges de la superfície terrestre des de plataformes satel·litàries i altres sensors. Principalment es basa en les propietats de la radiació electromagnètica i en la seva interacció amb els materials de la superfície terrestre (Sacristán Romero, 2005). L'aplicació de la teledetecció en la recerca està relacionada amb el desenvolupament de les noves tecnologies. Així, no és estrany que els primers estudis que utilitzen les tècniques de la teledetecció s'iniciïn a la dècada de 1850 on les primeres fotografies van ser captades des d'un globus aerostàtic (Alvarez Estébanez, 1992), encara que no va ser fins al 4 d'octubre de 1957 que es va llançar el primer satèl·lit a l'espai. Per part de la Unió Soviètica, es llança el Sputnik-1, una esfera de 58 cm de diàmetre i 84 kg de pes, que transmetia senyals per ràdio amb una òrbita temporal de noranta-sis dies (Zhang et al., 2012). A partir d'aquest esdeveniment, la teledetecció ha sigut una eina metodològica de gran importància per a diferents disciplines relacionades amb l'estudi de la superfície terrestre. Un exemple d'això, ho trobem en diferents manuals de gran impacte on es reflecteix la multidisciplinarietat de la teledetecció com pot ser *An Introduction to Remote Sensing* (Campbell, J.B. and Wynne, 2011). En aquest manual concretament, es recopila informació històrica de la teledetecció, conceptes físics dels condicionants de les imatges i una extensa enumeració de les diferents aplicacions de la teledetecció, entre altres conceptes.

Des del punt de vista de la detecció remota, el píxel és l'element més petit que es pot resoldre un cop és captat i emmagatzemat. Aquests píxels que formen les imatges varien segons diversos

condicionants. El primer d'ells és la resolució espacial, és a dir, l'àrea que un píxel de la imatge representa de la superfície (Earth Observing System, 2020). Poden ser de baixa resolució, on les imatges són públiques i disponibles per a tothom, però amb poc detall (obtingudes per satèl·lits com: Terra/Aqua-MODIS, Meteosat-SEVIRI...), mitjana resolució (Landsat-MSS/TM/ETM+, CBERS-HRCC/IRMSS/MUXCAM, Deimos-1-SLIM6...) o d'alta resolució, on les imatges compten amb un gran nivell de detalls però són poc accessibles (SPOT-HRV/HRVIR/HRG, Ikonos-OSA, CBERS-HRPC/PANMUX, RapidEye...) (Hantson et al., 2011). El segon condicionant és la resolució espectral, aquest indica el nombre i l'amplada de les bandes en què el sensor és capaç de captar radiació electromagnètica. Amb combinacions específiques d'aquestes bandes multispectrals del satèl·lit, podem interpretar aspectes com la vegetació, usos del sòl o masses d'aigua (Soriano Belda, 2017). Eina també coneguda com la signatura espectral, el tercer condicionant, representant l'espectre d'emissió de cada superfície en interactuar amb la radiació. El quart factor respon a la resolució radiomètrica, la qual és la capacitat de discriminar els diferents nivells d'energia rebuda per cada píxel (Pesquer et al., 2019). La resolució angular, el següent factor, és el número i direcció d'angle en què el sensor observa l'escena. Finalment, la resolució temporal és l'interval de temps que hi ha entre dues cobertes d'una mateixa zona (Marzolf, 2017), però no s'ha de confondre amb el temps de revisita que és el mínim temps per tornar a observar una mateixa zona.

Actualment, el procés de la teledetecció és digital completament (Vivancos Martí et al., 2005): des de la captura de milers d'imatges diàries, passant pel tractament i anàlisi, fins a la distribució dels arxius. Aquest tractament se centra a corregir les possibles interferències creades en la captació amb l'ajuda del pre-processament i processament. En el pre-processament, es realitzen correccions geomètriques, radiomètriques i tractament visual, mentre que en el processament, s'estudia la resposta espectral, es realitzen classificacions de les dades i una generació d'un model digital. Tenint això en compte, distorsions derivades de modificacions en el moviment d'un satèl·lit i errors en la determinació de les coordenades de les imatges, seran corregides geomètricament en el pre-processament (Hantson et al., 2011). També en aquest, la pèrdua d'informació deguda a descalibracions o errades en els sensors presentant problemes d'interpretació, se'ls aplica una correcció radiomètrica (Rodríguez-Esparragón, 2015). Aquestes correccions, com S. Hantson et al. (2011) argumenta en l'article *Cadena de pre-procesamiento estándar para las imágenes de Landsat del Plan Nacional de Teledetección*, s'aplicaran en funció de la resolució espacial del producte. També, les condicions de captació poden provocar errors en els sensors com del bandat (*stripping*), un fenomen que implica l'aparició periòdica d'una banda més clara o fosca en comparació la resta de la imatge. Per aquesta raó, realitzant una fusió d'imatges originades en diferents satèl·lits, es poden recuperar els píxels i línies perdudes (Arenas et al., 2011). Alternativament, en el processament, es realitza l'extracció de característiques per crear diferents variables segons les propietats que presenten (Tello-Cifuentes & Díaz-Paz, 2021) i així poder estudiar amb més detall la informació que cada banda del satèl·lit ha sigut capaç de recollir.

En conseqüència, aquestes tècniques de pre-processament i processament considerades com a fundamentals segons J. G. Liu & P. J. Manson (2016) (Liu & Mason, 2016), en el seu llibre *Image Processing and GIS for Remote Sensing*, poden ser utilitzades en variats àmbits de la teledetecció de forma eficient. I com en aquesta bibliografia s'explica, el propòsit d'aquestes tècniques no és crear una estricta metodologia a seguir, sinó, donar peu a la reflexió i planificació personal per obtenir processos alternatius específics a cada aplicació i estudi.

Finalment, la distribució dels productes generats per satèl·lits poden trobar-se en dues estructures: 1) Estructura ràster, on la imatge digital s'emmagatzema com una seqüència de valors. En alguns casos, com el del format ràster *.tif*, es considera com l'arxiu d'imatge estàndard en la matèria dels sistemes d'informació geogràfica (SIG) i en les aplicacions de teledetecció. I 2) Estructura vectorial que representa la component espacial de la informació com a punt, línia o polígon, on es troben formats d'arxiu com el *.shp* (*Shapefile*) el més utilitzat entre la comunitat SIG dins dels arxius vectorials.

En tots dos casos, els fitxers seran acompanyats per un altre amb el nom de *metadades*. Un arxiu que descriu els continguts dels materials utilitzats com per exemple la data de captació, la resolució de les imatges, els sistemes de referència, satèl·lit de captació, entre altres. (Morales, A. (2015); Pesquer et al., 2021).

3.2. L'aplicació de la teledetecció en estudis mediambientals

La teledetecció ha comportat una revolució en el camp dels estudis mediambientals, ja que un cop els sensors multispectrals van ser instal·lats en els satèl·lits, proporcionaren grans quantitats d'informació emmarcades també dins d'aquest àmbit. Temàtiques completament relacionades amb el canvi climàtic, el monitoratge de cultius, o l'arqueologia entre d'altres (Fundación Conama, 2016). En treballs com el de Gómez Lopera (2005), es destaca la importància que les zones verdes suposen en les àrees urbanes que a part de complir funcions recreatives, turístiques o paisatgístiques, també milloren les condicions climàtiques de la ciutat i estan lligades al benestar dels ciutadans. I encara que no utilitza la teledetecció, sinó dades de la temperatura per augmentar la seva tesi, serveix per mostrar un exemple de l'interès que hi ha en cuidar el medi ambient en les bibliografies. Relacionat amb aquest interès ambiental, trobem l'estudi de Sacristán Romero (2006), el qual explica, des d'un punt de vista més general, la importància de la teledetecció com a eina per estudiar i protegir el medi ambient. En aquest document anomenat *La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental* (2005) (Sacristán Romero, 2005), a part d'explicar els diferents satèl·lits destinats a aquesta funció, descriu el procés d'integració de la informació en les bases de dades mediambientals. Les quals són utilitzades per la gestió de les aplicacions operacionals de la teledetecció en àmbits ambientals com en la detecció de fenòmens naturals.

D'altra banda, existeixen àmbits més específics on l'aplicació de la teledetecció és important. És el cas de la gestió forestal, la gestió i qualitat de l'aigua, la qualitat ambiental o els canvis d'usos del sòl (Chuvieco Salinero, 2009; Ritchie et al., 2003). Amb relació al primer, Chuvieco Salinero (2009) remarca la importància d'aplicacions operacionals relacionades amb els incendis forestals i amb la teledetecció que Sacristán Romero va plantejar en el seu estudi, on es dona a entendre que en l'àmbit de la gestió forestal hi manquen missions de teledetecció a llarg termini. Els autors remarquen que aquestes missions podrien garantir una cobertura permanent de la superfície terrestre generant dades amb gran interès ambiental pel seguiment d'incendis i els seus impactes. També, mitjançant la teledetecció, Chuvieco avalua els mals potencials que el foc ocasiona considerant factors ecològic-paisatgístics i socioeconòmics, els quals també seran utilitzats per Batista & X. Bustos (2009) (De et al., 2009) per estudiar la vulnerabilitat urbana de Veneçuela recurrent als sistemes d'informació geogràfica i teledetecció.

Com a resultat del desig d'estudiar la qualitat del medi ambient utilitzant la teledetecció, no és d'estranyar que sigui necessària la combinació de productes originats en satèl·lits de diferents resolucions per extreure noves conclusions. Unions d'aquest caràcter són el cas de l'estudi *Remote Sensing Techniques to Assess Water Quality* (Ritchie et al., 2003). Utilitzant la informació òptica i tèrmica proporcionada pels satèl·lits *Landsat* i *RapidEye*, juntament amb altres sensors ubicats en vaixells i avions, s'avalua la qualitat de l'aigua gràcies a les combinacions entre resolucions espacials i temporals de les imatges satel·litàries. Per tant, es tracta d'un estudi amb objectiu de monitorar canvis dels sediments en aigua, la clorofil·la, les plantes vasculars aquàtiques i temperatura, elements d'especial rellevància ecològica. En aquesta línia, Rodríguez López et al. (2015), també utilitza la combinació d'imatges de *Landsat* i *RapidEye* per estudiar qualitativament el medi, més concretament els usos del sòl rural-urbà en la ciutat de Mèxic. Anàlogament a l'estudi de Ritchie et al. (2013), a part de fixar-se en les bandes espectrals de les imatges, es presta una especial atenció en realitzar composicions d'imatges per cobrir multitemporalment les àrees d'interès de l'estudi. Finalment, realitzen una innovadora combinació entre aquestes tècniques de teledetecció amb les dades referents a les denúncies ambientals dels ciutadans davant l'organisme públic mexicà PAOT (*Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial*). Un altre exemple de l'aplicació de la teledetecció per detectar l'evolució d'un territori al llarg del temps és l'anàlisi del creixement d'àrees metropolitanes i els canvis en entorns urbans (Howarth & Boasson, 1983; Urbano et al., 2007). En estudis d'aquest estil, és freqüent trobar-se amb l'aplicació d'uns indicadors ambientals. Aquests són paràmetres calculats matemàticament que expressen l'estat del medi ambient i factors més concrets depenent de l'índex utilitzat. Són compaginables entre ells i alguns autors els combinen en les seves recerques. Simultàniament, com es pot comprovar en la *Taula I*, diversos indicadors són utilitzats en una mateixa investigacions (Rodríguez et al., 2010; Soriano Belda, 2017; Tello-Cifuentes & Díaz-Paz, 2021).

Taula I. Fórmules dels indicadors ambientals utilitzats pels autors Rodríguez *et al.*, Tello-Cifuentes i Díaz-Paz; Sorriano-Belda.

Autor que l'utilitza	Indicador	Fórmula
Rodríguez <i>et al.</i> Tello-Cifuentes i Díaz-Paz	Temperatura de la superfície: TS	$TS = \left(\frac{TL}{1 + \left(\frac{\lambda \cdot TL}{\rho} \right) \cdot \ln \epsilon} \right)$
Rodríguez <i>et al.</i>	Fracció de vegetació FV	$f_v = \frac{1 - (NDVI_{max} - NDVI)}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})}$
Rodríguez <i>et al.</i> Tello-Cifuentes i Díaz-Paz	Índex de vegetació normalitzat NDVI	$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$
Tello-Cifuentes i Díaz-Paz	Índex de diferència normalitzada de l'aigua NDWI	$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$
Rodríguez <i>et al.</i>	Índex de contingut d'aigua en les fulles LWCI	$LWCI = \frac{\log(1 - (NIR - SWIR))}{-\log(1 - (NIR - SWIR))}$
Rodríguez <i>et al.</i> Tello-Cifuentes i Díaz-Paz	Índex normalitzat del sòl NSI	$NSI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$
Rodríguez <i>et al.</i>	Índex de vegetació ajustada al sòl SAVI	$SAVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red + L} (1 + L)$
Tello-Cifuentes i Díaz-Paz	Índex de vegetació ajustada al sòl transformat TSAVI	$TSAVI = \frac{B(NIR - B \cdot R - A)}{RED + B(NIR - A) + X(1 + B^2)}$
Sorriano-Belda	-	$Sverde (\%) = \frac{\text{superfície verda}}{\text{nombre habitants}}$
Sorriano-Belda	-	$pVerde (\%) = \frac{\text{població coberta}}{\text{població total}}$

Font: Elaboració pròpia

Bases de dades com *IDB - Index DataBase*, desenvolupada per la Universitat de Bonn en Alemanya, comparteix més de 500 indicadors dissenyats específicament per ser aplicats amb la detecció remota. Arran de les infinites combinacions entre aquests índexs ambientals, es presta l'oportunitat d'aplicar-los en investigacions amb temàtiques de summa importància. Com per exemple, combatre el canvi climàtic, estudiar noves planificacions urbanes tenint en compte la sostenibilitat i analitzar àrees més concretes com els nuclis urbans en més profunditat enfocant-se en fenòmens ambientals de gran repercussió social com les illes de calor.

3.3. Illes de calor i bibliografia relacionada

A causa de diversos problemes com el canvi climàtic i la seva repercussió a les ciutats, una de les temàtiques de més actualitat en els estudis ambientals són les illes de calor. Al llarg del temps, s'han

desenvolupat diferents tècniques per estudiar-les, però, no va ser fins al 1972 que es va utilitzar la teledetecció amb aquest propòsit (Rao, 1972).

L'efecte de l'illa de calor, també conegut com a UHI (Urban Heat Island), apareix quan la temperatura de les zones urbanes és major a la de les àrees rurals més properes, existint una dificultat de dissipar aquesta calor durant les hores nocturnes. Hores en les quals la temperatura hauria de descendir, però a vegades, es manté elevada a conseqüència de l'expulsió de l'energia que els materials i elements de les edificacions dels nuclis urbans han absorbit durant el dia. Aquestes diferències tèrmiques presenten un caràcter periòdic a escala mundial, atribut captat en estudis com el de la ciutat d'Ubatuba en Brasil (Olcina Cantos et al., 2016) on és possible quantificar l'illa de calor en un màxim de 11 °C entre zones edificades del centre de la ciutat amb les zones rurals veïnes resguardades entre la serra i el mar.

Al mateix temps, el fenomen presenta la particularitat d'augmentar la seva manifestació de forma horitzontal juntament amb la grandària de la ciutat i el seu nombre d'habitants (Serra Pardo, 2015). On zones com el centre de la ciutat, grans fàbriques i centrals elèctriques presenten un alt potencial per a la seva aparició. En el que respecta a l'estructura vertical, com a norma general sorgeix a 200-300 m sobre el terra encara que, en un dia clar pot arribar fins als 500 m. En aparèixer, es pot diferenciar la capa inferior (*urban canopy layer*) corresponent a la calor emès domèstic (cases, edificis i transport) i la capa superior (*chimney layer*), col·locada per sobre de la capa inferior i originada per alts transmissors de calor com són les xemeneies instal·lades en centrals elèctriques (Wypych & Bokwa, 2004).

Les causes de l'aparició de l'illa de calor estan relacionades amb la tipologia urbana i els materials de construcció. En primer lloc, la falta de corrent d'aire refrigerador efecte de les interminables files d'edificis que obstaculitzen la seva circulació, i en segon lloc, els materials foscos com l'asfalt, el ciment dels carrers o el de les teulades de les cases (O'Malley et al., 2015). Endemés, la demanda energètica és declarada també com a causa de preocupació. D'entrada, l'ús intensificat de sistemes de refrigeració/calefacció en períodes de temperatures més extremes, que de forma contradictòria, generen una calor extra en la ciutat. També el turisme en les ciutats es relaciona amb aquesta demanda extra d'energia (Serra Pardo, 2015) i amb tenir efecte en el fenomen. Com Serra Pardo (2015) confirma en el seu estudi de comparació de la UHI entre les ciutats d'Eivissa i de Lloret de Mar, aquelles zones de la ciutat considerades com a turístiques, subtilment mostren exercir influència en l'illa de calor, parant esment en la tipologia urbana que presenten. Finalment, la contaminació de l'aire i les emissions de gasos d'efecte hivernacle són factors interessants a tenir en compte. La UHI, té efectes negatius en el medi ambient i en la salut. Amb relació als efectes ambientals, trobem l'augment de les onades de calor i canvis en el clima urbà com la reducció de gelades durant l'any, l'augment de la temperatura durant els dies, períodes de vegetació més llargs, increment total de precipitacions, degradació en la qualitat de l'aigua i el canvi climàtic, entre altres. Sobre els efectes a la salut, destaquen l'augment de la mortalitat i l'augment de malalties de tipus cardiovasculars i respiratòries com l'asma (McCartney & Mehta, 2020).

Així i tot, es poden prendre algunes mesures per combatre i mitigar aquest fenomen. L'acció fonamental per evitar la UHI és la protecció i augment dels espais verds, millorant també la qualitat de la vegetació de les ciutats. Apareixent el concepte de les illes fresques on parcs urbans, jardins i avingudes arbrades són elements que tenen alt poder refrescant. Per exemple, García-Haro et al. (García-Haro et al., 2019), realitzà un estudi per quantificar l'efecte de refredament dels parcs urbans de Barcelona i les seves variacions estacionals mitjançant la teledetecció. Fins i tot, defineix el comportament microclimàtic d'aquestes en el context de la ciutat i mostra com el disseny i la ubicació tenen una significant relació. Altres mesures de mitigació són l'ús d'altre tipus de materials en la construcció que siguin permeables i de colors més clars (com la iniciativa presa l'any 2018 en la ciutat de Los Angeles, Estats Units, de pintar els carrers de color blanc). Finalment, una altra mesura és la planificació dels futurs projectes urbans tenint en compte totes aquestes recomanacions. En aquest context, O'Malley, et al. (O'Malley et al., 2015), en 2015 realitzen un estudi anomenat *Urban Heat Island (UHI) mitigating strategies: A case-based comparative analysis* on s'estableixen estratègies de mitigació de la UHI i s'estudia la seva eficàcia i resistència, a part de proporcionar suport a les futures planificacions amb voluntat d'implementar aquestes estratègies. Estudis com aquest aporten valors de compromís i responsabilitat amb el medi ambient a més de complementar anàlisis en àmbits no tan estudiats que resulten de gran importància per afrontar reptes com l'assumpció del pes que una població flotant significativa pot representar pels campus universitaris.

3.4. Les illes de calor en espais universitaris

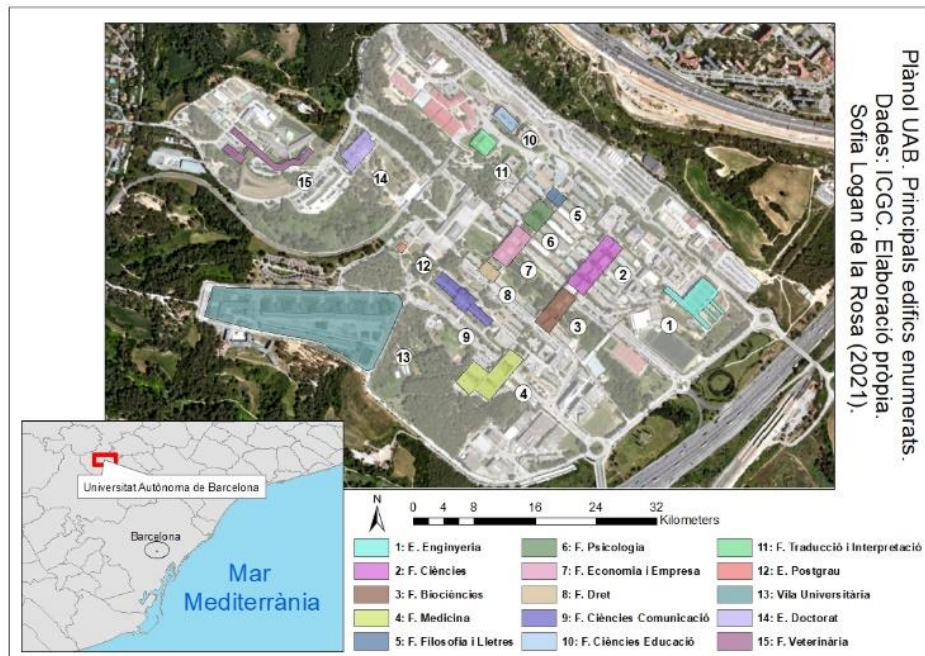
Si bé els estudis sobre la configuració d'illes de calor en àmbits urbans són de gran interès, no succeeix el mateix en àmbits universitaris, ja que en aquest roman un buit en la bibliografia, amb algunes excepcions (Aragoneses de la Rubia, 2020). Les universitats són institucions educatives on existeix una interacció quotidiana entre estudiants, docents i treballadors i, en conseqüència, aquestes tendeixen a ubicar-se en les ciutats on la vida urbana es troba totalment relacionada amb elles. Malgrat això, algunes universitats també es localitzen en altres zones més perifèriques debut a un menor preu del sòl, un millor accés pels estudiants i disponibilitat per expandir-se urbanísticament (edificis i zones verdes) (Torres Tovar, 2011). Malgrat que les universitats i els campus universitaris generen beneficis a la societat, també comporten costos com els ambientals, relacionats amb la configuració pròpia dels edificis o per la presència de vehicles motoritzats utilitzats per la seva població considerada com a flotant. Per aquestes raons, l'estudi de la possible configuració d'illes de calor en àmbits universitaris i les seves conseqüències és un objecte d'estudi de gran importància en l'ordenació del territori.

En l'àmbit nacional, els estudis d'illes de calor en campus universitaris s'han centrat, principalment, en la Universitat Autònoma de Madrid (UAM) (Aragoneses de la Rubia, 2020). Amb l'objectiu de determinar la influència de la ciutat de Madrid en l'UHI del campus de la UAM, mitjançant la teledetecció, és possible trobar similituds entre el comportament tèrmic de la universitat amb el comportament de les zones rurals properes. Aquest estudi a més, presenta una innovadora metodologia on són combinades imatges de satèl·lit comunes amb imatges nocturnes extreïdes d'una missió de caràcter inusual per analitzar-les seguidament. D'aquesta manera, es prenen com a referència quatre signatures espectrals repartides per la ciutat amb objectiu d'avaluar diferents cobertes del sòl i identificar quina representa millor les característiques del campus universitari. En conseqüència, l'autora troba aquests aspectes en comú en cobertes de baixa urbanització que presenten elements moderadors tèrmics com la densitat vegetal. Per aquest motiu, es pot afirmar que la superfície ocupada pels espais verds del campus tenen un poder regulador en la temperatura que dificulta a la ciutat tenir efecte tèrmic en ell. Tanmateix, si són detectades petites variacions tèrmiques, depenen dels materials de construcció i dels usos del sòl de la UAM.

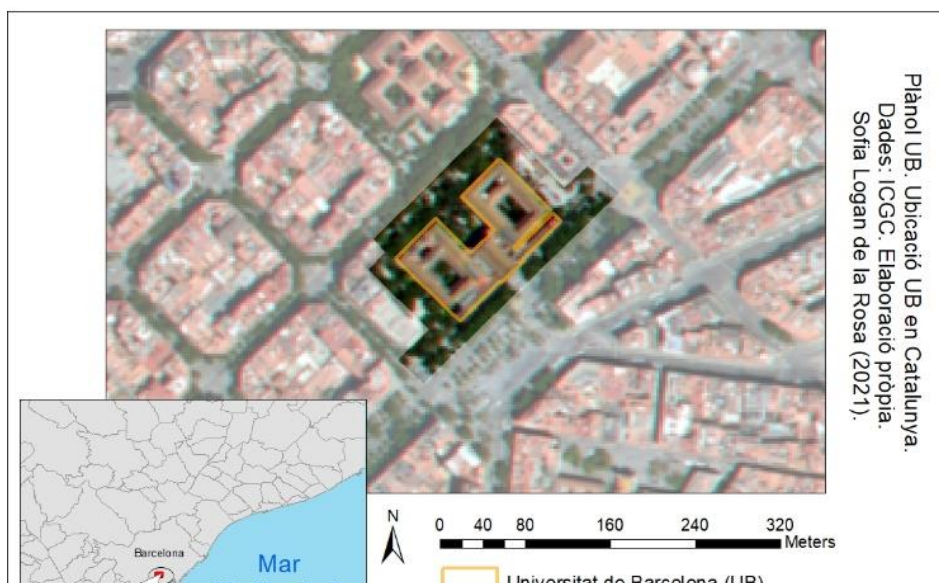
Tot i això, aquests estudis mitjançant la teledetecció també s'han desenvolupat en altres universitats estrangeres. En el cas de la King Abdulaziz University (KAU), a Jeddah (Arabia Saudita) i en la ciutat d'Oregon (Estats Units). En relació amb la primera, l'estudi estima la LST durant les estacions d'estiu i hivern entre 2014 i 2019, amb objectiu de demostrar la relació tèrmica de les temperatures amb els usos del sòl del campus (Addas et al., 2020). Els resultats d'aquest estudi mostren una diferència de 7 a 9 °C entre superfícies verdes i les cobertes del sòl edificades. Aquest augment de LST, a més, està relacionat amb les conversions de les superfícies verdes naturals a superfícies edificades artificials. El segon cas, en la ciutat d'Oregon, concretament en la *Portland State University* (Taleghani et al., 2014) es fa un estudi on s'utilitza la sensòrica i el *software* de simulació de temperatures *ENVI-met* amb objectiu d'analitzar tèrmicament l'efecte de les illes fresques de la universitat. Els sensors prenen mostres de la temperatura i humitat de l'aire des de set localitzacions claus i seguidament, les dades s'envien al *software* per simular el comportament tèrmic del campus. S'obtenen resultats que mostren diferències de 5.8 °C entre zones d'illes fresques com un parc i zones de materials foscos com un aparcament. Alternativament, es mostra com zones d'aigua i vegetació tenen capacitat de reduir 1,6 °C i 1,1 °C la temperatura de l'aire (T_a) per zones similars a l'aparcament. Per últim, l'estudi conclou estudiant els efectes dels materials amb alts percentatges d'albedo, un indicador que descriu la proporció de radiació reflectida en una superfície respecte a la radiació que incideix sobre aquesta. Els resultats mostren com els materials amb valors d'albedo elevats, no obstant augmentar la temperatura radiant mitjana (T_{mrt}), són capaços de reduir la T_a gràcies a la seva capacitat de reflectir la llum evitant absorbir-la.

4. Cas d'estudi

Les àrees d'estudi són el campus de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) (*Mapa I*) i la Universitat de Barcelona (UB) (*Mapa II*) ubicades en les coordenades $41^{\circ}30'06.9''$ N $2^{\circ}06'15.5''$ E i $41^{\circ}23'13.3''$ N $2^{\circ}09'48.3''$ E, respectivament. Les dues es localitzen en la província de Barcelona (Catalunya), però la primera es troba en la comarca del Vallès Occidental, en el municipi de Cerdanyola del Vallès, i la segona en la comarca del Barcelonès, en el centre de la ciutat.



Mapa I, UAB: Plànol dels principals edificis del campus i la ubicació en Catalunya. Font: Elaboració pròpia. Dades extretes de ICGC (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya)



Mapa II, UB: Plànol de l'edifici principal delimitat i la seva ubicació en Catalunya. Font: Elaboració pròpia, dades extretes de ICGC.

Finalment i encara que sigui de manera més secundària, la zona d'estudi també compren l'àrea del voltant d'aquestes institucions. Mitjançant l'eina MyMaps oferida per Google, es pot veure en les *imatges I i II* aquestes àrees i les seves morfologies en un radi de 500 m. Per tant, a l'esquerra de la *imatge I* i *imatge II* es mostra la zona al voltant la Universitat Autònoma de Barcelona a 500 m i alguns dels seus punts d'interès. Aquest primer radi està compost en gran part per zones verdes, encara que, també hi corresponen segments d'algunes carreteres dels municipis veïns com Bellaterra i Cerdanyola, juntament amb una petita part de l'autopista C-58 i AP-7. L'autopista C-58, es tracta d'una carretera també coneguda com l'autopista del Vallès i és un accés a Barcelona des del nord-est de l'àrea metropolitana. La segona autopista, AP-7, també coneguda com l'autopista del Mediterrani, és un eix que comunica tota la costa mediterrània espanyola des de la frontera amb França fins a la ciutat de Guadiaro (a Càdiz, Andalusia). A la dreta de la *imatge I* i *imatge II*, en canvi, es mostra l'àrea al voltant de la Universitat de Barcelona a 500 m de radi i algun dels seus punts d'interès. Aquesta àrea compren una part de la ciutat de Barcelona on les zones verdes no són identificables a simple vista. El que sí que es pot identificar fàcilment és el tramata urbà, part del projecte d'eixample de l'enginyer Ildefons Cerdà. Aquest pla era una proposta urbanística on es contemplaven nombrosos jardins arreu de les edificacions, carrers amb molta amplada per aprofitar la llum i facilitar la ventilació de les cases i poca edificació per cada "mansana", que és l'espai urbà delimitat pels carrers que l'envolten (terme proposat per ell mateix encara que no prové del diccionari normatiu català). Malauradament, aquest projecte no va prosperar com s'esperava i moltes de les indicacions de Cerdà no van ser complides, ja que com es pot observar en la imatge, es van aixecar edificis allà on hi havia d'haver parcs i jardins. Alternativament, aquest radi també conté una petita part de la Ciutat Vella de Barcelona. La Ciutat Vella es caracteritza pels seus carrers uniformes, estrets i desendreçats que eren envoltats per una muralla romana. Aquesta va ser enderrocada posteriorment pel sobtant creixement de la població que la ciutat va començar a experimentar en el segle XII. (Celon et al., 1972)



Imatge I, a l'esquerra, radi de 500 m al voltant de la UAB. A la dreta, radi de 500 m al voltant de la UB.



Imatge II, a l'esquerra, alguns punts d'interès de la UAB. A la dreta, alguns punts d'interès de la UB.

5. Materials i metodologia

5.1. Fonts de dades

Les imatges de satèl·lit s'han obtingut de la font secundària *EarthExplorer*, un portal proporcionat per l'organització *The United States Geological Survey* (USGS, n.d) del qual són descarregades un total de vuit imatges captades mitjançant els sensors *OLI* i *TIRS* del satèl·lit de l'agència espacial *NASA*, *Landsat-8*. El sensor *OLI*, caracteritzat per tenir una resolució espacial de 30 metres, detecta la informació corresponent a les primeres nou bandes radiomètriques, en canvi, les bandes deu i onze són captades amb el sensor *TIRS*, ja que corresponen als infrarojos tèrmics de les imatges amb una resolució espacial de 100 metres. Addicionalment, aquestes imatges presenten la característica de pertànyer a la "col·lecció 2 nivell 2" de *Landsat-8*. Un aspecte que les determinaria adequades per aquest treball, ja que correspondre a la "col·lecció 2" significa que el conjunt de dades ha sigut corregit abans de ser publicat i que també presenta una millora en la precisió de la geolocalització. Per altra part, la nomenclatura "nivell 2", expressa que les imatges han sigut processades per generar imatges més clares i nítides (un cop la influència de la presència atmosfèrica és corregida).

Seguidament, la multitemporalitat a l'hora d'estudiar un fenomen ambiental vinculat a la variabilitat de la temperatura es considera important i per aquest motiu, les imatges són descarregades en diversos moments dels anys 2015 i 2020. En concret, es busquen imatges captades durant l'estiu i l'hivern on les temperatures són més extremes. No obstant això, el temps de revisita dels satèl·lits, té molta influència en la quantitat de productes disponibles. En el cas de *Landsat-8*, es tracta d'un temps de revisita de setze dies on no totes les captacions presenten una resolució útil (lliure de núvols i artefactes), el que provoca irregularitat temporal en el set d'imatges descarregat. En aquest sentit: Per l'hivern 2015 les dates de les dades descarregades corresponen als dies 31/12/14 i 12/03/15 i les de l'estiu corresponen al 25/06/2015 i 31/08/2015. Alternativament, per l'hivern de 2020 les dates de les imatges pertanyen als dies 05/01/2020 i 22/02/2020 i les d'estiu a 08/07/2020 i 10/09/2020.

Els productes són descarregats en forma de carpeta on s'ofereix un total de vint-i-set arxius amb formats *.tif* per les bandes radiomètriques, *.txt* per les metadades (amb descripcions sobre les bandes i imatges i *.jpeg* i *.json* per altres funcions. Finalment com a resultat de les descàrregues, és possible començar amb el càlcul de la UHI en les universitats i com es mostra en la bibliografia, aquest es pot efectuar recurrent a diferents mètodes. En aquest treball particularment, l'estimació és mitjançant el software d'*ArcMap* (ESRI, 2012) i seguint la metodologia descrita en l'article de U. Avdan i G. Jovanovska (2016) (Avdan & Jovanovska, 2016) on es calculen la temperatura de la superfície *LST* i l'índex ambiental de vegetació *NDVI*, en funció del temps.

5.2. Metodologia

Producte de recerca bibliogràfica (U. Avdan & G. Jovanovska, 2016), es decideix que per l'estudi d'aquest fenomen, seria convenient mitjançant imatges de satèl·lit estimar la temperatura de la superfície de l'àrea d'interès i la seva quantitat de vegetació activa. Aquests dos càlculs corresponen a dos indicadors ambientals propis de la disciplina de la teledetecció, on tenen les seves operacions preestablertes i són anomenats *LST* (*Land Surface Temperature*, temperatura de la superfície terrestre) i *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*, índex de vegetació normalitzat) respectivament. Similarment, per reforçar l'estudi, els càlculs es repeteixen en diferents dates i anys per analitzar la variació de les característiques examinades en funció del temps.

Resumint d'una manera més visual el desenvolupament de la metodologia (repetit en cada data seleccionada):

1. Càlcul de l'índex de vegetació normalitzada (NDVI).
2. Càlcul de temperatura de la superfície (LST).
3. Contrastar els càlculs dels índexs ambientals i analitzar la relació entre ells estadísticament.
4. Localitzar i quantificar el fenomen de l'illa de calor en els dos escenaris.

Pel desenvolupament de les dues primeres passes de la metodologia, s'apliquen un total de sis càlculs realitzats amb *ArcMap* i la seva eina *Raster Calculator* (en el menú d'*ArcToolbox* del programa, hi ha un apartat anomenat *Spatial Analyst Tools* que proporciona entre d'altres, dins de *Map Algebra*

l'eina de *Raster Calculator*). Cadascun d'aquests càlculs es guarda com a fitxer Ràster (matriu de píxels).

El primer càlcul consisteix a buscar la signatura espectral en la part superior de l'atmosfera (TOA),

$$TOA (L) = ML * Banda 10 + AL$$

on ML i AL (3.3420E -04 i 0,1) corresponen a paràmetres que s'han de buscar en els fitxers de metadades i "Banda 10" correspon al mateix fitxer de la banda radiomètrica deu. Després, es fa una conversió de TOA a BT (la temperatura de radiació, *Brightness Temperature*):

$$BT = (K2 / (\ln (K1/L) + 1)) - 273,15$$

on K1 i K2 (774,8853 i 1321,0789) són constants específiques per conversions tèrmiques, L correspon a TOA i el nombre "-273,15", s'afegeix per ajustar la temperatura i obtenir graus Celsius.

El següent càlcul és l'indicador NDVI, calculat amb el quocient de dues operacions entre les bandes quatre i cinc de les imatges (bandes que corresponen al color vermell i a l'infraroig proper):

$$NDVI = (Banda 5 - Banda 4) / (Banda 5 + Banda 4)$$

Seguidament, es calcula la proporció de vegetació P_v :

$$P_v = \text{Square} ((NDVI + NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} + NDVI_{\min}))$$

en aquest càlcul, es fa el quadrat del quocient entre diferències dels resultats de l'índex d'NDVI anteriorment calculat. A més, és d'utilitat pel següent càlcul, l'emissivitat (ϵ):

$$\epsilon = 0,004 * P_v + 0,986$$

i es tracta de la proporció de radiació tèrmica emesa per una superfície (García-Haro et al., 2019), també expressada en la *Taula 1*.

Finalment, per obtenir la temperatura de la superfície:

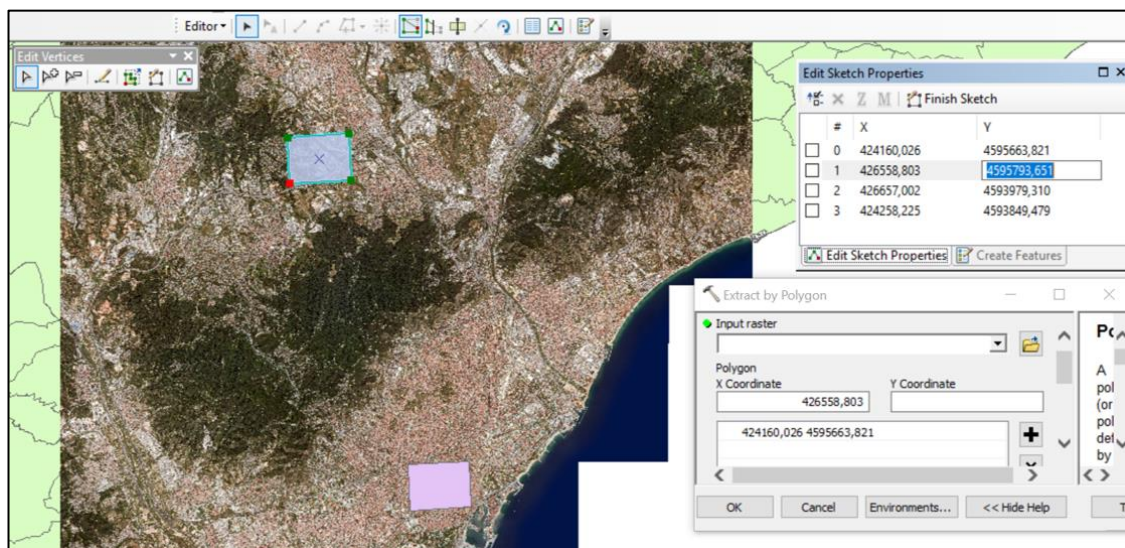
$$LST = (BT / (1 + (0,0010895 * BT / 1,4388) * \ln(\epsilon)))$$

en aquesta última operació, apareixen alguns dels càlculs anteriors (BT i ϵ) i altres paràmetres estudiats en l'article de referència *Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data* (Avdan & Jovanovska, 2016).

En conclusió, s'obté el valor de la temperatura de la superfície i de l'NDVI, mitjançant diferents càlculs utilitzant la banda del vermell (banda radiomètrica 4), la de l'infraroig proper (banda 5) i la de l'infraroig tèrmic (banda 10). Els càlculs seran repetits en la resta d'imatges descarregades amb l'objectiu d'obtenir els mateixos resultats en els moments temporals assenyalats.

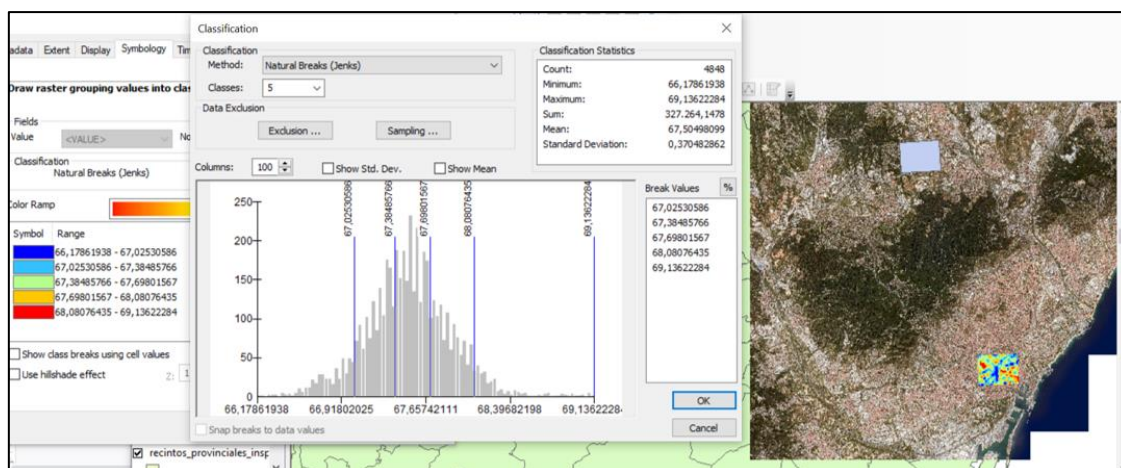
Per continuar amb el següent pas de la metodologia (contrastar els càlculs dels índexs ambientals i analitzar la relació entre ells estadísticament), abans de tot, s'ha de fer una aproximació més detallada de l'àrea d'estudi, ja que la imatge descarregada cobreix una àrea massa extensa (de 170 km x 185 km). Per dur a terme aquesta aproximació, novament en *ArcMap* dins de la pestanya *Spatial Analyst Tools* en el menú d'*ArcToolbox*, es troba l'eina *Extract by Polygon*. Es tracta d'una operació on es demanen les coordenades del polígon que es vol reproduir, en aquest cas, es voldran reproduir dos: un per la Universitat Autònoma de Barcelona i l'altre per la Universitat de Barcelona.

Com es veu en la *imatge III*, un cop creats els polígons que limiten quina és l'àrea a extreure, s'afegeixen les seves coordenades (cantonada dreta superior de la *imatge III*) a la pestanya d'extracció per polígon (cantonada dreta inferior). Aquest procés s'haurà de repetir en cada ràster que contingui la informació sobre NDVI i LST dels càlculs anteriors.



Imatge III, funcionament de l'eina "Extract by Polygon".

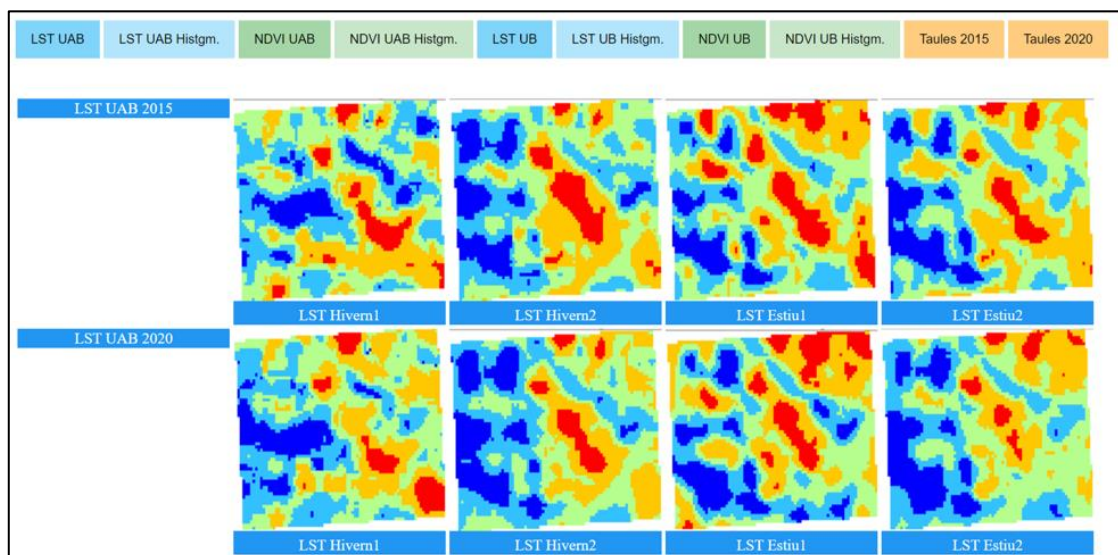
Per concloure amb el tercer pas i poder estudiar els resultats més endavant, en primer lloc, serà necessari crear histogrammes que descriguin estadísticament la informació que ofereix cada píxel de cada un dels vuit ràsters. Aquests histogrammes seran generats en la pestanya de *Simbology* un cop s'ha definit com serà la representació del ràster. En aquest treball, s'aplica una simbolització per rampa de color dividida en cinc classes. Com es pot observar en la *imatge IV*, a l'esquerra es troben les cinc classes delimitades pels valors dels píxels, al mig es troba l'histograma generat (en l'eix X, tots els possibles valors de píxel, afegint en línies blaves els límits de cada classe. En l'eix Y, la freqüència de píxels que correspon a cada valor de X). I a la dreta mostrada d'una forma més gràfica, com seria una escena més global i com es veuria el ràster extret amb simbolització.



Imatge IV, creació dels histogrammes.

Finalment, per contrastar els càlculs, localitzar i quantificar el fenomen de l'illa de calor, s'ha desenvolupat un codi en llenguatge de programació HTML per simular una petita pàgina web que faciliti la tasca de comparar entre totes les imatges resultat. La comparació s'ha fet mitjançant vuit classificacions, que anticipadament, poden resultar una mica enrevessades i és per aquest motiu que mitjançant l'arxiu HTML s'ha intentat aclarir el contingut i facilitar aquesta tasca més analítica. En conseqüència, el contingut d'aquesta pàgina web es basa en vuit botons. Al clicar un d'aquests botons, es mostraran en pantalla vuit imatges compilades per categoria.

Com es mostra en la *imatge V*, en la part superior de la interfície web, es troben els vuit botons que es podrien considerar com el navegador, dividits per universitat (UAB o UB), indicador ambiental (NDVI o LST) i histograma (de cada indicador). Les vuit imatges que es mostren estan dividides a més temporalment, les quatre primeres, corresponen a l'any 2015 i les quatre últimes a l'any 2020 qual cosa també es podria interpretar debut al petit títol a l'esquerra de les imatges que també fa aquest aclariment. Sota de cada imatge s'afegeix un altre títol que indica el moment temporal d'aquestes: principis d'hivern (Hivern1), finals d'hivern (Hivern2), principis d'estiu (Estiu1), finals d'estiu (Estiu2).



Imatge V, exemple de la interfície de l'HTML.

6. Resultats

Un cop obtinguts els resultats dels càlculs per l'aproximació de l'efecte de l'illa de calor, s'estudiaran les imatges i els seus respectius histogrames fent un seguit de descripcions.

6.1. Preparació de les taules

Per donar lloc a aquestes descripcions, primer s'han extrapolat i resumit en taules les dades dels histogrames, localitzables en les pestanyes "Histgrm" de la pàgina web. Aquestes dades apareixen en una petita finestra sobre del mateix gràfic anomenada *Classification Statistics*, on es recopila estadísticament la informació.

Les taules generades (*Taula 2: Conjunt de taules dels histogrames del 2015. (Annex), Taula 3: Conjunt de taules dels histogrames del 2020. (Annex)*) també es poden visualitzar en la pàgina HTML i en les pestanyes "Taules 2015" o "Taules 2020". En total hi ha quatre taules per any que segueixen el mateix ordre intern: En la capçalera i en primera posició es troba el nom de l'estació (que pot ser: Hivern1 = Principis d'hivern, Hivern2= Finals Hivern, Estiu1 = Principis d'Estiu i Estiu2= Finals Estiu). Després, en les següents posicions per ordre: LSTmax = Temperatura de la superfície màxima, LSTmin = Temperatura de la superfície mínima, M.LST = Mitjana de la temperatura de la superfície, NDVI_{max} = Índex Diferencial Normalitzat de Vegetació màxim, NDVI_{min} = Índex Diferencial Normalitzat de Vegetació mínim i M.NDVI = Mitjana de l'Índex Diferencial Normalitzat de Vegetació. Com anotació en analitzar les dades, s'ha observat que en general, els valors dels extrems de les temperatures (LSTmax i LSTmin) juntament amb NDVI_{max} són *outliers*. En altres paraules, es tracta de valors excepcionalment allunyats del centre que no representen la realitat del conjunt de les dades. Per aquest motiu les taules també compten amb els valors mitjans (M.LST i M.NDVI) que sí que s'apropen més a aquesta realitat.

6.2. Descripció numèrica

Amb les dades classificades, es descriuen a continuació els valors més distingits dels histogrames i la seva ubicació en les imatges:

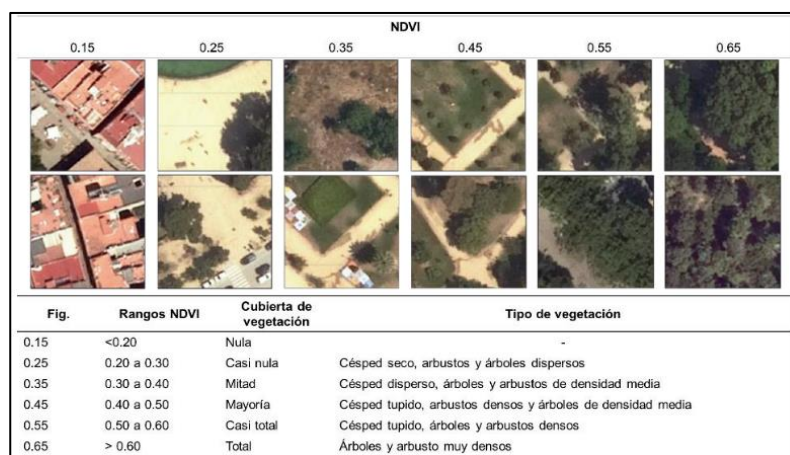
1. En relació a les temperatures: La temperatura més elevada del set d'imatges s'ubica en el ràster de la UAB de finals d'estiu del 2015 amb un valor de 73,14 °C i amb mitjana de 68,38 °C, també la més elevada de tot el set. Observant les imatges que componen la *Figura I: Composició de fotografies per a la il·lustració de la temperatura i mitjana més altes*. (Annex): En la imatge VI es troba el píxel en color negre al qual correspon aquesta màxima temperatura. En l'ortofoto I (fotografia àrea trobada en el Vissir del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC, 2015)) i composició I, es pot determinar que correspon a la coberta de l'IKEA de Badia del Vallès, municipi veí de Cerdanyola del Vallès.

Prestant més atenció a les mitjanes, la següent més elevada correspon al ràster de la UB amb 67,73 graus de mitja, també a finals d'estiu del 2015. La temperatura més elevada d'aquest ràster és de 69,70 °C i s'ubica en l'hospital clínic (observar *Figura II: Composició de fotografies per a la il·lustració de la segona mitjana més alta*. (Annex). Composta per imatge VII, ortofoto II i composició II).

La temperatura mínima dels ràsters és de 46,87° i es troba en el ràster de la UAB de principis d'hivern de 2015, també conté la mitjana de temperatura més baixa de totes de 48,58 °C. Observant la *Figura III: Composició de fotografies per a la il·lustració de la temperatura i mitjana més baixes*. (Annex): En la imatge VIII es troba la localització d'aquesta temperatura mínima, identificada en l'ortofoto III i composició II en una zona amb vegetació frondosa situada sobre de l'eix nord del Campus.

La següent mitjana més baixa és de 49,50 °C en el ràster de la UAB de principis d'hivern del 2020, i la seva temperatura mínima és de 48 °C. Observant la *Figura IV: Composició de fotografies per a la il·lustració de la segona mitjana més baixa*. (Annex): La ubicació en el ràster d'aquesta temperatura mínima es troba en la imatge IX. En l'ortofoto IV i composició IV es mostra aquesta ubicació mitjançant fotografia aèria.

2. Amb relació a l'Índex de Vegetació: Per analitzar els resultats en aquest indicador de la mateixa manera que s'ha fet en l'apartat de temperatures, és important conèixer la finalitat de la seva numeració. En primer lloc, el rang d'NDVI es troba entre els valors de “-1 i 1” on es contenen les diferents categories en les quals els píxels es poden classificar. Aquestes es poden observar en la imatge X extreta de l'informe *Variaciones estacionales del efecto de enfriamiento de los parques urbanos de Barcelona: una aproximación mediante teledetección* de A. García-Haro et al. (2019).



Imatge VI, píxel amb el valor mínim NDVI simbolitzat en negre i encerclat en blau.

On: Valors negatius corresponen a núvols, aigua o neu, valors propers a “0” seran

interpretats com a roques i sòl descobert, valors rondant el "0,1" com a àrees sense roques o sorra, valors sobre el "0,2 - 0,3" significa vegetació casi nul·la (gespa seva, arbustos i arbres dispersos), de "0,3 - 0,4" signifiquen arbustos i gespa dispersa, de "0,4 - 0,5" vol dir que té quasi tota la coberta de vegetació plena amb arbustos i praderies de densitat mitjana. Valors de "0,5 - 0,6" corresponen a elements densos i finalment, del "0,6 - 0,8" correspondria a bosc (arbres i arbustos molt densos). (Earth Observing System, 2020; (García-Haro et al., 2019)

Enteses aquestes categories, el valor d'NDVI més elevat es troba en la UAB, a principis d'hivern del 2020 amb un valor de 0,56 i es tractaria d'una praderia/bosc. Tot i això, la mitjana d'aquest ràster és de 0,16 que resulta ser la més baixa en el conjunt NDVI-UAB. En la *Figura V: Composició de fotografies per a la il·lustració del valor NDVI més elevat*. (Annex), aquest valor es localitza en la *imatge X* i en comparar-ho amb l'ortofoto *V* i *composició V*, correspon aparentment a un camp de cultiu ubicat en la facultat de veterinària.

La mitjana més elevada d'NDVI es troba en el ràster de la UAB de principis d'estiu del 2020 i el seu valor màxim de 0,45. Com es mostra en la *imatge XI*, *ortofoto VI* i *composició VI* de la *Figura VI: Composició de fotografies per a la il·lustració de la mitjana NDVI més elevada*. (Annex), Es troba en una zona que aparenta ser vegetació bastant alta, però que no arriba a ser bosc.

L'NDVI més baix es troba en el ràster de la UB de principis d'hivern del 2015 amb un valor de -0.036 i una mitjana de 0.034. Com es mostra en la *Figura VII: Composició de fotografies per a la il·lustració del valor NDVI mínim*. (Annex), composta per la *imatge XII*, *ortofoto VII*, *ortofoto VIII* i *composició VII*, aquest valor mínim està localitzat la dreta de la UB en un carrer al costat de la Plaça de Catalunya i es tracta d'un sol descobert.

La mitjana NDVI inferior és en el ràster de finals d'hivern del 2020 en la UB amb un valor de 0.039. En aquest ràster, l'NDVI mínim en aquest cas es tracta de la façana d'un edifici molt prop de la Plaça de Catalunya i es pot consultar la seva posició en la *Figura VIII: Composició de fotografies per a la il·lustració de la mitjana inferior NDVI*. (Annex), *imatge XIII*, *ortofoto IX*, *ortofoto X*, *composició VIII*.

6.3. Descripció espacial

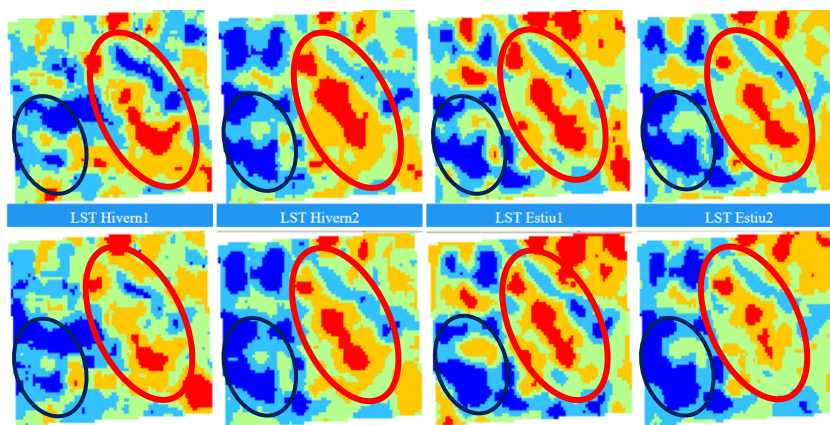
La següent descripció se centra en el repartiment espacial de les masses de temperatura i vegetació en les àrees d'estudi amb objectiu d'observar l'evolució de les seves dimensions respecte al temps.

Mitjançant la pàgina HTML es pot començar aquesta anàlisi fixant-se en els ràsters identificats en l'àrea de la UAB clicant en els botons "LST UAB" i "NDVI UAB".

Primerament, es poden apreciar dos patrons de masses repetitives durant tots dos anys: el primer de temperatures elevades, situat en la part central del ràster el qual correspon al terreny on se situen la major part dels edificis de la universitat. El segon, situat en la part inferior esquerra del ràster corresponent a la zona verda a l'esquerra de la Vila Universitària, una massa de temperatures baixes (consultar les posicions en *imatge XV* i *imatge XVI*).



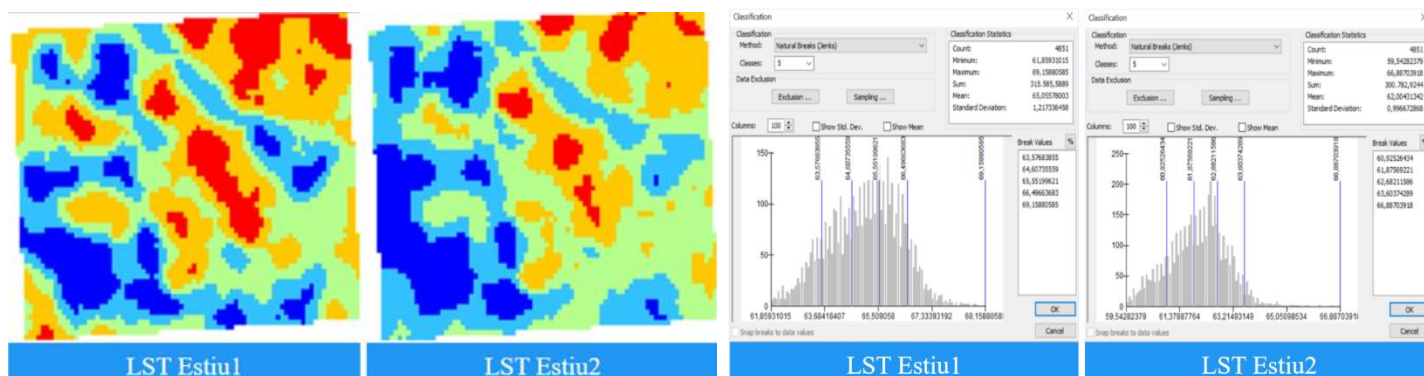
Imatge VII, encerclada la ubicació de la massa de temperatures elevades. En blau, encerclada la posició de la massa de temperatures baixes.



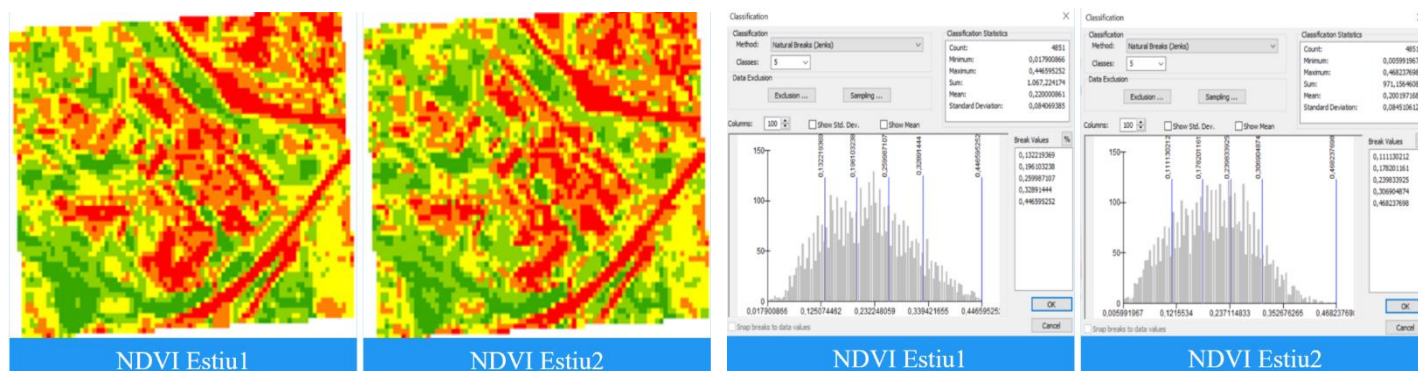
Imatge VIII, captura de pantalla de la pàgina HTML. Composta per vuit imatges on la fila de dalt correspon a ràsters del 2015 i davall del 2020. En vermell encerclada la ubicació de la massa de temperatures elevades. En negre, encerclada la posició de la massa de temperatures baixes.

Del conjunt de temperatures inferiors encerclades en negre en la imatge XVI, destaca el seu augment a finals d'estiu de 2020, ja que com es mostra a l'esquerra de la imatge XVII, les masses de color més fosc augmenten. Comparant aquests retalls amb els seus respectius histogrammes, efectivament es pot comprovar a la dreta de la imatge XVII en l'histograma "Estiu2", com la freqüència de píxels és superior en la primera part de l'histograma on els valors de les temperatures són inferiors.

Adicionalment, es pot trobar una justificació d'aquest augment de les temperatures baixes consultant els valors NDVI associats a aquestes dates. A l'esquerra de la imatge XVIII, es troben els ràsters NDVI i a la seva dreta els histogrammes vinculats. L'histograma d'"Estiu2", mostra contenir més píxels en les categories centrals, sent senyal d'un augment en la vegetació activa de la zona.



Imatge IX, a l'esquerra representades les temperatures en ràster. A la dreta representades com a histogrammes.



Imatge X, a l'esquerra representats els valors NDVI a l'estiu de 2020. A la dreta, els seus respectius histogrammes.

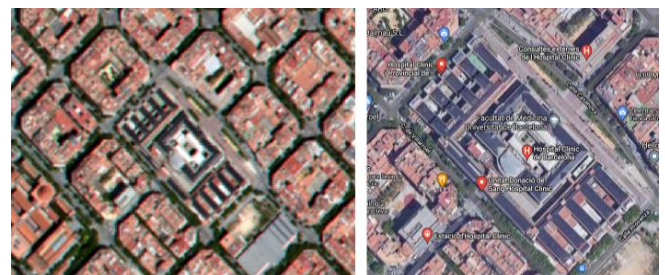
L'evolució de la massa de temperatures corresponent a la Vila Universitària (posició encerclada en *imatge XIX*), és una altra de les variacions a destacar. En el set d'imatges, la Vila durant l'hivern no modifica gaire la temperatura de la zona, no obstant això, observant la *Figura IX: composició d'imatges per l'anàlisi de la variació de temperatura en la Vila Universitària*. (Annex), sí que es pot identificar una intensificació de la temperatura en l'estiu del 2020 respecte a l'estiu del 2015. Es podria dir que aquest tercer patró també està relacionat amb l'NDVI, ja que en els ràsters d'estiu de 2020 es mostra un petit augment en el color vermell. Un aspecte interpretat com a pèrdua de vegetació.



Imatge XI, en rosa encerclada la ubicació de la Vila Universitària de la UAB.

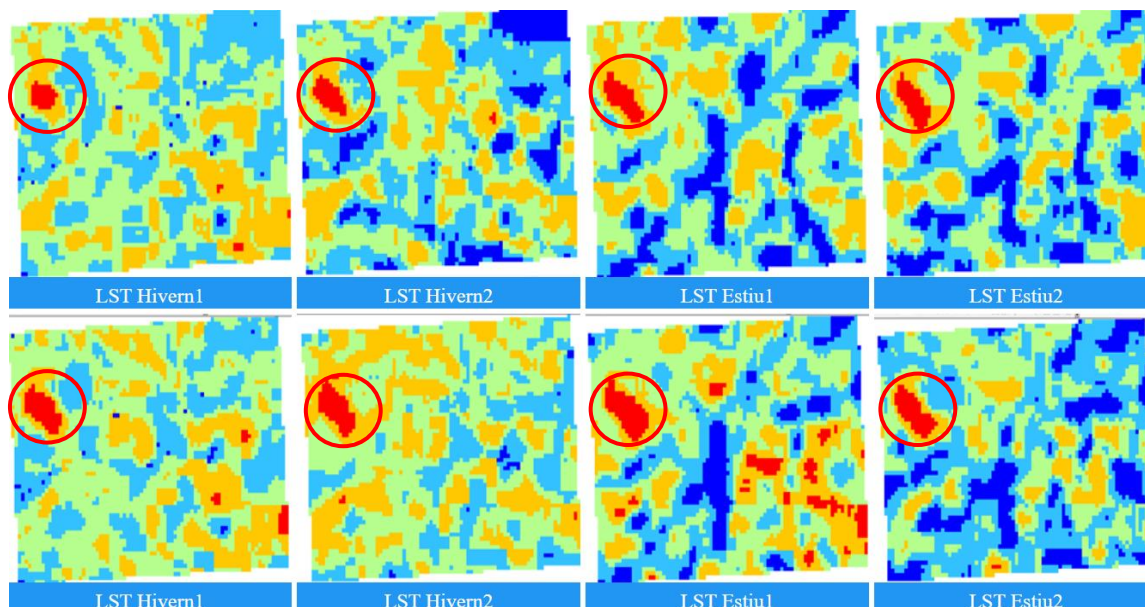
Per analitzar les variacions en la Universitat de Barcelona, els ràsters utilitzats es troben en la pàgina HTML en els botons "LST UB" i "NDVI UB".

L'escenari de la ciutat de Barcelona també presenta alguns patrons: Durant els dos anys i en totes les estacions, en els ràsters de la *imatge XXII* és detectable una massa permanent en la part superior esquerra dels ràsters. Aquesta zona vermella resultada de les altes temperatures, es tracta de l'Hospital Clínic (ubicació encerclada en vermell en la *imatge XX*), el qual té la teulada composta per materials foscos inductors de calor (consultar *imatge XXI*).



Imatge XIII, teulada de l'Hospital Clínic

Imatge XIII, , encerclada en vermell la ubicació de l'Hospital Clínic.

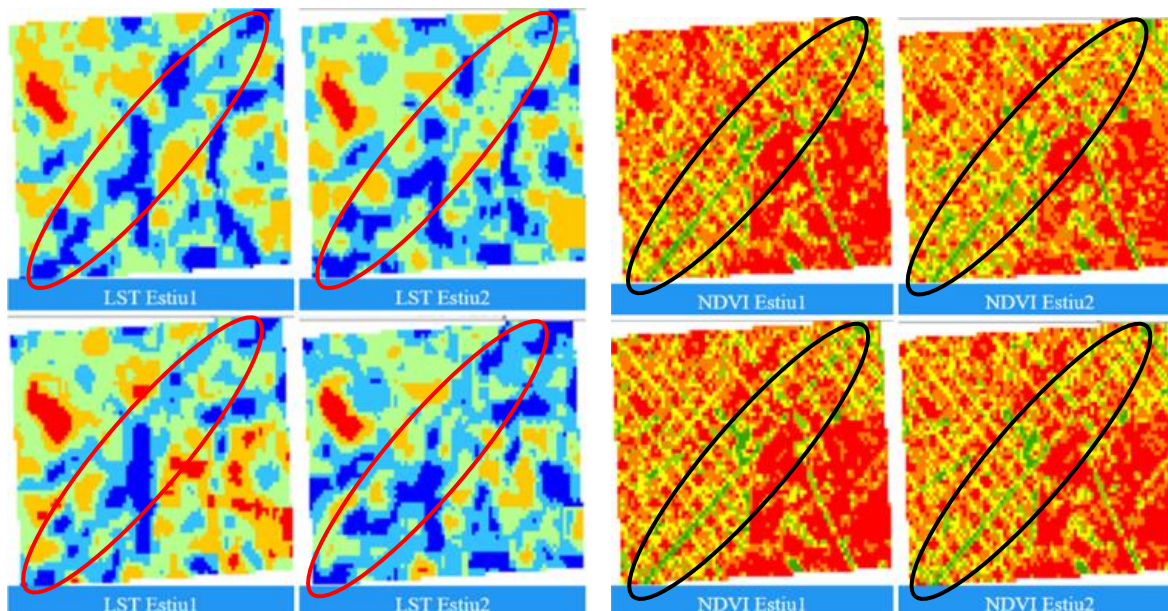


Imatge XIV, encerclada en vermell la ubicació de l'Hospital Clínic.

Als estius dels dos anys, apareix una massa de temperatures baixes que creua el ràster per la meitat (observable a l'esquerra de la imatge XXIV). Consultant els valors NDVI de la zona encerclada en vermell en la imatge XXIII, on es pot comprovar com augmenta la vegetació en la Gran Via de les Corts Catalanes. Per tant, en augmentar la vegetació en l'extensió d'aquest carrer, observable a la dreta de la imatge XXIV, també augmenta la presència de temperatures baixes.



Imatge XV, encerclada en vermell la Gran Via de les Corts Catalanes

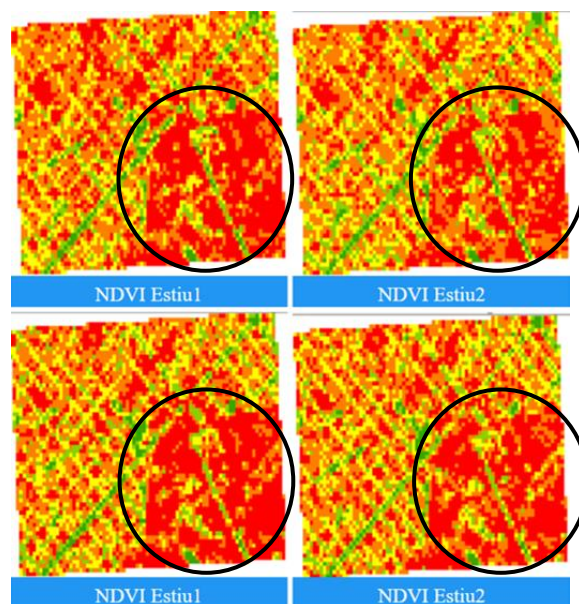


Imatge XVI, a l'esquerra i encerclada en blau la massa de temperatures baixes en la Gran Via de les Corts Catalanes. A la dreta, encerclada en negre la massa de valors NDVI de la Gran Via.

Tot i això, mirant els valors NDVI en aquestes mateixes dates, no obstant l'augment de vegetació activa en la Gran Via de les Corts Catalanes, és observable com en la Ciutat Vella (localitzat en la imatge XXV) augmenten les masses de "poca vegetació" (masses vermelles en NDVI). Això pot conseqüència de la morfologia d'aquesta zona (encerclada en negre en la imatge XXVI) la qual presenta poc espai entre edificis on s'obstaculitza el pas d'aire refrescant i manquen les àrees verdes.



Imatge XVIII, encerclat en vermell part del perímetre de la Ciutat Vella.



Imatge XVII, encerclat en negre els valors NDVI de la Ciutat Vella.

Per finalitzar les descripcions utilitzant la pàgina HTML, afegir que aquesta queda oberta a altres comparacions i anàlisis que per diverses limitacions no s'han pogut desenvolupar en aquest treball, no obstant resultar de gran interès.

6.4. Descripció de les comparacions entre valors

Mitjançant el programa informàtic *Excel* (Microsoft Corporation, 2018) i creant una taula dinàmica

per potenciar les comparacions entre els valors, es dona lloc a les següents comparacions posteriorment descrites: Comparació entre els valors de les mitjanes, comparació entre els valors màxims de LST i NDVI i comparació entre els valors mínims de LST i NDVI.

1. Comparació entre valors de mitjanes: Per calcular l'increment o decreixement total de les mitjanes de totes les imatges, es resten matemàticament els valors de 2020 amb els de 2015. Com s'observa en la *imatge XXVII*, el resultat de l'operació s'afegeix a la columna de la dreta "Càlcul amb valors mitjanes" on es realitza un sumatori de tots els resultats obtinguts.

2015			2020			Càlcul amb valors mitjanes		
UAB	UB		UAB	UB		UAB	UB	
Hivern1	Hivern1		Hivern1	Hivern1				
0,162	0,034		0,167	0,038		0,005	0,004	
48,528	50,262		49,492	51,419		0,964	1,157	
Hivern2	Hivern2		Hivern2	Hivern2				
0,16	0,042		0,175	0,039		0,015	-0,003	
56,64	57,363		51,838	52,839		-4,802	-4,524	
Estiu1	Estiu1		Estiu1	Estiu1				
0,188	0,095		0,22	0,099		0,032	0,004	
67,557	67,598		65,055	67,504		-2,502	-0,094	
Estiu2	Estiu2		Estiu2	Estiu2				
0,169	0,087		0,2	0,088		0,031	0,001	
68,375	67,732		62,004	63,201		-6,371	-4,531	
	= NDVI				Creixement total NDVI UAB	0,083	0,006	Creixement total NDVI UB
	= LST				Creixement total LST UAB	-12,711	-7,992	Creixement total LST UB

Imatge XIX, captura de pantalla de la comparació entre valors de mitjanes en Excel.

Les dades mostren com en cinc anys les temperatures en les dues universitats han descendit, en la UAB, 12,71 unitats i en la UB, 7,99. Alternativament, els valor de NDVI en els dos escenaris augmenten, en la UAB, 0,083 i en la UB, 0,006 unitats. En aquest sentit, observant el total dels valors de les mitjanes, es pot afirmar que en la Universitat Autònoma de Barcelona en cinc anys les temperatures han descendit i que el valor de NDVI ha augmentat. Per la Universitat de Barcelona, anàlogament, en cinc anys les temperatures han descendit i el valor de NDVI ha augmentat. No obstant això, és notable la diferència entre aquests creixements, ja que les temperatures en la UAB descendeixen 4,72 unitats més que en la UB. També l'índex de vegetació normalitzada és major en la UAB per 0,077 unitats.

2. Comparació dels valors màxims: En aquesta comparació, s'estudia la variació dels valors màxims en cinc anys de les imatges. Seguint els càlculs anteriors i contemplant la *imatge XXVIII*, es pot observar com en els dos casos els valors màxims de temperatura disminueixen i els de NDVI augmenten. Pel que respecta a la UAB, veiem un descens de les temperatures màximes quasi tres vegades més que en la UB amb un valor d'11,67 unitats de diferència. També en la UAB creix més el valor màxim d'índex d'NDVI que en la UB en 0,106 unitats. Malgrat això, és de summa importància recordar que la majoria d'aquests valors màxims són *outliers* i que per tant, és més probable que no interpretin apropiadament l'escènica del set d'imatges.

2015 UAB	2015 UB		2020 UAB	2020 UB		<u>Càlcul amb valors màxims</u>		
						UAB	UB	
Hivern1	Hivern1		Hivern1	Hivern1				
0,458	0,241		0,562	0,265		0,104	0,024	
50,327	51,891		51,827	52,986		1,5	1,095	
Hivern2	Hivern2		Hivern2	Hivern2				
0,496	0,156		0,521	0,216		0,025	0,06	
59,287	59,154		55,479	54,324		-3,808	-4,83	
Estiu1	Estiu1		Estiu1	Estiu1				
0,451	0,396		0,446	0,369		-0,005	-0,027	
72,026	69,55		60,158	69,136		-11,868	-0,414	
Estiu2	Estiu2		Estiu2	Estiu2				
0,407	0,328		0,468	0,35		0,061	0,022	
73,136	69,69		66,887	65,086		-6,249	-4,604	
	= NDVI				Creixement total NDVI UAB	0,185	0,079	Creixement total NDVI UB
	= LST				Creixement total LST UAB	-20,425	-8,753	Creixement total LST UB

Imatge XX, captura de pantalla de la comparació entre valors màxims en Excel.

3. Comparació dels valors mínims: Similar a l'anterior comparació, però utilitzant els valors mínims. Un cop realitzats els càlculs de la *imatge XXIX*, es mostra com les temperatures mínimes són inferiors respecte fa cinc anys en les dues universitats. Per altra banda, l'índex NDVI augmenta parcialment en la UAB (0,01), en canvi, en la UB descendeix (-0,02).

2015			2020			Càlcul amb valors mínims		
UAB	UB		UAB	UB		UAB	UB	
Hivern1	Hivern1		Hivern1	Hivern1				
-0,018	-0,036		-0,014	-0,028		0,004	0,008	
46,873	48,766		47,973	49,78		1,1	1,014	
Hivern2	Hivern2		Hivern2	Hivern2				
0,003	-0,01		-0,001	-0,035		-0,004	-0,025	
54,806	56,368		50,006	51,067		-4,8	-5,301	
Estiu1	Estiu1		Estiu1	Estiu1				
0,007	-0,004		0,017	0,001		0,01	0,005	
63,34	66,219		61,859	66,178		-1,481	-0,041	
Estiu2	Estiu2		Estiu2	Estiu2				
0,005	0,001		0,005	-0,015		0	-0,016	
65,037	66,642		59,542	62,335		-5,495	-4,307	
= NDVI					Creixement total NDVI UAB	0,01	-0,028	Creixement total NDVI UB
= LST					Creixement total LST UAB	-10,676	-8,635	Creixement total LST UB

Imatge XXI, , captura de pantalla de la comparació entre valors mínims en Excel.

7. Discussió

A conseqüència de l'augment de les ciutats i dels espais urbans, existeix una tendència d'ampliació en l'efecte de l'illa de calor. Aquesta intensificació del fenomen en dimensió, implica que més ciutadans es vegin perjudicats pel seu impacte afectant greument a les seves condicions de vida. En aquest sentit una problemàtica ambiental de tanta repercussió, pot representar ser una temàtica de gran interès a l'hora de plantejar estratègies de mitigació de la calor urbana, encara que, prèviament és fonamental entendre la dinàmica del seu desenvolupament. Conseqüentment, es pot considerar que realitzar una aproximació del fenomen a l'escala local de la Universitat Autònoma de Barcelona i de la Universitat de Barcelona, resulta una investigació atractiva en la matèria. Per aquest motiu, es desenvolupa una estimació mitjançant imatges de satèl·lit dins d'un marc temporal de cinc anys, aportant major veracitat als resultats, els quals destaquen la importància de la vegetació activa com a element moderador tèrmic. Importància destacada en els resultats obtinguts pel cas de la UAB, on després de cinc anys, s'obtenen valors inferiors en les temperatures i un augment dels valors NDVI. Una idea també plantejada per Aragoneses de la Rubia (2020), en el seu estudi sobre la caracterització de l'UHI en el Campus de la Universitat Autònoma de Madrid (Aragoneses de la Rubia, 2020), on la variació de la temperatura de la superfície és justificada amb la distribució de les zones verdes del campus.

Alternativament, en comparar aquest escenari amb el de la UB, l'absència de grans zones verdes en l'entorn, provoquen un escàs desenvolupament de NDVI, representant l'insuficient creixement de nova vegetació (concepte que no equival a la pèrdua de zones verdes) i limitant la moderació de les temperatures, les quals resulten generalment altes. Aquests aspectes desfavorables queden expressats en els valors màxims i mínims de les temperatures i de NDVI obtinguts. D'aquesta manera, els classificadors estudiats per tot el conjunt de dades com a negatius (mitjanes més altes de temperatura i valors de NDVI mínims), queden relacionats amb la UB i el seu entorn. En canvi, les categories òptimes com disposar de les mitjanes de temperatura inferiors i de valors de NDVI més desenvolupats, es troben firmament ubicades en les zones verdes de la UAB. Encara que, les dades mostren com el valor màxim de temperatura de tot el set es troba en un ràster de la UAB. En aquest cas, però, es considera un valor que forma part de l'entorn de la universitat i no generat per aquesta, perquè es localitza en una de les cobertes del municipi veí.

De manera similar, en l'àrea de la UB, destaca tèrmicament l'Hospital Clínic de Barcelona a causa dels materials instal·lats en la façana, com paral·lelament succeeix en la Vila Universitària de la UAB, on es relacionen parcialment els augments de temperatura observables en la *Figura IX: composició d'imatges per l'anàlisi de la variació de temperatura en la Vila Universitària*. (Annex), amb l'absorció

d'energia per part dels materials. En conseqüència, resultats com aquests, mostren la magnitud de la influència negativa que exerceixen els materials de construcció en el seu entorn, confirmant les idees d'Aragoneses de la Rubia (2020) i Addas *et al.* (2020) juntament amb la primera hipòtesi plantejada en aquest treball. D'altra banda, en la mateixa *Figura IX*, es pot identificar un augment del volum de píxels NDVI vermells al mateix temps que augmenta el volum de píxels LST de colors vius (taronja i vermell), que indiquen temperatures elevades associades a la pèrdua de vegetació activa.

En la mateixa estació, però escenari contrari, es troba la distribució de les masses de temperatura i vegetació activa de la Gran Via de les Corts Catalanes, carrer localitzat al voltant de la Universitat de Barcelona. En aquest cas, gràcies a la presència de l'arbre del plàtan en l'extensió del carrer, les temperatures al voltant descendeixen notablement, confirmant així els conceptes exposats per Taleghani *et al.* (2014) sobre la capacitat mitigadora de calor pròpia de la vegetació. Certament, el plataner es tracta d'un arbre caducifoli el qual perd les fulles durant l'hivern, però a l'estiu provoca un augment en els valors NDVI de l'àrea.

Finalment, no obstant coincidir amb els enfocaments dels autors, les metodologies desenvolupades per aquests apliquen diverses estratègies no contemplades en aquest treball. En primer lloc, Aragoneses de la Rubia (2020) introdueix imatges que proporcionen informació nocturna sobre la seva àrea d'estudi, les quals són considerades escasses en l'àmbit de la teledetecció. Mitjançant aquestes imatges, l'autora procedeix a analitzar el comportament tèrmic del campus de la UAM en tres moments del dia on queda inclosa la nit i la matinada. La utilització d'aquest tipus de material presta oportunitat a la contemplació de nous escenaris i variables poc habituals en aquesta disciplina que podrien conduir a claus explicatives de les dinàmiques d'aquest fenomen. En aquesta línia, altres autors (Mushtaha *et al.*, 2021; O'Malley *et al.*, 2015), sense disposar d'imatges nocturnes, utilitzen softwares de simulació de temperatura per aprofundir en les seves recerques. Afegint altres contextos al marge de la teledetecció, es troben altres autors (Serra Pardo, 2015; Taleghani *et al.*, 2014) que prenen mesures de les temperatures i de la humitat recorrent a sensors instal·lats per ells mateixos. Aquest tipus de procediment presenta l'avantatge d'obtenir il·limitada informació de la característica d'interès escollida i això evitar haver d'utilitzar materials extrets de fonts secundàries que no poden ser controlades ni verificades.

8. Conclusió

Amb l'objectiu de trobar l'efecte de l'illa de calor en els entorns universitaris buscant les diferències de temperatures en aquests, es consideren fonamentals els càlculs de la temperatura de la superfície i de l'índex NDVI que té com a objectiu analitzar la quantitat de vegetació activa de la zona. Un cop es realitzen els càlculs i són representats en histogrames amb finalitat d'estudiar els seus valors, s'observen uns resultats més favorables cap a la Universitat Autònoma de Barcelona, ja que les temperatures mitjanes tendeixen a disminuir de manera més destacable respecte les de la Universitat de Barcelona. A més, els valors de l'índex de vegetació normalitzat de la UAB també es mostren superiors respecte als de la UB. Aquestes afirmacions remarquen la importància de les zones verdes com a elements moderadors tèrmics en els àmbits d'estudi i concorden amb els fonaments de la primera hipòtesi. Les diferències entre els dos entorns universitaris tenen una relació directa en la morfologia i la configuració urbanística de la zona. A diferència dels nombrosos espais verds que envolten i formen part de la UAB, la UB compta amb una reduïda proporció de vegetació en el seu escenari a conseqüència de la inapropiada instauració del pla urbanístic d'extensió de la ciutat de Barcelona. Aquesta instauració perseguint altres interessos, va aixecar edificis allà on hi havia d'haver parcs i jardins, advertint inevitablement una significant manca de vegetació en la zona. Addicionalment, la falta de vegetació no és l'únic factor que condueix a l'augment de les temperatures, l'espai limitat generat per la quantitat d'edificis "extra", comporta un impediment de pas a l'aire refrescant que també podria exercir d'element moderador tèrmic, entre altres conseqüències. Per tant, l'entorn de la Universitat de Barcelona té dificultats en reduir les temperatures degudes entre altres factors, a l'escassetat d'espais verds amb vegetació.

Pel que respecta a la segona hipòtesi, en tractar-se d'una temàtica relativament innovadora és comprensible que l'existència d'investigacions referents sigui reduïda, això no obstant, no equival a una dificultat a l'hora d'analitzar el fenomen. En aquesta línia, tota documentació relacionada amb l'illa de calor, tot i no utilitzar la teledetecció, ha sigut de gran ajuda per definir les primeres passes del treball. En conseqüència, els resultats obtinguts i els seus anàlisis, són procediments que s'han intentat adequar en el màxim possible a l'estat de la qüestió i a pesar del caràcter particular de l'aproximació, es podria considerar com a satisfactòria.

Com a reflexió final, considerar altres variables per aquest estudi podria resultar de gran interès pel desenvolupament d'altres resultats i conclusions sobre aquesta problemàtica ambiental. Un exemple amb potencial d'obtenir resultats interessants, és afegir informació sobre els usos del sòl de l'àrea d'interès. D'aquesta manera, es podrien classificar aquelles zones que presenten greus valors de temperatura amb objectiu de concedir prioritat en la seva mitigació. En aquesta línia, diferents mètodes de mitigació es podrien posar a prova en diversos escenaris amb objectiu d'examinar la seva efectivitat en l'atenuació del fenomen i així fomentar les seves implementacions. Per exemple, facilitar i generalitzar l'ús de materials amb alts percentatges d'albedo o destacar la importància de la presència d'aigua i de la preservació de les zones verdes dins i fora de les ciutats, provocant indirectament, un augment de la conscienciació ambiental.

9. Futures línies de treball

Per completar les idees plantejades en la conclusió sobre utilitzar altres variables, proposar també l'estudi de la mobilitat en les àrees d'estudi. On quedaria inclosa la investigació dels afectes ambientals i impactes en l'entorn dels diferents modes de transport i de les seves infraestructures relacionades com són les carreteres.

Finalment pot resultar interessant perfeccionar la pàgina web *HTML* i allotjar-la en *Internet* amb objectiu de fer-la pública i impulsar altres investigacions.

10. Agraïments

Agraeixo al Dr. Rafael Vicente Salar i a Marc Castelló Bueno per la seva dedicada tutela. Agraeixo també a Antoni Durà Guimerà per la seva ajuda i funcions com a coordinador.

11. Bibliografia

Addas, A., Goldblatt, R., & 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>

Alvarez Estébanez, J. (1992). La dimensión espacial en el estudio de la ciudad. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 12. <http://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/download/AGUC9292110063A/31>

- 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>
- Arenas, S., Haeger, J., & Jordano, D. (2011). Aplicación de técnicas de teledetección y GIS sobre imágenes Quickbird para identificar y mapear individuos de peral silvestre (*Pyrus bourgeana*) en bosque esclerófilo mediterráneo. *Revista de Teledetección*, 35, 55–71.
- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*, 2016.
<https://doi.org/10.1155/2016/1480307>
- Campbell, J.B. and Wynne, R. H. (2011). Introduction to remote sensing. *Introduction to Remote Sensing*, 667. <https://books.google.es/books?id=NkLmDjSS8TsC>
- Celon, B. A., Cerda, P., Realidad, Y. L. A., & Ensanche, D. E. L. (1972). Teoría general de la urba- nización,. *2c Construcción de La Ciudad*, 0.
- Chuvieco Salinero, E. (2009). Detección y análisis de incendios forestales desde satélites de teledetección. *Revista de La Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 103(1), 173–182.
- De, T. D., Batista, R., & Bustos, X. (2009). SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y VULNERABILIDAD URBANA . CASO ESTADO VARGAS- VENEZUELA * Geographic Information System and remote sensing . Urban vulnerability assessment , Vargas state , Venezuela. *Terra*, XXV(38), 167–190.
- Earth Observing System (2020). ¿Qué Es La Resolución Espacial En Una Imagen Satelital?. Recuperat de <https://eos.com/es/blog/resolucion-espacial/>
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2012). *ArcGIS Release 10.1*. Redlands, CA.
- Fundación Conama. (2016). Teledetección y sensores medioambientales. *Congreso Nacional de Medio Ambiente. CONAMA 2016*, 17.
http://www.conama.org/conama/download/files/conama2016//GTs2016/14_final.pdf
- García-Haro, A., Arellano, B., & Roca, J. (2019). Variaciones estacionales del efecto de enfriamiento de los parques urbanos de Barcelona: una aproximación mediante teledetección. *International Conference Virtual City and Territory*, 0(13).
<https://doi.org/10.5821/ctv.8957>
- Hantson, S., Chuvieco Salinero, E., Pons, X., Domingo, C., Cea, C., Moré, G., Cristóbal Roselló, J., Peces, J., & Tejeiro, J. (2011). Cadena de pre-procesamiento estándar para las imágenes Landsat del Plan Nacional de Teledetección. *Revista de Teledetección: Revista de La Asociación Española de Teledetección*, 36, 51–61.
- Howarth, P. J., & Boasson, E. (1983). Landsat digital enhancements for change detection

- in urban environments. *Remote Sensing of Environment*, 13(2), 149–160.
[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(83\)90019-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(83)90019-6)
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). (2015). *Vissir* 3.26. Catalunya, ES.
- Liu, J. G., & Mason, P. J. (2016). Image Processing and GIS for Remote Sensing. *Image Processing and GIS for Remote Sensing*, 2016. <https://doi.org/10.1002/9781118724194>
- Marzolff, I. (2017). *Aplicación de la fotografía aérea de alta resolución tomada a partir de un zepelín aerostático teledirigido al seguimiento de la dinámica vegetal y geomorfológica en campos abando ... APLICACION*. January 2003.
- Mccartney, S., & Mehta, A. (2020). Satellite Remote Sensing for Urban Heat Islands. *National Aeronautics and Space Administration Satellite Remote Sensing for Urban Heat Islands*.
- Microsoft Corporation. (2018). *Microsoft Excel*. Recuperat de <https://office.microsoft.com/excel>
- Morales, A. (2015). Los formatos GIS ràster más populares. Recuperat de <https://mappinggis.com/2015/12/los-formatos-gis-raster-mas-populares/>
- Mushtaha, E., Shareef, S., Alsyounf, I., Mori, T., Kayed, A., Abdelrahim, M., & Albannay, S. (2021). A study of the impact of major Urban Heat Island factors in a hot climate courtyard: The case of the University of Sharjah, UAE. *Sustainable Cities and Society*, 69(February), 102844. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102844>
- O'Malley, C., Piroozfar, P., Farr, E. R. P., & Pomponi, F. (2015). Urban Heat Island (UHI) mitigating strategies: A case-based comparative analysis. *Sustainable Cities and Society*, 19, 222–235. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.05.009>
- Olcina Cantos, J., Rico Amorós, A. M., Moltó Mantero, E., Paulo Gomes, W., & Trindade Amorim, M. C. de C. (2016). Análisis de la isla de calor de superficie en la ciudad de Ubatuba, Brasil. *Clima, Sociedad, Riesgos y Ordenación Del Territorio*, 19(band 10), 121–129. <https://doi.org/10.14198/xcongresoaeacalicante2016-11>
- Pesquer, L., Zabala, A., Pons, X. (2021). Teledetecció per als Sistemes Urbans Tema 2: Espectre electromagnètic i signatures espectrals. Recuperat de <https://e-aules.uab.cat/2020-21/course/view.php?id=44242>
- Rao, P. . (1972). Remote sensing of urban “heat islands” from an environmental satellite. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 647–648.
- Ritchie, J. C., Zimba, P. V., & Everitt, J. H. (2003). Remote Sensing Techniques to Assess Water Quality / Técnicas de teledetección para evaluar la calidad del agua. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(6), 695–704.
<http://openurl.ingenta.com/content/xref?genre=article&issn=0099-1112&volume=69&issue=6&spage=695>
- Rodríguez-Esparragón, D. (2015). *Evaluación y desarrollo de métricas de calidad espacial y espectral para aplicaciones de fusión de imágenes multiespectrales de teledetección de alta resolución*. 1–136. <https://accedacris.ulpgc.es/handle/10553/18132>

- Rodríguez, L. M. S., Jaramillo, L. A. E., & Capote, P. A. (2010). Estimación de un índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes de satélite. *Revista de Geografía Norte Grande*, 95(45), 77–95. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022010000100006>
- Sacristán Romero, F. (2005). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Civilizar*, 5(9), 1. <https://doi.org/10.22518/16578953.701>
- Serra Pardo, J. A. (2015). *El fenómeno de la isla de calor en dos ciudades turísticas . Los casos de Ibiza y Lloret de Mar*.
- Soriano Belda, I. (2017). *zonas verdes intraurbanas a partir de cartografía de usos del suelo derivadas de imágenes Sentinel-2 . Relación con Autor : Inmaculada Soriano Belda*.
- Taleghani, M., Sailor, D. J., Tenpierik, M., & van den Dobbelsteen, A. (2014). Thermal assessment of heat mitigation strategies: The case of Portland State University, Oregon, USA. *Building and Environment*, 73, 138–150. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.12.006>
- Tello-Cifuentes, L., & Díaz-Paz, J. P. (2021). Análisis de la contaminación ambiental usando técnicas de teledetección y análisis de componentes principales. *TecnoLógicas*, 24(50), e1710. <https://doi.org/10.22430/22565337.1710>
- The United States Geological Survey (USGS). (n. d.). EarthExplorer, U.S. Department of the interior.
- Torres Tovar, C. A. (2011). Ciudad y universidad. In *Bitacora Urbano Territorial* (Vol. 18, Issue 1).
- Urbano, C., Representación, Y. S. U., Marín, R. R., Cartográfica, D. D. I., & Universidad, F. (2007). La teledetección como herramienta de análisis del crecimiento urbano y su representación en 3D. *ACE: Architecture, City and Environment*, 2, 675–694. <https://doi.org/10.5821/ace.v2i4.2396>
- Vivancos, J., Grau, M., Llastarri, A. Vivancos, D. (2005). La Tierra a vista de Satélite. Recuperat de http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/guiad/Guia_d.pdf
- Wypych, S. i Bokwa, A. (2012). Climate in cities Basics: Urban heat island. Recuperat de <https://open.uj.edu.pl/mod/page/view.php?id=1312&lang=en>
- Zhang, X., Sun, S., Xiang, Y., Wong, J., Klose, T., Raoult, D., & Rossmann, M. G. (2012). Structure of Sputnik, a virophage, at 3.5-Å resolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(45), 18431–18436. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211702109>

12. Annex

Taula II, conjunt de taules dels histogrames del 2015.

Hivern1	LSTmax	LSTmin	M.LST	NDVImax	NDVImin	M.NDVI
UAB	50.327	46.873	48.528	0.458	-0.018	0.162
UB	51.891	48.766	50.262	0.241	-0.036	0.034
Hivern2	LSTmax	LSTmin	M.LST	NDVImax	NDVImin	M.NDVI
UAB	59.287	54.806	56.640	0.496	0.003	0.160
UB	59.154	56.368	57.363	0.156	-0.010	0.042
Estiu1	LSTmax	LSTmin	M.LST	NDVImax	NDVImin	M.NDVI
UAB	72.026	63.340	67.557	0.451	0.007	0.188
UB	69.550	66.219	67.598	0.396	-0.004	0.095
Estiu2	LSTmax	LSTmin	M.LST	NDVImax	NDVImin	M.NDVI
UAB	73.136	65.037	68.375	0.407	0.005	0.169
UB	69.690	66.642	67.732	0.328	0.000(4)	0.087

Font: Elaboració pròpia.

Taula III, conjunt de taules dels histogrames del 2015.

Hivern1	LSTmax	LSTmin	M.LST	NDVImax	NDVImin	M.NDVI
UAB	51.827	47.973	49.492	0.562	-0.014	0.167
UB	52.986	49.780	51.419	0.265	-0.028	0.038

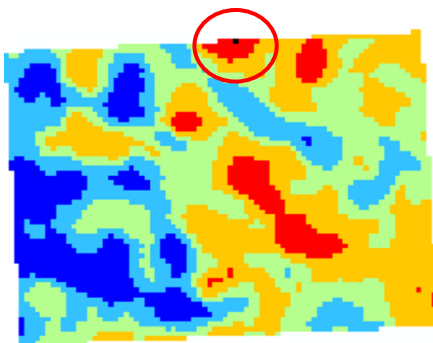
Hivern2	LSTmax	LSTmin	M.LST	NDVImax	NDVImin	M.NDVI
UAB	55.479	50.006	51.838	0.521	-0.001	0.175
UB	54.324	51.067	52.839	0.216	-0.035	0.039

Estiu1	LSTmax	LSTmin	M.LST	NDVImax	NDVImin	M.NDVI
UAB	60.158	61.859	65.055	0.446	0.017	0.220
UB	69.136	66.178	67.504	0.369	0.001	0.099

Estiu2	LSTmax	LSTmin	M.LST	NDVImax	NDVImin	M.NDVI
UAB	66.887	59.542	62.004	0.468	0.005	0.200
UB	65.086	62.335	63.201	0.350	-0.015	0.088

Font: Elaboració pròpia.

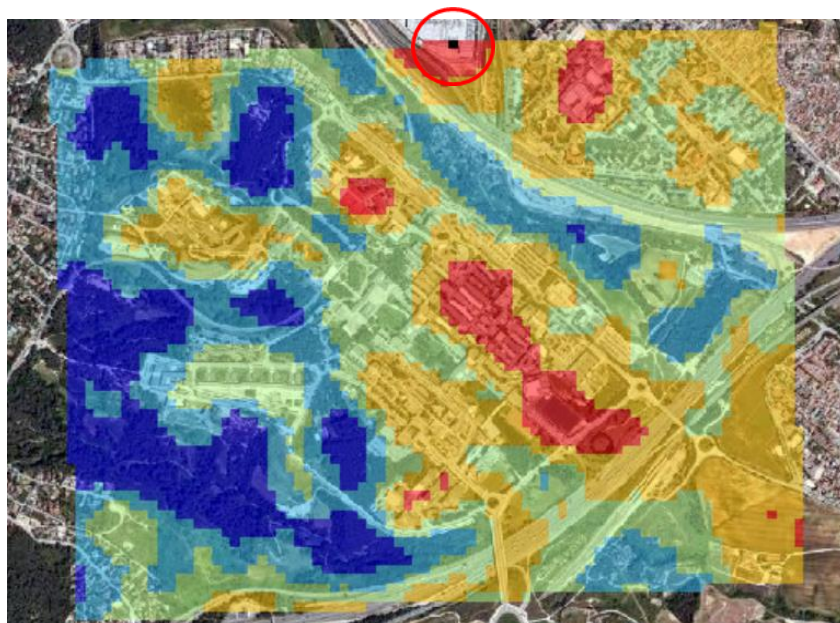
Figura I, Composició de fotografies per a la il·lustració de la temperatura i mitjana més altes.



Imatge VI, píxel amb la temperatura màxima simbolitzat en negre i encerclat.



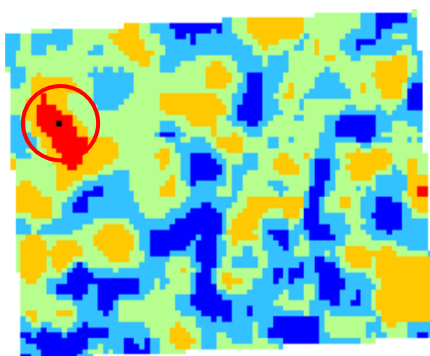
Ortofoto I, ubicació encerclada de la temperatura màxima en ortofoto.



Composició I, unió del ràster de temperatures amb ortofoto. Encerclada en vermell la posició de la temperatura màxima.

Font: Elaboració pròpia.

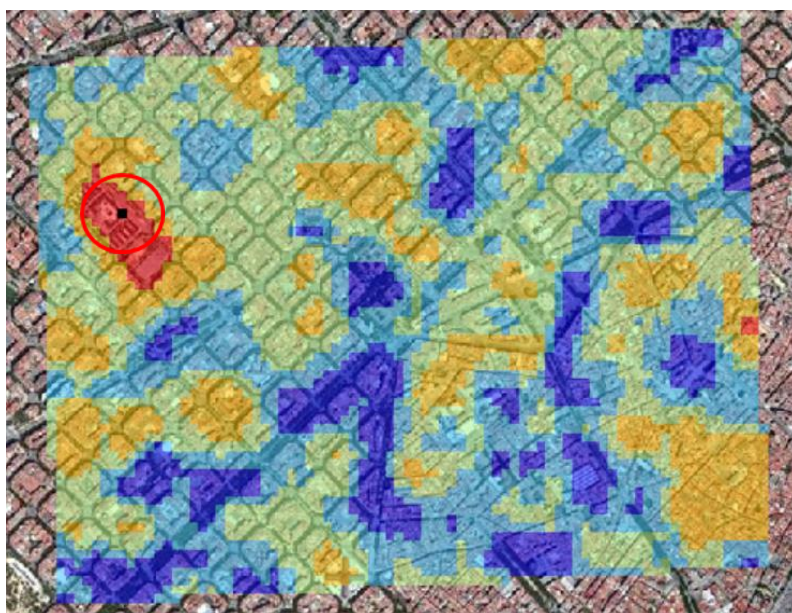
Figura II: Composició de fotografies per a la il·lustració de la segona mitjana més alta.



Imatge VII. píxel amb la temperatura màxima simbolitzat en negre i encerclat



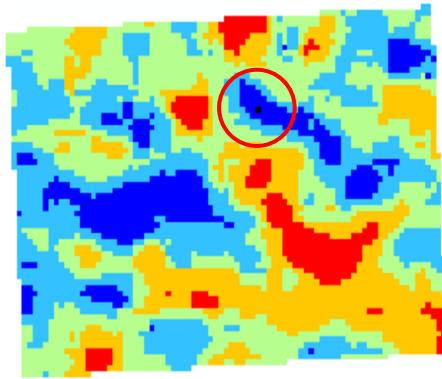
Ortofoto II, ubicació encerclada de la temperatura màxima en ortofoto.



Composició II, , unió del ràster de temperatures amb ortofoto. Encerclada en vermell la posició de la temperatura màxima.

Font: Elaboració pròpia.

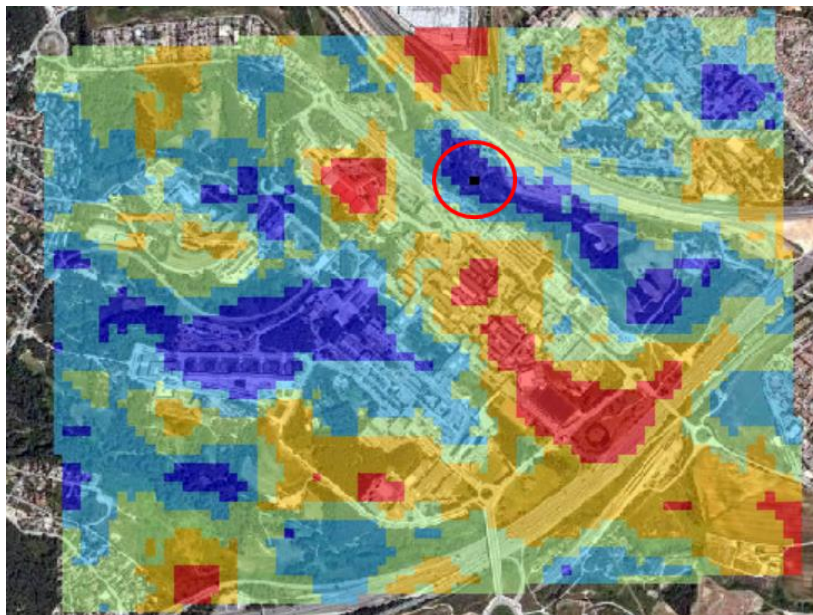
Figura III: Composició de fotografies per a la il·lustració de la temperatura i mitjana més baixes.



Imatge VIII, píxel amb la temperatura mínima simbolitzat en negre i encerclat.



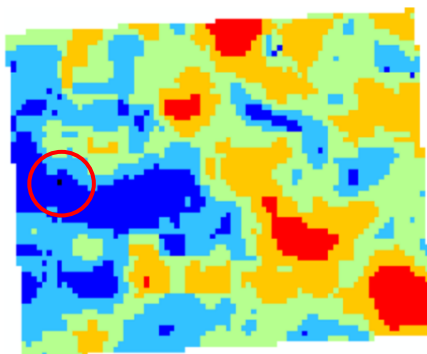
Ortofoto III, ubicació encerclada de la temperatura mínima en ortofoto.



Composició III, unió del ràster de temperatures amb ortofoto. Encerclada en vermell la posició de la temperatura mínima.

Font: Elaboració pròpia.

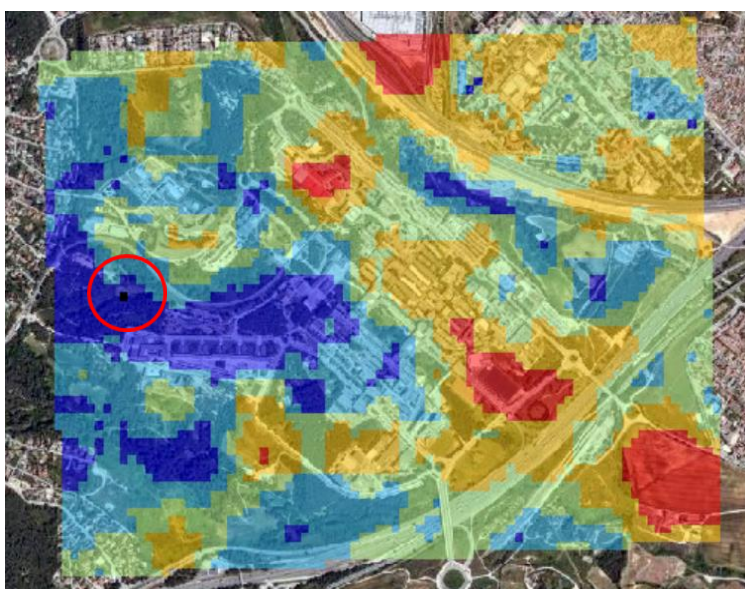
Figura IV: Composició de fotografies per a la il·lustració de la segona mitjana més baixa.



Imatge IXXXII, píxel amb la temperatura mínima simbolitzat en negre i encerclat.



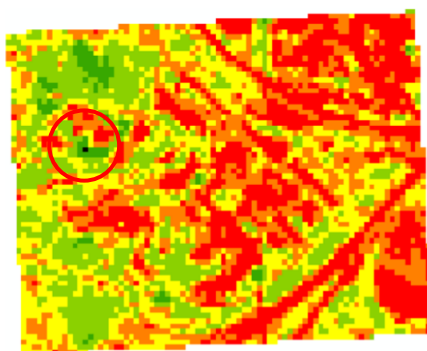
Ortofoto IV, ubicació encerclada de la temperatura mínima en ortofoto.



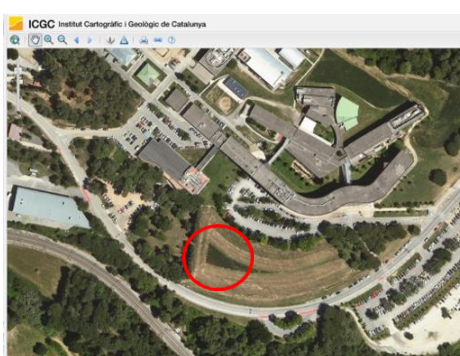
Composició IV, unió del ràster de temperatures amb ortofoto. Encerclada en vermell la posició de la temperatura mínima.

Font: Elaboració pròpia.

Figura V: Composició de fotografies per a la il·lustració del valor NDVI més elevat.



Imatge XXXIII, píxel amb el valor NDVI més elevat simbolitzat en negre i encerclat.



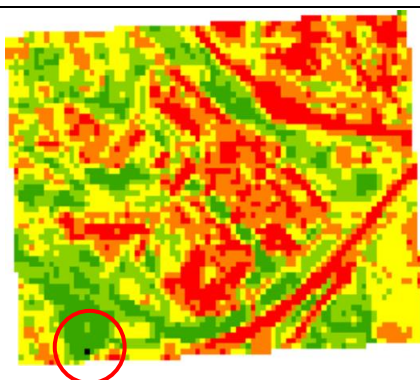
Ortofoto V, ubicació encerclada del valor NDVI més elevat en ortofoto.



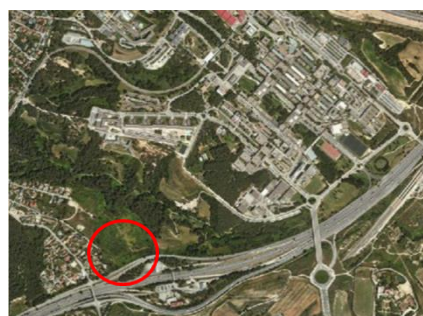
Composició V, unió del ràster NDVI amb ortofoto. Encerclada en vermell la posició del valor màxim.

Font: Elaboració pròpia.

Figura VI: Composició de fotografies per a la il·lustració de la mitjana NDVI més elevada.



Imatge XI, píxel amb el valor NDVI més elevat simbolitzat en negre i encerclat.



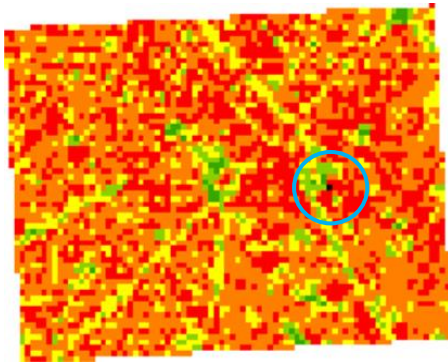
Ortofoto VI, ubicació encerclada del valor NDVI més elevat en ortofoto.



Composició VI, unió del ràster NDVI amb ortofoto. Encerclada en vermell la posició del valor màxim.

Font: Elaboració pròpia.

Figura VII: Composició de fotografies per a la il·lustració del valor NDVI mínim.



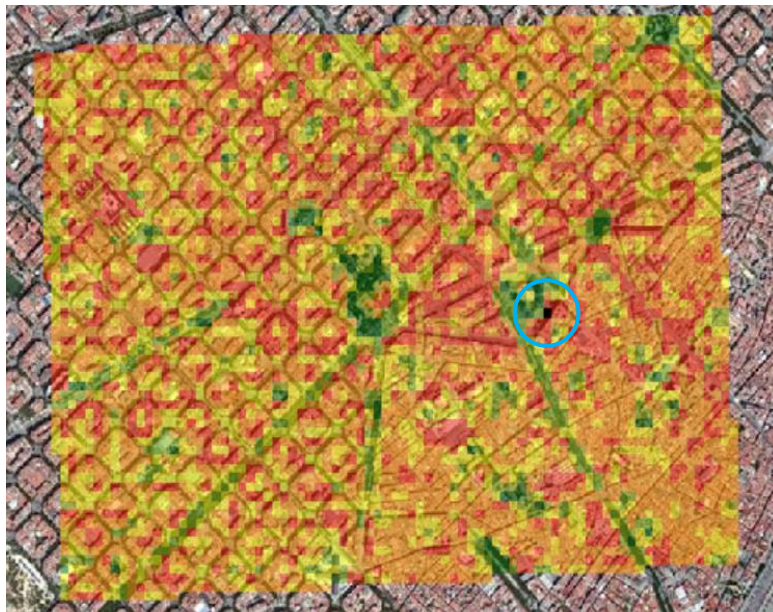
Imatge XII, píxel amb el valor mínim NDVI simbolitzat en negre i encerclat en blau.



Ortofoto VII, ubicació encerclada del valor mínim NDVI en ortofoto.



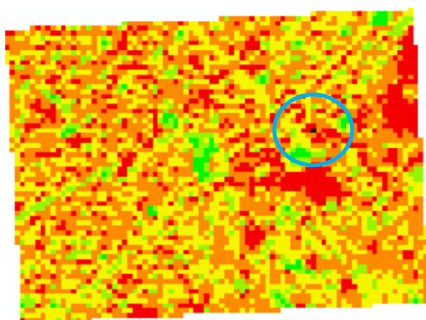
Ortofoto VIII, ampliació de l'ortofoto VII



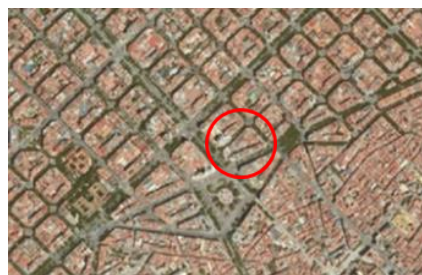
Composició VII, unió del ràster NDVI amb ortofoto. Encerclada en blau la posició del valor mínim.

Font: Elaboració pròpia.

Figura VIII: Composició de fotografies per a la il·lustració de la mitjana inferior NDVI.



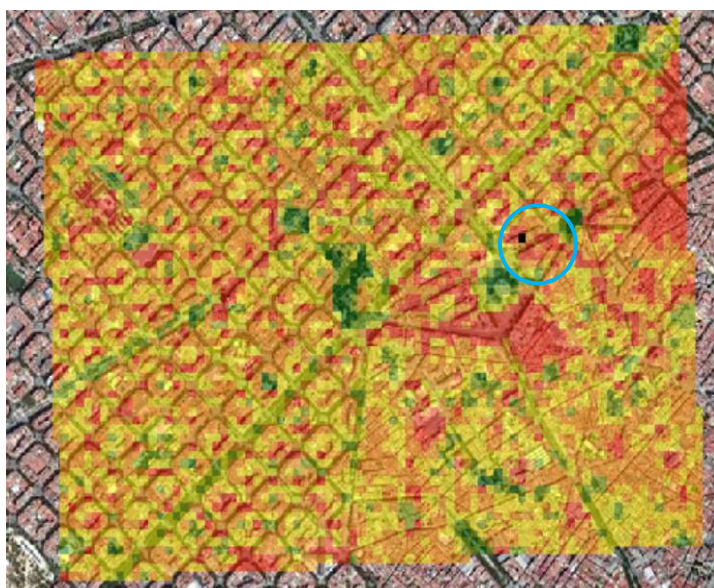
Imatge XII, píxel amb el valor mínim NDVI simbolitzat en negre i encerclat en blau.



Ortofoto IX, ubicació encerclada del valor mínim NDVI en ortofoto



Ortofoto X, ampliació de l'ortofoto VIII.



Composició VIII, unió del ràster NDVI amb ortofoto. Encerclada en blau la posició del valor mínim.

Font: Elaboració pròpia.

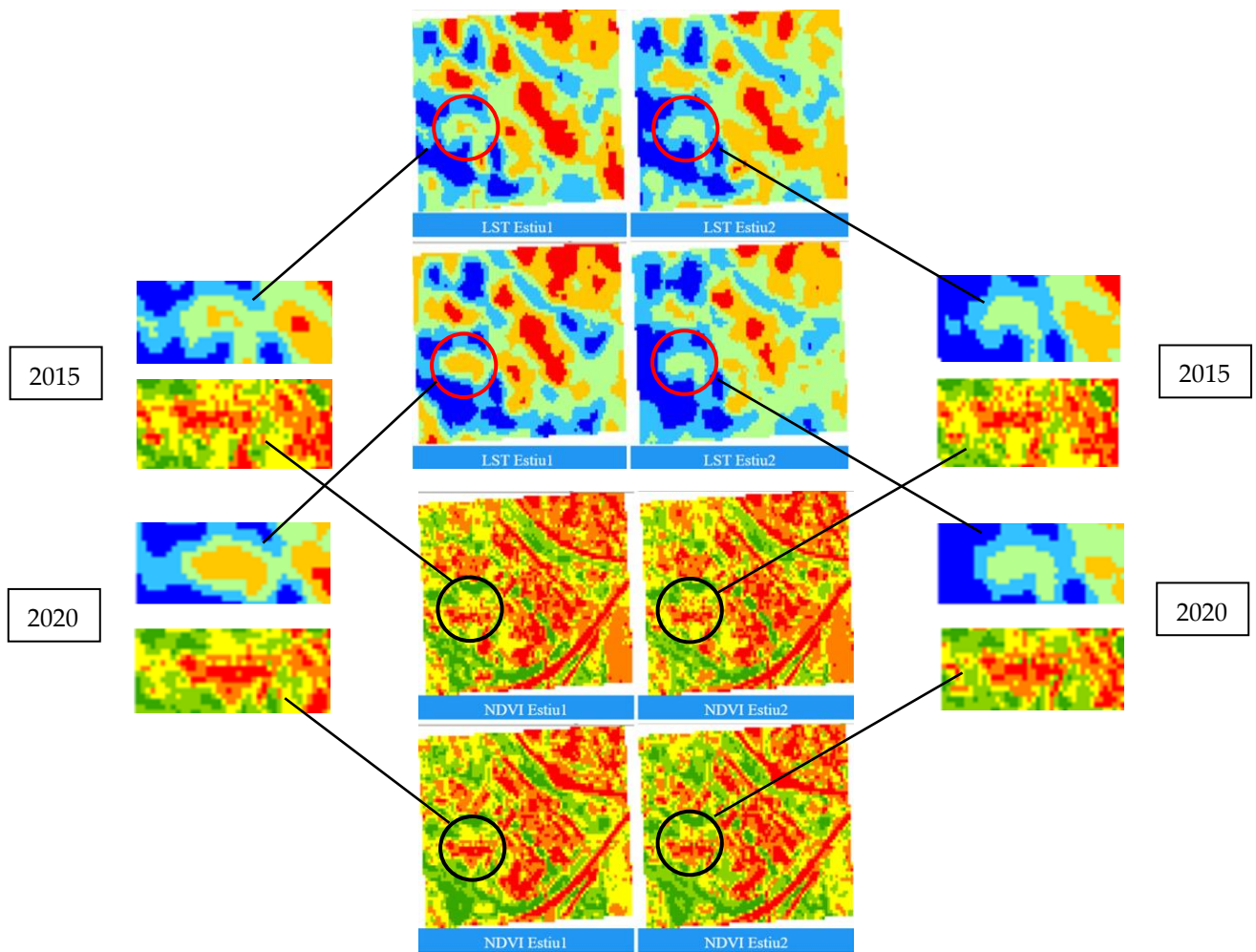


Figura IX: composició d'imatges per l'anàlisi de la variació de temperatura en la Vila Universitària.

Font: Elaboració pròpia.