
This is the **published version** of the bachelor thesis:

Novillo Fernandez, Miguel; Vicente Salar, Rafael, dir. Es poden combatre les illes de calor amb el verd urbà?. 2021. 11 pag. (1395 Grau en Gestió de Ciutats Intel·ligents i Sostenibles)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/250757>

under the terms of the  license

Es poden combatre les illes de calor amb el verd urbà?

Miguel Novillo Fernandez

Resum— En aquest treball es veura si es pot combatre les illes de calor, que es l'augment de les temperatures en zones urbanes per causes no naturals. Es farà un anàlisi de les ciutats, la seva evolució històrica i diferents factors que ens han fet arribat a aquest punt. S'analitzaran les zones verdes de Barcelona i el seu impacte. S'utilitzaran diferents indicadors com el NDVI, EVI o NDBI per veure quines zones són més perilloses i quines zones han d'estar més protegides. Finalment parlarem de diferents propostes i projectes que es poden fer per combatre les illes de calor.

Paraules clau—Urbanització, Zones Verdes, NDVI, EVI, LST, illes de calor, Zones Verdes urbanes.

Abstract—In this paper we will see if it is possible to deal with heat island, which are the increase in temperatures in urban areas due to unnatural causes. There will be an analysis of cities, their historical evolution and different factors that have brought us to this point. The green areas of Barcelona and their impact will be analyzed. Different indicators such as NDVI, EVI or NDBI will be used to see which areas are more dangerous and which areas need to be more protected. Finally we will talk about different proposals and projects that can be done to combat heat islands.

Index Terms— Urbanization, Green Zones, NDVI, EVI, LST, Heat Islands, Urban Green Zones.



1 INTRODUCCIÓ

AMB l'augment de la conscienciació de gran part de la ciutadania per el canvi climàtic, som més conscients que mai de la importància de la temperatura i com aquesta pot repercutir en la nostra vida diària. Per tant, no és res sorprenents que tant la gent com les institucions estiguin identificant els diferents problemes i buscant solucions. En aquest treball, es parlarà sobre les illes de calor, l'origen d'aquestes i els diferents reptes que provoca lluitar contra elles. Tanmateix, també parlarem sobre les zones verdes, la importància d'aquestes no només per la decoració dels espais sinó també com una millora en diferents àmbits de la vida quotidiana. Es documentarà com aquesta pot mitigar les illes de calor. Aquest estudi estarà centrat en la ciutat de Barcelona. Per fer aquest estudi, mirarem diferents indicadors relacionats amb el verd urbà i les illes de calor. La nostra metodologia es basarà en la comparació entre diferents indicadors (NDVI, EVI, NDBI), els LST del nostre àrea d'estudi i la correlació entre el verd i les zones més càlides. Els resultats ens demostraran la importància de les zones verdes i com aquestes poden afectar a la temperatura

principal, respondrem a la següent pregunta: les zones verdes urbanes ajuden a mitigar les illes de calor que es configuren en les ciutats? La hipòtesi principal és que les zones verdes urbanes són elements urbans importants per reduir les altes temperatures a les ciutats i, per tant, per dissipar les illes de calor en àmbits urbans.

3 MARC TEÒRIC

3.1 Morfologia de la ciutat, reptes d'una ciutat verda

Un dels reptes actuals més importants per la nostra societat és mitigar els efectes del canvi climàtic. Alguns estudis demostren que el canvi de temperatura ha estat més greu en les últimes dècades (Kalnay et al., 1996). Gràcies a la firma del protocol de Kyoto i la seva aplicació, es va reduir en gran mesura la emissió de gasos d'efecte hivernacle (Olivier et al., 2005). La seva firma va significar un canvi radical en l'impacte que tenia la gran revolució industrial a la capa d'ozó. L'aprovació però va ser un procés molt dur, la necessitat era urgent però no era un canvi possible per alguns països. Es va arribar a l'acord de que només els països que emetien un percentatge d'aquest gasos haurien de fer el canvi i, es va acceptar el suport econòmic per part de la UE per ajudar a que els països que no poguessin assumir la adaptació econòmicament. Durant els posteriors anys, s'ha

2 OBJECTIU, PREGUNTA DE INVESTIGACIÓ, HIPÒTESI

L'objectiu del present treball és analitzar si les zones verdes urbanes son un factor important en la lluita contra les illes de calor dins de les ciutats. Per assolir l'objectiu

fet un seguiment amb diferents canvis de ruta, afegint-se diferents països al llarg dels anys. Els darrers anys, els països més industrialitzats han fet un canvi de perspectiva i han deixat de donar suport, entre ells Rússia, els Estats Units d'Amèrica o Canada. El canvi climàtic, no només té un impacte en el nivell del mar o en els casquets polars, sinó que afecta a tot el món, i les ciutats no son cap excepcions (Chrysanthis et al., 1991).

Tanmateix, a les diferents ciutats europees els processos d'adaptació de la morfologia urbana per la inclusió de les infraestructures verdes amb l'objectiu de pal·liar el canvi climàtic no han sigut molt rellevants. Les primeres mencions a les infraestructures verdes les podem trobar a inicis del segle XIX. Però no trobem un interès real per continuar explorant aquest àmbit per part de la comunitat científica fins al començament de 1970 (Mell, 2008). Els primers anàlisis de les zones verdes es van desenvolupar en països que tradicionalment ja tenen tendència a dissenyar zones amb infraestructures verdes incorporades o a mantenir les existents. El cas més exemplar és el Regne Unit. Els pocs anàlisis que s'han fet han arribat a la mateixa conclusió. Els plans urbans que inclouen les zones verdes son insuficients o són molt precaris (Grădinaru & Hersperger, 2019; Mell, 2020, 2008). Una de les estratègies que estan desenvolupant les ciutats per reduir l'escalfament és la creació d'espais verds urbans. Diversos autors assenyalen els espais verds com veritables actors actius en la baixada de les temperatures i, per tant, la reducció de les illes de calor (Block et al., 2012). La tendència de les grans metròpolis ha sigut créixer espacialment per crear nous habitatges, nous comerços i diferents instal·lacions, però no s'ha desenvolupat la deguda inversió en zones verdes. Les primeres zones verdes que van desaparèixer de les ciutats van ser les zones de cultius, els camps dedicats a l'agricultura van ser arrasats per construir aquelles fàbriques que van iniciar la revolució industrial (Zhou & Wang, 2011). D'altra banda, els boscos també van resultar perjudicats encara que en menor mesura que els camps de cultius. La pèrdua d'aquest elements propicia que les ciutats perdin també la biodiversitat que hauria d'albergar. La continua expansió de la urbanització ha minvat la connexió entre l'ésser humà que viu en una ciutat amb la natura i la resta d'éssers vius que conviuen amb ell.

La desaparició de zones verdes en les ciutats ha esdevingut en una necessitat per analitzar aquesta relació, però existeix un buit en la bibliografia sobre els efectes de la morfologia urbana i la pol·lució a la configuració de les illes de calor en espais urbans amb algunes excepcions molt puntuals. El país amb més interès y que ha pres les mesures amb més impacte es Xina. L'esforç fet per el govern xinès és immens. Diferents institucions xineses han fer diferents estudis en el camp de la morfologia de la ciutat, i juntament amb les grans millores en el camp de la teledetecció, han conclòs en nous estudis que uneixen els camps (Zhou & Wang, 2011, Deng et al., 2019). El cas de Xina és un dels casos més extrems, perquè és el país amb el major número

de mega-ciutats amb més de 10 milions d'habitants com, per exemple, Shanghai, Pekin o Canton, amb 23, 17,5 i 15 milions de persones en les seves respectives àrees metropolitanes. També s'ha d'afegir a aquest fet, que segons la ONU, son un dels països amb una projecció de creixement urbà més grans en els pròxims 50 anys. En la configuració d'illes de calor, també s'ha de tenir en compte les característiques climàtiques. Així, el clima de Xina és molt variat, però es pot classificar en dos tipus. El clima subtropical i el clima subàrtic. El primer el trobem en el sud, juntament amb les illes que el formen, i el segon, en el nord amb la regió muntanyosa de l'Himàlaia. També s'ha de destacar els diferents elements que formen la seva geografia com poden ser els deserts de Gobi i els monsons que es formen en certs períodes de temps. Tots aquest factors provoca que Xina sigui un dels llocs on es pot trobar les illes de calor més grans. Tanmateix, diferents estudis han demostrat com la morfologia urbana pot mitigar aquest efecte (Yuan et al., 2020). En aquest nou estudi, publicat al 2020, es va demostrar la relació entre la morfologia urbana i la temperatura del aire, i com amb l'ajuda de diferents sistemes, com l'ús dels satèl·lits o la inclusió de sistemes de mecànica de fluids computacionals (CFD), es comprovà la relació entre aquests. Amb l'exemple de Xina es demostra la possibilitat de la inclusió de la intel·ligència artificial dins del camp de la teledetecció i la importància que tindrà en un futur, i la possibilitat d'aplicar la intel·ligència artificial en diferents regions del món per la anàlisi i sobretot en la seva aplicació en ciutats en desenvolupament per evitar problemes a futur.

3.2 Cap a la verdificació de les ciutats

Les ciutats cada cop son més grans i engloben més gent, per tant, l'evolució d'aquestes per poder englobar més gent també es necessària (FULADLU et al., 2018). Al llarg dels anys i amb la urbanització brutal que es va desenvolupar al país, no es va tenir en compte aspectes importants que a dia d'avui són quasi una necessitat vital. Les zones verdes es van entendre com una necessitat però no es van incloure dins de la ciutat sinó en zones perifèriques creant-se les anomenades Ciutats-Jardí (Wang et al., 2021). Aquesta situació va canviar el model de ciutat augmentant la demanda de cotxes, ja que el transport privat era necessitat per desplaçar-se. Neix llavors la Paradoxa de Jevons (Alcott, 2005), que ens parla de el desenvolupament dels cotxes y com aquest ens porta en definitiva a ser capaços de recorre més distància. Per tant, la població ja no havia de viure aglomerada en un centre de la ciutat, sinó que es podria moure i residir en llocs més allunyats provocant un augment del nombre de carreteres. Aquest canvi en la morfologia de la ciutat no només és important per la pèrdua de superfície, sinó també per l'augment de la calor antropogènica (Yuan et al., 2020). Aquest calor es emès per l'activitat diària de les persones com, per exemple, amb el desplaçament en cotxe o amb les calefaccions. Aquesta emissió de les temperatures no és capaç de sortir de l'atmosfera i per tant accentua l'efecte de les illes de calor, sobretot en zones

urbanitzades amb altes densitats. L'abús del asfalt i la creació d'edificis sense cap mena de infraestructura verda, provoca que l'autoregulació de la temperatura de les zones asfaltades es trobi alterada. Això es veu maximitzat amb l'expansió de la ciutat. Quan els raigs de sol impacten sobre l'asfalt, aquest absorbeix l'energia que li arriba i per tant s'escalfa, emetent aquesta calor. El problema més gran arriba quan es fa de nit, al no rebre els raigs del sol, es desprèn tota l'energia que es tenia acumulada, fent que les nits siguin molt més càlides i amb una temperatura superior a la que hauria de ser. En una terra natural, els raigs de Sol impacten en el terra, una part d'aquest es reflecteixen i tornen cap a la atmosfera, però un altre part, es captada per la terra i transformada en energia. D'aquesta forma, trobem com la terra es calenta. L'ampliació del terra urbà, les noves cases i la pèrdua de les zones verdes provoca un augment de les temperatures i el ja anomenat efecte illes de calor.

Per controlar la temperatura dins de la ciutat, podem trobar diferents elements controladors de la temperatura com el pla de les façanes verdes (Moghaddam et al., 2020), o a través de la verdificació dels sostres dels edificis (Zinzi & Agnoli, 2012). Tanmateix, les polítiques urbanes no solen incloure el verd com a factor rellevant sinó merament decoratiu. Fins fa poc Barcelona era una de les ciutats catalogades com poc promotores del verd. Però gràcies a la conscienciació de la ciutadania i al canvi de govern, diferents entitats han pres decisions molt importants i tractat el tema amb més profunditat. Actualment, podem trobar el informe del Pla Verd en el que trobem des de l'anàlisi de la biodiversitat fins els plans futurs pel manteniment de la zona (Ajuntament de Barcelona, 2013). És un pas important però encara hi ha petites falles que com el alt protagonisme que rep Collserola en comparació a altres zones. D'altra banda, hi ha també altres projectes desenvolupats a la ciutat per mitigar la illa de calor com el de Façanes Verdes (Moghaddam et al., 2020), un projecte que, encara que estat pensat en un començament per lluitar contra la pèrdua d'energia dels edificis, ha estat redissenyat per poder incloure el ús dels terrats com a zones fredes de les ciutats, o el de teulats freds (Zinzi & Agnoli, 2012), una proposta que engloba diferents ciutats europees on es modifica de forma no invasiva, diferents llars perquè siguin el més eficients possible, no només energèticament sinó, també el més verd possible.

En els últims anys, la societat ha percebut la importància de les zones verdes i la tecnologia no s'ha quedat enrere. Així, gràcies a l'aportació de diferents satèl·lits com el SPOT o el Sentinel-2A, amb els quals s'ha creat diferents anàlisis (Deng et al., 2019, Wulder et al., 2019), es pot monitoritzar molt més eficientment les zones verdes i estudiar el comportament de les illes de calor. Aquesta metodologia es basa en fusionar, les tècniques actuals basades en transformacions polinòmiques o entrades manuals per part d'especialistes amb la introducció de la ortorectificació amb la qual es van obtenir resultats molt més precisos.

Aquesta metodologia es podria aplicar per tota Europa ja que els requisits i els sensors necessaris per el seu correcte ús estan dins dels satèl·lits europeus. Per tant amb la tecnologia, i particularment amb la teledetecció, es podria aplicar i controlar d'una manera molt més precisa totes les zones verdes que es troben dins de les àrees urbanes i l'aparició de illes de calor.

3.3 Ús de la teledetecció per l'anàlisi de illes de calor

Si busquem definir que es la teledetecció, hem de buscar com ho defineixen les entitats especialitzades en aquest camp. Segons l'Agència Espacial Europea (ESA), "la teledetecció es una forma d'obtenir informació sobre objectes prenent i analitzant les dades sense que les eines utilitzades en la captació estiguin en contacte directe amb els objectes en qüestió" (ESA, 2021). Des d'un punt de vista nacional, el IGN la defineix com "la obtenció de dades de la superfície terrestre des de sensors instal·lats en plataformes espacials, basat en la interacció electromagnètiques entre el terreny i el sensor, generant unes dades que son processades a posterior per poder obtenir informació interpretable de la Terra" (Instituto Geográfico Nacional, 2018). Dos definicions diferents però amb elements en comú: la plataforma d'obtenció de les imatges, l'objecte que es vol observar, un instrument o sensor que capti la informació i la informació que generem. Aquests quatre elements formen les bases de la teledetecció actualment. No sempre els satèl·lits però, estan situats a l'espai o en una gran estació espacial. A dia d'avui l'ús dels drons per captar imatges més properes s'està implementant i serveix molt bé com a complement. Si parlem dels sensors, hem de mencionar als sensors actius i els sensors passius. Els primers emeten les ones, que al trobar un objecte, retornen al sensor aportant informació, un bon exemple és el radar. Mentre que els sensors passius només capten la informació que emet un altre sent aquest, generalment, el Sol. Finalment, i una de les dades més importants a tindre en compte és el nombre de bandes espectrals que capta cada sensor i la signatura espectral que tenen tots els objectes. Tota coberta té una manera característica de comportar-se, ja sigui reflectint o emetent les diferents longituds d'ones. Per tant, amb l'ajut dels sensors captant la radiància i el coneixements dels cossos que es comporten sempre igual (sempre reflecteixen el mateix nombre d'ones). Generem el que es coneix com a signatura espectral aquest amb la qual, podem adaptar els nostres sensors de forma que capten el màxim de rang possible. De aquesta forma, els sensors capten diferents longituds d'ones dividint-les en canals o bandes. La classificació de canals més comú són les ones en l'espectre visible, formades per el RGB (Red, Green, Blue), les ones infraroig (Infraroig proper, Infraroig mitjà) i les microones (Wulder et al., 2019).

Gràcies als avenços obtinguts en el camp de la teledetecció, s'han pogut ampliar tant la resolució, la mida del

píxel més petit que es pot captar per el sensor, com el nombre de bandes que pot tenir cada satèl·lit. Entre les noves bandes, podem trobar dins del infraroig, el d'ona llarga, també conegut com infraroig tèrmic. Aquesta es una banda especial dins del conjunt de bandes ja que no es basa en la reflectància, sinó en la radiància, la capacitat d'un objecte per emetre les ones. Les ones captades per la banda TIR es situa entre 10.60µm y els 12.51µm. Diferents sensors han estat equipats per detectar aquesta com l'exemple del Landsat (Wulder et al., 2019), on el nou Landsat-8 ha estat dissenyat per poder captar encara més informació dins d'aquest rang i ha estat dividit en dos TIR-1 i TIR-2, el primer captant dels 10.60µm fins als 11.19µm i el segon dels 11.50µm als 12.51µm. Si parlem del MODIS(REF), trobem encara més bandes, però les que ens interessin es troben en la banda 31 o en la banda 32 i van des de 10.780µm fins a 11.280µm i 11.770µm fins a 12.270µm respectivament. Si finalment parlem de l'últim però no menys important satèl·lit, el Sentinel, situem la nostra banda en el 11 amb un valor promig de 11.60 µm

Gràcies a les bandes i els diferents programes de visualització podem destacar algun element que ens interessi. Aplicat a les illes de calor, en centràriem en la ja anomenada banda del infraroig tèrmic. Aquesta tècnica s'ha implementat d'una manera molt eficaç en Singapur. La metodologia es basa en la unió d'una constel·lació de satèl·lits amb el modelatge de diferents edificis. D'aquesta manera es crea un dataset amb informació sobre com afecten les diferents mesures de la banda en diferents zones, ja sigui una zona molt densa i urbanitzada o casos amb zones molt més verdes, a la temperatura de la ciutat, utilitzant intel·ligència artificial prèviament dissenyada i utilitzant programari SIG per georeferenciar. El resultat obtingut és un mapa de tot Singapur que relaciona les zones urbanes, amb la seva morfologia i la seva localització geogràfica amb les illes de calor i les zones amb més risc de mort per els seus efectes (Yuan et al., 2020). Amb aquest estudi es demostra la relació de la morfologia de la ciutat amb la salut i la seva utilitat per desenvolupar polítiques públiques per combatre els seus efectes en les zones amb més perill. Un altre exemple de la utilització dels sistemes de teledetecció és a Hermosillo. Mèxic. Un estudi que, en compte d'utilitzar les tradicionals estacions meteorològiques típiques, es va utilitzar les diferents eines de sistemes d'informació geogràfica (Navarro-Estupiñan et al., 2020). Gràcies als avenços fets en el ja anomenat Landsat-8, es va capturar la informació tèrmica durant cinc anys, captant imatges cada setze dies. D'aquesta forma, es desenvolupà l'estudi per comprovar que tant les zones amb més temperatura, més pluges, més sòl urbà i més verd, en les anomenades "time stability" i "Hot Spot analyses" solen ser les zones que pateixen més amb l'augment de la temperatura. D'aquesta forma s'ha aconseguit un mapa amb les zones més vulnerables o "hot spots". Aquest estudi, permet fer polítiques públiques en les zones més perilloses sense haver d'invertir una gran quantitat de diners com en el cas de Singapur.

4. METODOLOGIA

4.1 Font de dades

Les dades utilitzades són de caràcter secundari i són les següents:

- Dades meteorològiques: la obtenció de les dades meteorològiques s'ha aconseguit a través de Meteocat i, particularment, a través de l'apartat de sol·licitud de dades. Les estacions meteorològiques compten amb instruments per captar temperatura, aquesta temperatura ens permet saber per tant, la temperatura màxima que hem tingut en un dia, la temperatura mínima i també la temperatura mitjana. Per aquest estudi, tenim les dades obtingudes per les estacions per un període de 14 anys, des de l'any 2006 fins al 2021. Encara que, per l'estació de l'Observatori Fabra, ens doni dades de 1995.
- Dades de teledetecció: utilitzarem tant imatges obtingudes del Sentinel-2 com imatges obtingudes del Landsat-7. Les imatges Sentinel-2 son atorgades per la plataforma Copernicus ([Open Access Hub](#)), una iniciativa de la Comissió europea i l'ESA, "European Space Agency" [European Space Agency](#), que neix per desenvolupar serveis de seguiment de l'estat del medi ambient, per lluitar contra el canvi climàtic i la seguretat en casos d'emergència. Mentre que el Landsat es un programa espacial iniciat per la NASA, que a dia d'avui continua amb la USGS, "U.S Geological Survey". Les imatges han sigut extretes des de la pàgina de LandsatLook [LandsatLook Viewer](#), una iniciativa per fer públiques imatges satel·litzats per part de la USGS. Des de el propi visor de la web, es pot escollir les ubicacions que volem obtenir, el satèl·lit del qual les volem i fins i tot, el percentatge de núvols que volem que tingui. En aquest estudi, en centrarem en l'estiu, l'època amb les temperatures més elevades i amb imatges de dies amb els mínims nombre de núvols possibles. (Wulder et al., 2019).
- Usos del sòl: Gràcies al propi ajuntament de Barcelona, podem veure com es troben distribuïts els diferents usos del sòl, d'aquesta manera, podem saber quines zones son urbanes, industrials o zones verdes. L'open data ([opendata-ajuntament.barcelona.cat](#)) es un portal creat per el propi Ajuntament de Barcelona per aportar més transparència a les institucions. Un portal públic que permet accedir a qualsevol persona, i poder fer recerca de qualsevol apartat.
- LST: Una de les dades més important que ens aporta el USGS, es la LST, Land Surface Temperature. Aquest producte, està obtingut del tractament de la capa de l'infraroig tèrmic i té diferents usos, com pot ser el control d'incendis,

la desertificació o el control del canvi climàtic. Per l'obtenció d'aquest producte, és necessari el tractament de les imatges, ja que un factor molt important és l'atmosfera i la humitat de la zona. Posteriorment a aquest tractament, obtenim la temperatura de la superfície. Aquesta temperatura però, és diferent a la temperatura que nosaltres podem percebre, igualment, aquestes temperatures estan directament relacionades, per tant, tractarem i analitzarem la temperatura de la superfície per poder comprendre les illes de calor.

4.2 Mètodes

L'anàlisi s'ha dut a terme a través de mètodes quantitius i, particularment, amb l'aplicació de una sèrie d'índexs:

1. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI):

Per calcular l'índex de vegetació d'una zona, apliquem el NDVI, Normalized Difference Vegetation Index, el qual funciona gràcies a les diferències entre dos bandes properes com son la banda del vermell (ρR) i l'infraroig proper (ρIRp) (Carlson & Ripley, 1997).

$$NDVI = \frac{\rho IRp - \rho R}{\rho IRp + \rho R}$$

2. Enhanced Vegetation Index (EVI):

Aquesta funció va ser desenvolupada per optimitzar la senyal de vegetació amb una alta sensibilitat en zones amb una elevada densitat de biomassa. La seva característica més rellevant es la inclusió de la banda blava (ρB). Els valors estàndards de les variables son: $G=2.5$, $C1=6$, $C2=7.5$ i $L=1$ (Carlson & Ripley, 1997).

$$EVI = G \times \frac{\rho IRp - \rho R}{\rho IRp + C1 \cdot \rho R - C2 \cdot \rho B + L}$$

3. Normalized Difference Built-up Index (NDBI):

D'altra banda, utilitzarem la formula per detecta les zones urbanes, aquesta càlcul el farem per poder saber en quines zones trobem més zona urbana. Aquesta formula es basa en el ús de les bandes SWIR (Short-Wavelength infrared) i la banda NIR (Near-infrared).

$$NDBI = \frac{(SWIR - NIR)}{(SWIR + NIR)}$$

4.3 Tractament de les dades

Per desenvolupar l'anàlisi s'ha dut a terme un previ tractament de les dades amb l'objectiu de obtenir els posteriors resultats. La primera dificultat ha sigut comparar les dades obtingudes per les estacions meteorològiques. Per desenvolupar l'anàlisi s'ha dut a terme un previ tractament de les dades amb l'objectiu de obtenir els posteriors resultats. La primera dificultat ha sigut comparar les dades obtingudes per les estacions meteorològiques. Quan mostrem les imatges, moltes d'elles no es poden veure amb exactitud, degut en part a que el valor que li donem a un píxel, en un rang de valors, mai sol ser el mínim o el màxim, per tant, el histograma té molts valors en el centre però pocs valors en els extrems. Aquest problema ens mostra imatges molt saturades sent una solució estirar el histograma, centrant-nos en la part del centre on més valors tenim de manera que trobem, en els rangs, d'una diferència entre els valors molt més gran. Finalment, les dades que hem de tractar son les dades meteorològiques. Primerament, s'ha eliminat les dades que no utilitzarem, com per exemple, les dades obtingudes avanç del 2006. El motiu principal es que no hi ha suficients estacions (només dues) que aportin dades significants i, per tant, no es considera un període vàlid. Ens centrarem en les dades a partir del 2006, en un període de temps de 15 anys.

5. CAS D'ESTUDI

Aquest treball es centra en el municipi de Barcelona, capital de la comunitat autònoma de Catalunya, al nord-est d'Espanya. Actualment, compta amb 1.664.182 habitants al 2020 i una superfície de 101,3 km². Més concretament, però els límits de una ciutat son molt difusos i moltes vegades ens fan perdre possibles dades importants. Per tant, els límits son, l'àrea urbana de tota la comarca de Barcelona, sobretot els municipis adjacents a Barcelona, amb Barcelona inclosa, com son Sant Adrià de Besos, Santa Coloma de Gramenet, Badalona i la part més nord-oest de de l'Hospitalet del Llobregat. Aquesta decisió està presa per poder captar amb més precisió les illes de calor, ja que el sòl urbà no es deté en un canvi de municipi, i el sòl urbà de un municipi adjacent com Badalona, pot afectar al municipi de Barcelona (Mapa 1).

Mapa 1 Cas d'estudi



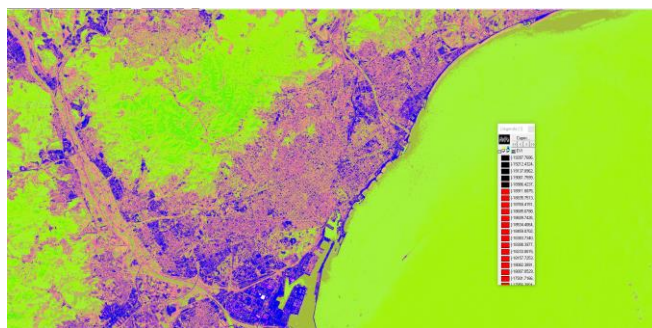
Font d'informació: Propia

6. RESULTATS

Els resultats obtinguts són molt reveladors, les zones amb menys verd, o més específicament, les zones urbanes amb una morfologia molt més densa en nombre de habitatges i, per tant, amb una superfície verda molt més petita, tenen una temperatura superior tant de dia com de nit. Les zones més fredes de Barcelona es poden situar en els barris de la zona nord, clarament molt lligat a les zones verdes i el seu aprofitament. Collserola demostra ser una de les fonts reguladores de temperatura més important de Barcelona, mentre que Montjuïc, es queda molt enrere, el seu efecte no és molt notable en les zones properes.

Parlant dels resultats dels mapes, podem fer un incís en el mapa EVI (Mapa 2), que com ja hem comentat, la seva peculiaritat es la inclusió del blau dins de la fórmula per poder veure grans quantitats de biomassa. Com podem veure, el municipi de Barcelona no es una ciutat que puguem classificar com zona amb alta biomassa per tal motiu, és complicat d'analitzar, però si que podem fer-nos una idea de quines zones urbanes estan més verdes. Trobem amb clara distinció la zona de Collserola, on sí que podem arribar a distingir diferents biomasses. Però si en centrem en la zona urbana de Barcelona, el primer que veiem es clarament Montjuïc, però podem veure com la seva zona verda no es una zona regular sinó que està tallada per diferents elements com carreters o diferents elements com el Palau Sant Jordi o el estadi olímpic Lluís Companys, que es distingeix perfectament. Un altre gran element verd el trobem molt a prop del port es el parc de la Ciutadella juntament amb el zoo de Barcelona. Una de les grans sorpreses es veure tan clarament el parc Guinardó, juntament amb el parc Güell, formant una zona verda molt gran i molt ben localitzada.

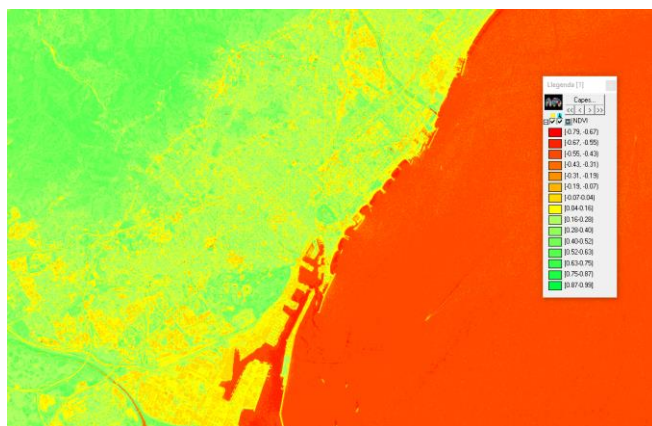
Mapa 2: Mapa EVI



Font: elaboració propia.

Si ens centrem en els resultats obtinguts en el mapa NDVI (Mapa 3), el resultat ens clarifica encara més el que ja suposava, Collserola es la zona més verda de Barcelona i Montjuïc, encara que rellevant, no té l'impacte que s'esperava. Però ens mostra amb més detalls altres factors molt importants, com són les zones amb menys zona verda, i sense cap dubte, destaca la zona del Raval. Aquesta zona situada molt a prop de Montjuïc, és de les zones amb menys verd de Barcelona. Per tant, no és d'estranyar que en els resultats de les estacions meteorològiques, tingui sempre una temperatura més elevada. També destaquen altres districtes com l'antiga Esquerra de l'Eixample, situada al nord de el Raval, creant un bloc de sòl urbanitzat amb una acumulació d'asfalt i falta de zona verda que pot arribar a ser perillós.

Mapa 3: Mapa NDVI

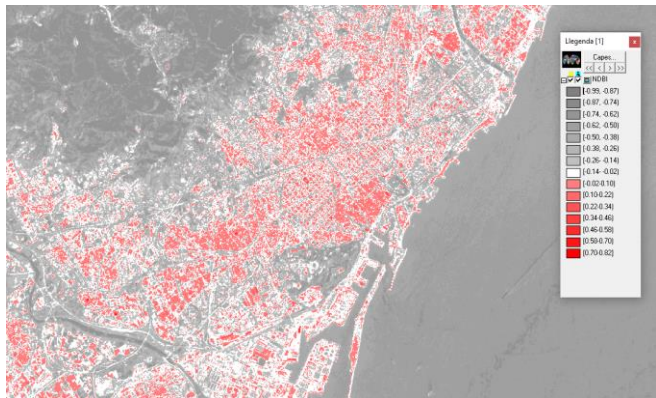


Font: Elaboració propia

Els resultats del NDBI (Mapa 4) mostren com les zones urbanes es situen per tota Barcelona, excloent clarament la zona de Montjuïc o Collserola, però podem veure una concentració elevada en certes zones. La zona industrial presenta una estructura molt particular on trobem més zones blanques que zones més vermelles. Si parlem de les zones més urbana, podem veure com el Raval es una de les zones amb un vermell més intens, i no es d'estranya, la seva morfologia de carrers irregulars i una gran densitat

d'habitatges ens fa marcar-la com un punt perillós. Seguidament trobem la zona urbana del barri de Vila de Gràcia i la zona de Collblanc.

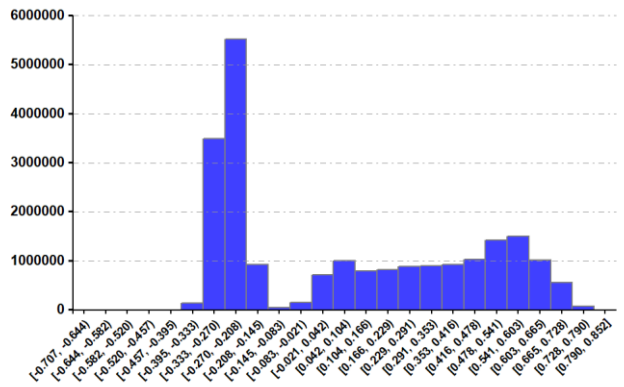
Mapa 4: NDBI



Font: Elaboració pròpia

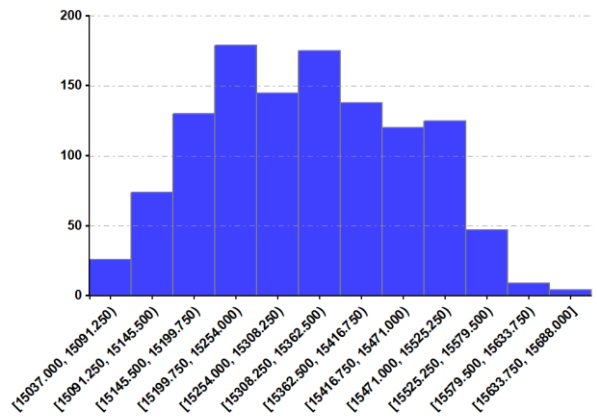
Si parlem de les estacions meteorològiques (Taula 1 i Taula 2), la temperatura mitjana mensual més elevada la trobem en l'estació meteorològica del Raval, mentre que la estació que ha captat una temperatura mitjana mensual menys elevada es la del Observatori Fabra, situada a prop del Tibidabo. Podem veure que son dos estacions clarament diferenciats, una situada en el cor d'un barri amb una alta mobilitat i una gran densitat de persones, amb poques zones verdes i l'altre una estació situada en una part elevada, sense cap tipus de urbanització propera i amb molta zona verda. Però les dades no es queden només amb això, les zones amb més temperatura màxima mensual son, la ja mencionada estació del Raval i la situada en la zona universitària. Mentre que les estacions que han registrat les mínimes temperatures màximes mitjanes mensuals son la ja anomenada, estació del Observatori Fabra i la situada en el Museu de Badalona. Finalment, si parles de les temperatures mínimes mitjanes mensuals, trobem que, un altre cop, la estació situada en el Raval, capta la temperatura màxima de les temperatures mínimes mitjanes mentre que el Observatori Fabra capta les mínimes.

Figura 1: Histograma del NDVI



Font d'informació: Histograma Obtingut del procés intern de Miramon

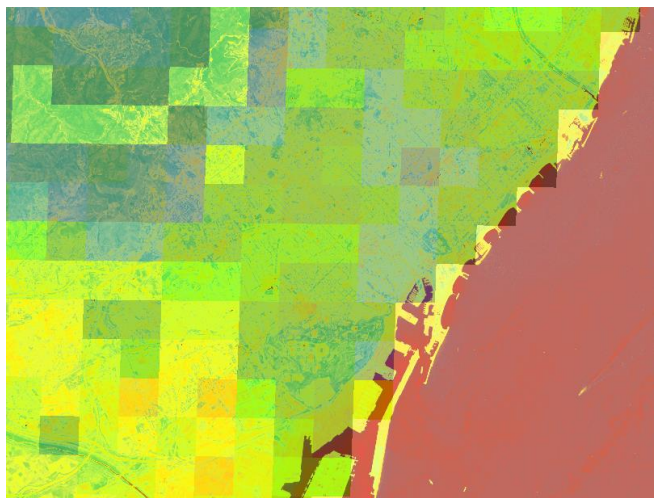
Figura 2: Histograma del LST



Font d'informació: Retall de imatge LST de MODIS

Finalment, trobem el mapa temperatura, aquest però, no es troba en una precisió exacta, la resolució mínima, el tamany del píxel, és més gran que el dels mapes anteriors. Això degut a que no hi ha cap satèl·lit a dia d'avui amb la capacitat de captar la temperatura en un detall tan precís com es capta les bandes RGB, per tant, l'anàlisi es farà en concordança amb això.

Mapa 5: Comparació entre el NDVI i el LST amb una superposició



Font d'informació: Elaboració pròpia

Figura 3: Correlació entre el NDVI i LST

```
[CorrelIMG]
RASTER_1=C:\Users\Usuario\
RASTER_2=C:\Users\Usuario\
CORRELACIO=-0.516416
PENDENT=-0.000859
ORDENADA_ORIGEN=13.525901
```

Font d'informació: Elaboració Propia

Tenint en compte l'anterior, podem veure com, les zones verdes més grans, com Collserola, tenen sempre una temperatura menor a les zones urbanes. Les zones amb més sòl urbà estan sempre amb una temperatura més elevada, com per exemple la zona industrial. També sorprèn que, Montjuïc tingui una gran aportació a la regulació de la temperatura. Veiem com la morfologia de la ciutat, la seva densitat i el verd de les zones es relaciona clarament amb la temperatura.

Per tenir una resposta molt més clara podem observar els dos histogrames, tant del NDVI, com el del LST (Figura 1 i Figura 2). Finalment, fent un procés de igualació dels píxels, passant el nostre NDVI a la resolució del LST, podem executar el procés de correlació (Figura 3), per obtenir que es troben correlacionats en un 51,6%.

7. DISCUSSIÓ

Les zones verdes urbanes a Barcelona són elements que ajuden a reduir les temperatures i, per tant, a mitigar les illes de calor que es configuren a la ciutat. Aquests resultats són similars a estudis de la mateixa matèria (Yuan et al., 2020 ; Navarro-Estupiñan et al., 2020; Grădinaru & Hersperger, 2019 ; Sodoudi et al., 2018). També hem pogut comprovar en diferents estudis, no només aportarien beneficis tèrmics sino que les zones verdes són un factor beneficiós per diferents àmbits de la nostra vida, com pot ser el nivell de felicitat o diferents factors psicològics (MacKerron & Mourato, 2013). Però, no només hem de parlar de les zones verdes quan parlem de les illes de calor, diferents estudis concorden amb aquest en què factors com el tipus d'edificis també són un factor clau en la regulació de la temperatura (Yuan et al., 2020).

Per lluitar contra les illes de calor, s'han fet diferents propostes, trobem des de el disseny de noves ciutats amb la incorporació de més zones verdes (Wang et al., 2021) o la inclusió de les zones verdes en la pròpia ciutat amb projectes com el de façanes verdes. Aquest factor neixen de l'augment del asfalt i la desaparició de les zones verdes provoca una menor superfície capaç d'absorbir l'aigua, sense fer la evaporació, les zones urbanes augmenten la temperatura (Alcott, 2005). El creixement descontrolat de les illes de calor també està relacionat amb la expansió de les ciutats i l'abús dels vehicles (Alcott, 2005). En comparació a diferents estudis, hem pogut veure com les zones més densament poblades, amb més tràfic i que no tenen zones verdes important en les proximitats, són les zones que no només té més temperatura màxima durant el dia sinó que també solen ser les zones que tenen una temperatura màxima més elevada durant la nit.

8. CONCLUSIÓ

Podem concloure aquest estudi amb la conclusió de que les zones verdes si són una forma de lluitar contra les illes de calor. El verd urbà ha demostrat que està relacionat directament amb la temperatura, les zones amb més verd tenen temperatures més baixes, mentre que les temperatures més altes les trobem en zones amb menys verd. Però també hem de tindre en compte diferents factors per afirmar que és la millor forma. La densitat de població, l'estructura dels edificis, el nombre de vehicles o la altitud són factors que afecten igualment a l'augment o disminució de la temperatura. També hem de dir que aquest estudi només es pot realitzar gràcies a les millores constant en els satèl·lits i en el camp de la teledetecció, des de l'augment de la resolució en les bandes, fins als nous programes per poder realitzar els càlculs pertinents. Però que encara queda molt per desenvolupar i la millora dels LST, una tecnologia relativament nova i que ens permet veure la temperatura que es capta per els sensors d'una manera molt precisa, però que encara es pot millorar ja que la seva resolució és massa gran per fer estudis en zones molt petits. Finalment, fer

menció a la necessitat d'un estudi molt més complet per poder fer polítiques públiques, un estudi amb més continuïtat en el temps, amb productes de teledetecció més precisos i amb millors fórmules pot fer-nos veure quines zones són més perilloses i quines necessiten més mesures de prevenció. Proposem diferents mesures que es poden prendre per contribuir a la disminució de les illes de calor: augmentar el nombre de zones verdes i, paral·lelament, augmentar la conscienciació de la necessitat d'aquestes i el seu adequat ús. També trobem el disseny de noves zones urbanes amb més verd i projectes per portar el verd a zones que les necessiten com pot ser el projecte "Cold Roofs" o diferents iniciatives per verdificar les façanes dels edificis. Un pas imprescindible, es el tindre cura de les zones que ja tenim, ja que sense aquestes, la nostra vida seria molt pitjor. Fent autocrítica a aquest treball, hagués sigut un treball molt més precís amb productes de teledetecció molt més precisos, amb un programari més potent. D'aquesta forma la eficiència i les afirmacions poden arribar a ser molt més rotundes.

9. AGRAÏMENTS

Primerament, donar les gracies al meu tutor de TFG, Rafael Vicente, sense el qual res d'això seria impossible. També agrair profundament a en Lluís Pesquer i Alaitz Zabala, per el seus coneixements i tots els consells que m'han aportat. Finalment, agrair a la meva família, amics i a la meva parella per donarme sempre suport.

10. BIBLIOGRAFIA

Ajuntament de Barcelona. (2013). Plan del verde y de la biodiversidad de Barcelona 2020. https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/sites/default/files/PlanVerde_202.pdf

Alcott, B. (2005). Jevons' paradox. *Ecological Economics*, 54(1), 9-21. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.03.020>

Block, A. H., Livesley, S. J., Williams, N. S. G. (2012) Responding to the Urban Heat Island : A Review of the Potential of Green Infrastructure, 1-62. <https://staging.2020vision.com.au/media/1026/responding-to-the-urban-heat-island-a-review-of-the-potential-of-green-infrastructure.pdf>

Carlson, T. N., Ripley, D. A. (1997), On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index, 62(3), 241-252. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425797001041?pes=vor>

Chrysanthi, P. K., Raghuram, S., Ramamritham, K. (1991), Extracting concurrency from objects: A methodology

61702, 108-117 <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=115790.115803>

Deng, J., Huang, Y., Chen, B., Tong, C., Liu, P., Wang, H., Hong, Y., (2019), A Methodology to Monitor Urban Expansion and Green Space Change Using a Time Series of Multi-Sensor SPOT and Sentinel-2A Images 11(10),1230 <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/10/1230>

FULADLU, K., RİZA, M., İLKAN, M., (2018), the Effect of Rapid Urbanization on the Physical Modification of Urban Area 1-9 <https://dx.doi.org/10.14621/tna>.

Grădinaru, S. R., & Hersperger, A. M. (2019). Green infrastructure in strategic spatial plans: Evidence from European urban regions. *Urban Forestry and Urban Greening*, 40(April 2018), 17-28. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.04.018>

Hamada, S., Ohta, T., (2010) Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas, 9(1), 15-24 <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2009.10.002>

Instituto Geográfico Nacional (2018), 3D Analyst y ArcGlobe. Teledetección, <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>

Irons, J. R., Dwyer, J. L., Barsi, J. A., (2012), The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission 122, 11-21 <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.026>

Kalnay, E., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Jenne, R., & Joseph, D. (1996). The NCEP-NCAR 40-year reanalysis project. 1996.pdf. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3), 437-472. [https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0477\(1996\)077%3C0437%3ATNYRP%3E2.0.CO%3B2](https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0477(1996)077%3C0437%3ATNYRP%3E2.0.CO%3B2)

López de Lucio, R., (1993), R. Ciudad y urbanismo a finales del siglo XX, 280 oa.upm.es/13414/1/CIUDADYURBANISMOFINALESS.XX.pdf

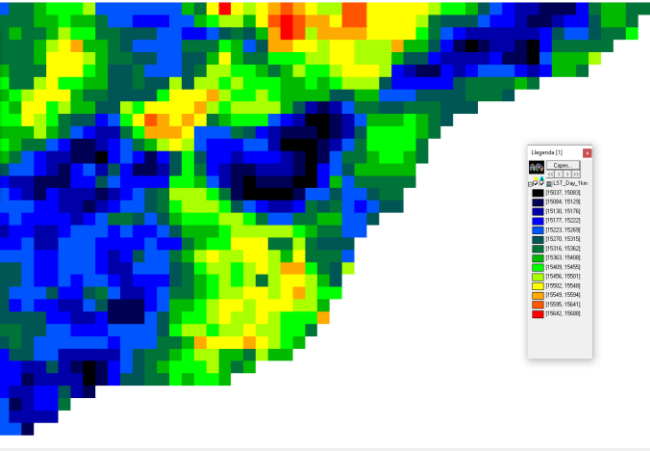
MacKerron, G., & Mourato, S. (2013). Happiness is greater in natural environments. *Global Environmental Change*, 23(5), 992-1000. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.03.010>

- MacKerron, G., Mourato, S. (2013), Happiness is greater in natural environments, 23(5), 992-1000
<http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.03.010>
- Martin-Vide, J., Moreno-Garcia, M. C., (2020), Probability values for the intensity of Barcelona's urban heat island (Spain), 240(October 2019), 104877
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104877>
- Martín-Vide, J., M. Artola, V., Cordobilla, M. J., Moreno, M. C., (2015), La isla de calor en el área metropolitana de Barcelona y la adaptación al cambio climático, 101
<http://www.amb.cat/ca/web/medi-ambient/actualitat/publicacions/detall/-/publicacio/la-isla-de-calor-en-el-area-metropolitana-de-barcelona-y-la-adaptacion/5773152/11818>
- Marull, J., Torabi, P., Padró, R., Alabert, A., La Rota, M. J., Serrano, T. (2020), Energy-Landscape optimization for land use planning. application in the barcelona metropolitan area, 431(April), 109182
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109182>
- Mell, I.C., (2008), Green Infrastructure : concepts and Planning, 8(June), 69-80
 volume8issue1.indd (d1wqtxts1xzle7.cloud-front.net)
- Mell, I.C., (2020), The impact of austerity on funding green infrastructure: A DPSIR evaluation of the Liverpool Green & Open Space Review (LG&OSR), UK, 12(21), 1-19
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264837719300869>
- Navarro-Estupiñan, J., Robles-Morua, A., Díaz-Caravantes, R., & Vivoni, E. R. (2020). Heat risk mapping through spatial analysis of remotely-sensed data and socioeconomic vulnerability in Hermosillo, México. Urban Climate, 31(July 2019), 100576.
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100576>
- Oliveira, S., Andrade, H., Vaz, T. (2011), The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon, 46(11), 2186-2194.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.04.034>
- Olivier, J. G. J., Van Aardenne, J. A., Dentener, F. J., Pagliari, V., Ganzeveld, L. N., P., Jeroen A. H. W. (2005), Recent trends in global greenhouse gas emissions: regional trends 1970-2000 and spatial distribution of key sources in 2000, 2(2-3), 81-99
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15693430500400345>
- Sodoudi, S., Zhang, H., Chi, X., Müller, F., & Li, H. (2018). The influence of spatial configuration of green areas on microclimate and thermal comfort. Urban Forestry and Urban Greening, 34, 85-96.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.06.002>
- Wang, C., Turner, V. K., Wentz, E. A., Zhao, Q., & Myint, S. W. (2021). Optimization of residential green space for environmental sustainability and property appreciation in metropolitan Phoenix, Arizona. Science of the Total Environment, 763, 144605.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144605>
- Wulder, M. A., Loveland, T. R., Roy, D. P., Crawford, C. J., Masek, J. G., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., Belward, A. S., Cohen, W. B., Dwyer, J., Erb, A., Gao, F., Griffiths, P., Helder, D., Hermosilla, T., Hipple, J. D., Hostert, P., Hughes, M. J., ... Zhu, Z. (2019). Current status of Landsat program, science, and applications. Remote Sensing of Environment, 225(March), 127-147.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.015>
- Yinfei, D., Zheng, H., Jiaqi, C., Weizheng, L., (2018), A novel strategy of inducing solar absorption and accelerating heat release for cooling asphalt pavement, 159(October 2017), 125-133
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.10.086>
- Yuan, C., Adelia, A. S., Mei, S., He, W., Li, X. X., & Norford, L. (2020). Mitigating intensity of urban heat island by better understanding on urban morphology and anthropogenic heat dispersion. Building and Environment, 176(March), 106876.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106876>
- Zhou, X., Wang, Yi C., (2011), Spatial-temporal dynamics of urban green space in response to rapid urbanization and greening policies, 100(3), 268-277.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.12.013>
- Zinzi, M., Agnoli, S. Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region 55, 66-76
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.024>
- Zoulia, I., Santamouris, M., Dimoudi, A., (2009), Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens, 156(1-4), 275-292.
<http://link.springer.com/10.1007/s10661-008-0483-3>

APÈNDIX

A1. IMATGES LST

Mapa 6: Retall fent zoom a el cas d'estudi del LST de MODIS



Font: LST de MODIS

A2. TAULES METEOCAT

Taula 1: Dades de les estacion meteorològiques

Codi EMA	Nom EMA	Comarca	Data inici	Data Final	X UTM (m)	Y UTM (m)	Z (m)
D5	Barcelona- Observatori Fabra	Barcelonès	35006		426777	4585602	411
DH	Badalona - Mas Ram	Barcelonès	35877	38603	437558	4591912	126
WU	Badalona - Museu	Barcelonès	38616		437154	4589225	42
X2	Barcelona - Zoo	Barcelonès	38982		432152	4582307	7
X4	Barcelona - el Raval	Barcelonès	39001		430414	4581709	33
X8	Barcelona-Zona Universitària	Barcelonès	39555		425195	4581239	79

Font: Meteo.cat

Taula 2: Dades de les variables mesurades

Abreviació	Nom Variable (Dades Mensuals)	Unitat
TMm	Temperatura mitjana mensual	°C
TXx	Temperatura màxima absoluta mensual + data	°C
TNn	Temperatura mínima absoluta mensual + data	°C
TXm	Temperatura màxima mitjana mensual	°C
TNm	Temperatura mínima mitjana mensual	°C

Font: Meteo.cat