

**Autor/s:** Pérez, F., Alamús, R., López, A.  
**Títol:** Determinació del mapa d'illa de calor a partir de dades hiperespectrals tèrmiques: el cas de Badalona  
**Publicat a:** Revista Catalana de Geografia  
IV època / volum XXV / núm. 60 / abril 2020  
**Font:** -  
**URL:** <http://www.rcg.cat/articles.php?id=489>

## **Determinació del mapa d'illa de calor a partir de dades hiperespectrals tèrmiques: el cas de Badalona**

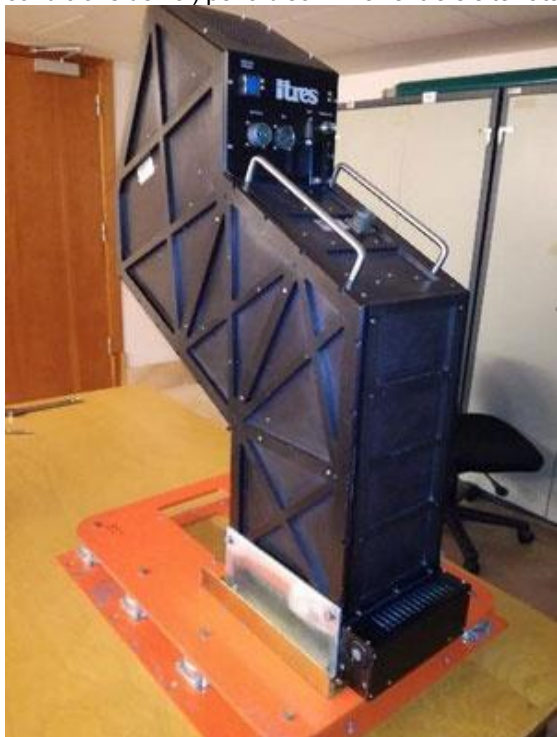
**Fernando Pérez, Ramon Alamús i Antonio López**  
Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

### **Introducció**

El mapa d'illa de calor (en anglès *Urban Heat Island* -UHI) es deriva de les dades adquirides al voltant de la mitjanit pel sensor tèrmic hiperespectral aeroportat que opera l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC).

Com que el sensor tèrmic hiperespectral de l'ICGC anomenat TASI recull 32 bandes de la radiació tèrmica emesa per la superfície en un rang espectral de 8-1,5  $\mu$ m, es recupera una imatge de temperatura geocodificada de cada vol que es corregeix mitjançant el perfil atmosfèric proporcionat per estacions meteorològiques automàtiques més properes a la [xarxa METEOCAT](#). Posteriorment s'aplica una tècnica de separació de la temperatura en vers l'emissivitat tèrmica (TES) adaptada a les propietats espectrals del sensor TASI.

Pel que fa a l'anàlisi d'UHI, el tema d'interès és la temperatura de l'aire a nivell de carrer, per tant, es deriva una veritable ortoimatge de la imatge de temperatura (a una resolució espacial o GSD al voltant de 2 metres segons les condicions de vol) per a discriminar entre els terrats i el carrer.



**Figura 1.** Aspecte de la instal·lació operacional del sensor tèrmic hiperespectral.

Els fenòmens de la UHI estan relacionats amb el gradient de temperatura (a causa de factors antropogènics) entre els sectors densament urbanitzats i les zones rurals properes. Atentent a aquestes característiques, se selecciona un conjunt de zones rurals lliures de bosc, edificis o hivernacles per avaluar la temperatura mitjana a les zones rurals. Aquesta temperatura mitjana es converteix en la temperatura mitjana de referència rural.

A continuació, es calcula el mapa UHI com a resta de la temperatura de referència rural a l'ortoimatge de temperatura prèviament calculada. La imatge UHI resultant és el gradient respecte a la temperatura de referència (representada com a zero) i les línies de contorn isotèrmic es representen cada increment de 0,5°.

### Illa de calor de Badalona

Aquest projecte es porta a terme usant unes dades captades amb la finalitat d'analitzar principalment l'eficiència tèrmica de les cobertes de polígons industrials. Aquestes dades recobreixen la totalitat del municipi de Badalona i s'han captat amb un vol realitzat a mitjanit, on les condicions de termalització i, per tant, de similitud entre temperatura superficial i de l'aire són més similars.

#### Campanya de vol i sensors

La UHI de Badalona es va calcular a partir de les dades captades en el doble vol nocturn del 15 de desembre de 2017 amb el sensor tèrmic hiperespectral TASI.

En el cas de Badalona, la recollida de dades tèrmiques a partir d'un sensor aeroportat (TASI) té un doble abast: l'anàlisi del comportament tèrmic-UHI i l'anàlisi d'eficiència tèrmica de cobertes industrials, essent l'objectiu del projecte la detecció de fuites de calor de cobertes de naus industrials i la seva eficiència tèrmica associada.

En aquest article ens centrarem en les dades emprades per a l'anàlisi del comportament tèrmic-UHI a escala urbana de Badalona.

El paràmetre clau tant per a la detecció de possibles fuites de calor dins la coberta de naus industrials com per a la caracterització del seu material més característic és la resolució espacial de les imatges hiperespectrals a emprar. Les restriccions en termes d'aeronavegació i en particular pel que fa a vols nocturns sobre l'àmbit de Badalona ens van condicionar l'alçada de vol i, per tant, la resolució espacial o grandària de píxel que en aquest cas era de 4x4 m<sup>2</sup>. La informació més detallada sobre els paràmetres de vol es troba disponible a la taula 1.

Sensor TASI	
Camp de visió aproximat	40°
Alçada de vol aproximat	3 297 m
Resolució espectral	32 bandes
Píxels per línia captada	600 píxels
Amplada píxel	4 m
Llargada píxel	4 m
Dallada (SWATH)	2 200 m

Taula 1. Paràmetres de vol per al projecte.

No obstant, cal remarcar que la natura de les imatges de temperatura i la seva resolució espacial fan que aquestes imatges siguin totalment apropiades per a l'estudi del comportament tèrmic-UHI.

El TASI és un sensor tèrmic hiperespectral d'escombratge (tipus *pushbroom*) basat en una tecnologia CMOS ( *Complementary Metal Oxide Semiconductor* ) que proporciona informació espectral en 32 bandes de 110 nm (nanòmetres) d'amplada i distribuïdes dins el rang espectral de 8 µm a 11.5 µm, com es detalla a la taula 2.

Banda	µm	Banda	µm	Banda	µm	Banda	µm
1	8,000	9	8,904	17	9,808	25	10,712
2	8,113	10	9,017	18	9,921	26	10,825
3	8,226	11	9,130	19	10,034	27	10,938
4	8,339	12	9,243	20	10,147	28	11,051
5	8,452	13	9,356	21	10,260	29	11,164
6	8,565	14	9,469	22	10,373	30	11,277
7	8,678	15	9,582	23	10,486	31	11,390
8	6,791	16	9,695	24	10,599	32	11,503

Taula 2. Configuració espectral del sensor TASI.

El pla de vol de la zona de treball va ser definit tenint en consideració la topografia i orientant les passades per tal de fer el millor recobriment amb el menor nombre d'adquisicions. A la figura 2 es pot observar la petjada de les 5 passades que es van dissenyar per cobrir la zona d'interès. El sentit de les passades es defineix com positiu si s'inicien pel sud o negatiu si s'inicien pel nord. Les línies blaves indiquen l'eix planificat de les passades en imatges.



Figura 2. Pla de vol sobre Badalona. Data de vol 15/12/2017.

El procés d'adquisició de les dades TASI sobre Badalona es va dur a terme amb dos vols la nit del 15 al 16 de desembre de 2017, un primer a mitjanit i un segon abans de l'alba. Les dades a emprar en aquest projecte corresponen al primer vol dels dos realitzats, ja que és en el vol de mitjanit on millor es poden veure els efectes de l'illa de calor.

La taula 3 mostra els noms de les imatges obtingudes que s'han utilitzat per a l'elaboració d'aquest projecte, amb l'hora d'inici i final de cada passada en temps UTC (cal sumar 1 hora per obtenir l'hora local). Durant el temps de vol les condicions meteorològiques van ser en general bones.

Codi passada	Nom imatge TASI	Hora inici	Hora final
1	BA01_P1N_T046F06	23:30	23:33
2	BA02_P1P_T046F05	23:23	23:27
3	BA03_P1N_T046F04	23:17	23:20
4	BA04_P1P_T046F03	23:11	23:14
5	BA05_P1N_T046F02	23:04	23:07
6	BA06_P1N_T046F01	22:59	23:01

Taula 3. Imatges adquirides pel sensor TASI el dia 15/12/2017 entre les 23:00 i les 23:30 hores UTC.

### Correcció radiomètrica i geomètrica de les dades

El sensor TASI es calibra en dos passos bàsics que són el calibratge espectral, on es porta a terme la caracterització del rang espectral de l'instrument, i el calibratge radiomètric o determinació dels coeficients de calibratge radiomètric. El resultat d'aquest procés és la determinació del conjunt de coeficients necessaris per transformar els valors digitals (*digital numbers* o DNs) en valors de radiància.

Simultàniament a la captació de les imatges, un sistema Applanix recull les dades d'orientació. Aquest sistema inclou un GPS que recull la posició del sensor i proporciona un marc de temps, i un sistema inercial que registra els moviments angulars del sensor. La informació obtinguda d'aquests subsistemes proporciona la trajectòria (temps, posició i actitud per a cada línia de la imatge).

Mitjançant un model d'elevacions del terreny (MET) i la trajectòria es realitza la rectificació o correcció geomètrica.

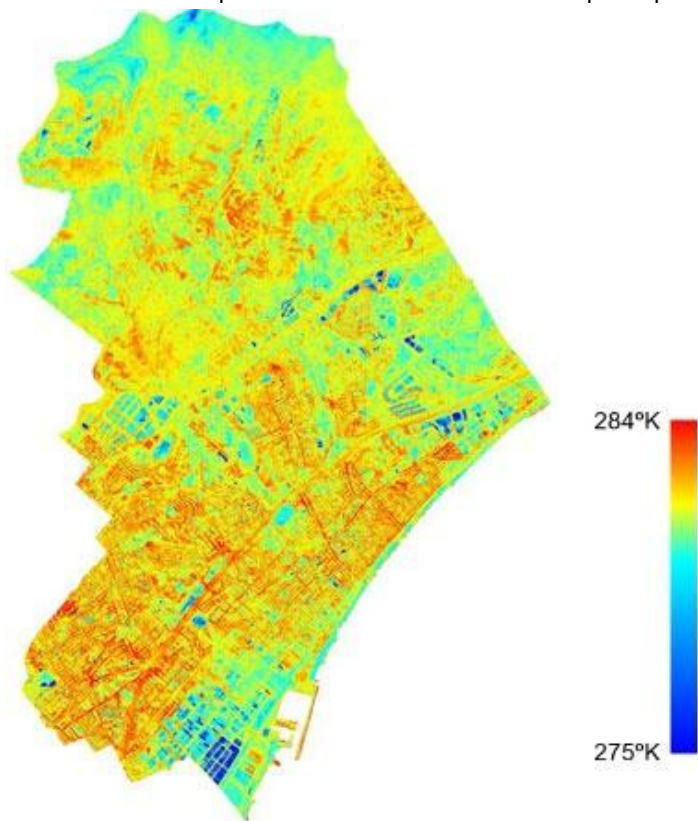
Cal observar que les característiques del projecte requereixen poder separar entre píxels de cobertes d'edificis i píxels del sòl (nivell carrer) ja que en zona urbana les cobertes, més ventilades que els carrers, poden tenir una temperatura significativament inferior a la temperatura dels carrers.

Per aquest motiu s'ha emprat un MET que considera els edificis, extret a partir de dades lidar, i la rectificació s'ha fet detectant les parts ocultes. D'aquesta manera es garanteix que no hi ha valors de píxels de cobertes d'edificis que, una vegada rectificats, siguin al carrer.

### Recuperació de temperatura

La finestra espectral del sensor TASI cobreix la part més significativa de l'infraroig tèrmic (*Thermal InfraRed* o TIR) i permet la recuperació d'informació quantitativa sobre la temperatura de la coberta observada i l'espectre d'emissivitats que es pot arribar a relacionar amb la seva composició química. En el cas d'adquisicions TIR, el paràmetre de temperatura i l'espectre d'emissivitat s'acoblen a l'hora de determinar la quantitat de radiació tèrmica emesa per la coberta observada que arriba al sensor.

La recuperació quantitativa del paràmetre de temperatura absoluta, clau per a diferents aplicacions, passa per un procés addicional de correcció atmosfèrica (codi ModTRan5.0 amb informació atmosfèrica simultània als vols) i desacoblament de l'espectre d'emissivitat anomenat TES (*Temperature and Emissivity Separation*). El resultat del TES és un valor de temperatura absoluta i un vector de 32 emissivitats per a cada píxel de la imatge. En la figura 3 hi ha el mosaic de temperatura absoluta en tota l'àrea captada pel sensor TASI.



**Figura 3.** Mosaic d'imatge de temperatures (expressades en graus Kelvin) del vol de Badalona del 15 de desembre de 2017 efectuat entre les 23:00 i les 23:30 hores UTC.

### Càlcul Comportament tèrmic-UHI

El terme *illa de calor urbana* fa referència a una àrea urbana que està significativament més calenta que les àrees rurals veïnes o de referència (punt 3.3 passada de vol 6) a causa de l'activitat antropogènica (segons la literatura científica, amb diferències superiors als 4-4.5°C es pot parlar d'illa de calor).

Cal notar que la temperatura a *nivell de carrer*, és a dir, per sota de l'alçada dels edificis, representa millor la temperatura de la zona urbana on té lloc l'activitat de les persones. La temperatura a nivell de carrer és usualment superior a la temperatura de terrats i cobertes d'edificis, ja que aquestes estan més obertes i ventilades. Cal, doncs, tenir en compte els edificis per tal de calcular l'efecte d' *illa de calor a nivell de carrer*.

Per tant, a més de la imatge tèrmica, per a fer una anàlisi de la possible illa de calor urbana cal disposar d'informació addicional:

- temperatura de referència de l'àrea rural veïna
- capa de cobertes: edificis

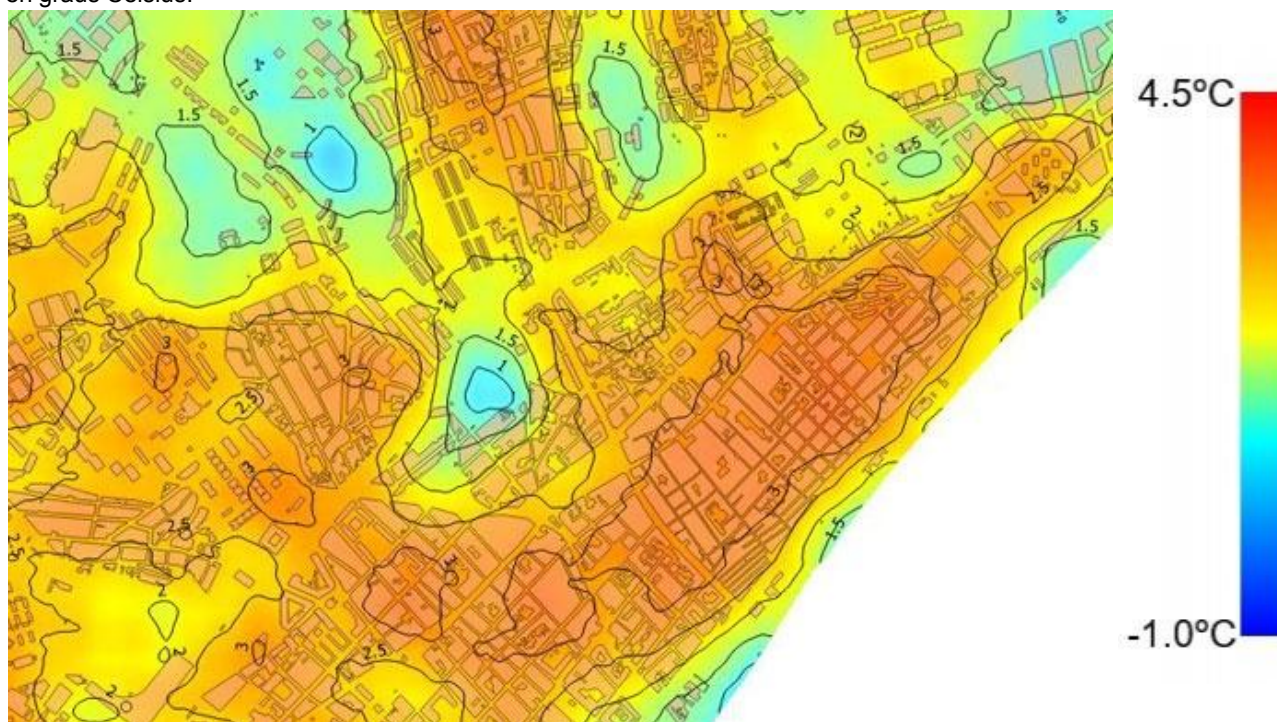
El resultat del procediment descrit en aquesta secció és un mapa ràster de comportament tèrmic-UHI a nivell de carrer i un mapa vectorial de corbes isotèrmiques en graus Celsius que representen l'increment de temperatura respecte a la temperatura de la zona de referència rural.

En la figura 4 es pot veure un detall dels resultats sobre el casc antic de Badalona de la imatge d'illa de calor a nivell de carrer (gamma de colors entre el blau i el vermell), les corbes isotèrmiques derivades d'aquest mapa (les



etiquetes de les corbes de nivell estan en graus Celsius i estan espaiades cada 0,5°C) i sobre imposat es poden apreciar els edificis (capa de cobertes referenciada en la secció 6.2).

Cal notar que, tant en el mapa comportament tèrmic-UHI a nivell de carrer com de les corbes isotèrmiques derivades, la variable en estudi és l'increment de temperatura enregistrada respecte a la temperatura de referència en graus Celsius.



**Figura 4.** Detall de l'illa de calor a nivell de terra. La imatge ràster de l'illa de calor així com les corresponents corbes de nivell tenen sobre imposat el vectorial de les cobertes.