

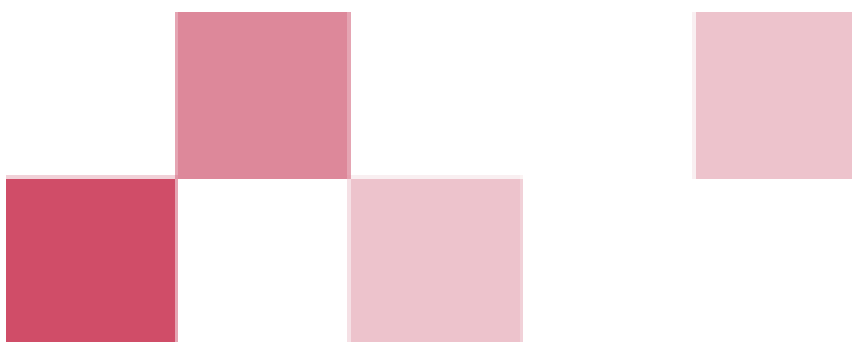
Actuació N°

5.3.1

La calor en un futur: Índex de vulnerabilitat al canvi climàtic (IVAC)

Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona

MARÇ 2022



Projecte encarregat per: Àrea Metropolitana de Barcelona



Elaborat per: Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona



COORDINACIÓ

Elena Domene (IERMB)
Elena Lacort (AMB)
Brenda Saavedra (AMB)

AUTORES

Marta Garcia-Sierra (IERMB)
Elena Domene (IERMB)

SUPORT TÈCNIC

Núria Ruíz (Servei d'Estadística, IERMB)
Marta Andreu (Servei de Cartografia, IERMB)

COL·LABORACIÓ

Irene Cruz (IERMB)
Sergio Porcel (IERMB)
Elena Lacort (AMB)
Brenda Saavedra (AMB)
Sergi Pérez (AMB)
Ana Romero (AMB)

Bellaterra, juny de 2022



ÍNDIX DE CONTINGUTS

1	INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS	5
2	MARC TEÒRIC	7
	2.1 Definició de la vulnerabilitat social al canvi climàtic	7
	2.2 Factors de vulnerabilitat a l'augment de les temperatures.....	9
3	ENFOCAMENT METODOLÒGIC	11
	3.1 Selecció dels indicadors de vulnerabilitat al canvi climàtic	12
	3.2 ACP i construcció de l'índex de vulnerabilitat al canvi climàtic (IVAC)	25
	3.3 Anàlisi espacial i creació de mapes de <i>punts calents</i> i <i>punts freds</i>	26
	3.4 Indicadors climàtics	27
4	MAPEIG DE LA VULNERABILITAT AL CANVI CLIMÀTIC	31
	4.1 La construcció de l'índex (ACP)	31
	4.2 L'Índex de Vulnerabilitat al canvi climàtic (IVAC).....	33
5	PUNTS CALENTS I PUNTS FREDS DE VULNERABILITAT	36
	5.1 Punts calents de vulnerabilitat al canvi climàtic	36
	5.2 Superposició de l'IVAC amb els indicadors climàtics.....	39
	5.3 L'IVAC i la xarxa metropolitana de refugis climàtics	45
6	OBSERVACIONS FINALS	48
7	REFERÈNCIES	52
8	ANNEX	56

1 INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

L'estudi de la vulnerabilitat social al canvi climàtic i la seva relació amb l'adaptació és un camp relativament nou a Europa i que ha pres un paper rellevant en les polítiques urbanes, tot considerant que el 73% de la població europea viu en ciutats. La crisi econòmica que s'iniciava el 2008 i la crisi sanitària actual han augmentat els nivells de pobresa i d'exclusió en moltes ciutats europees sent Espanya un dels països amb un increment més important de població vivint en situació de pobresa. A més a més, s'espera que el canvi climàtic impacti de forma adversa en les zones urbanes amb esdeveniments extrems que poden afectar a les infraestructures i a les condicions de vida de la població (Carmichael et al, 2017).

D'entre els riscos climàtics, l'augment de les temperatures és un dels que està rebent més interès a causa dels efectes sobre la salut humana. La recent onada de calor de juny de 2021 a l'oest americà i del Canadà va donar lloc a algunes de les temperatures més altes mai enregistrades a la regió, incloent-hi la temperatura més alta mai mesurada al Canadà, de 49,6 ° C. S'estima que va provocar prop de 1000 morts (Silberner, 2021). A banda de les morts també va tenir altres efectes negatius, com l'augment dels incendis forestals, danys a la infraestructura viària i ferroviària, l'aturada de l'activitat econòmica i cultural i grans pèrdues de cultius a tota la regió. A Europa, l'estiu de l'onada de calor del 2003 que va provocar més de 70.000 morts, es preveu que sigui un estiu "mitjana" l'any 2100 en un escenari en què la temperatura mitjana global hauria augmentat al voltant de 4 °C (Hallegatte, 2016). Amb el canvi climàtic augmentarà la intensitat i la freqüència dels períodes extrems de calor, amb les subseqüents conseqüències per a la salut de la població (IPCC, 2012). En aquest sentit, el territori metropolità s'ha identificat com una zona urbana amb una elevada vulnerabilitat al canvi climàtic (Giorgi, 2006) i s'espera que experimenti una freqüència creixent d'onades de calor més duradores i més severes (Ballester et al., 2009; Altava et al., 2015).

És conegut que els impactes del canvi climàtic no afectaran tothom de la mateixa manera, sinó que tindran efectes més perjudicials sobre els grups de població més vulnerable. Aquests grups inclouen persones amb una posició socioeconòmica baixa (ingressos, educació, poder polític), amb privacions materials i condicions físiques preexistents dolentes (per exemple, habitatges en mal estat), que a sobre poden acumular altres perjudicis, com una qualitat ambiental dolenta i més exposició (manca d'espai verd i qualitat de l'aire), i que en definitiva tenen més dificultats per preparar-se i recuperar-se dels impactes del canvi climàtic (Otto et al., 2017). Les mesures d'adaptació que s'implementin sense considerar les necessitats d'aquests grups socials més vulnerables podrien intensificar les desigualtats ja existents envers les conseqüències del canvi climàtic. A la majoria de ciutats europees, encara hi ha una consciència limitada sobre aquest problema i sobre la necessitat d'avaluacions i disseny de polítiques d'adaptació dirigides a grups vulnerables (Wolf et al., 2009; Wolf i McGregor, 2013).

L'objectiu general d'aquest projecte és realitzar i cartografiar un índex de vulnerabilitat al canvi climàtic (IVAC) per a l'àmbit metropolità. En aquesta actuació es posarà el focus en els riscos provocats per l'augment de les temperatures i en algunes de les mesures d'adaptació que s'hi estan implementant al respecte, com n'és la creació de la xarxa metropolitana de refugis climàtics.

Els objectius específics de l'estudi inclouen:

- i. Definir com s'entén la vulnerabilitat social al canvi climàtic lligada a les polítiques urbanes d'adaptació.
- ii. A partir d'aquesta definició, seleccionar els indicadors més adequats disponibles per donar compte de la multidimensionalitat de la vulnerabilitat climàtica, posant el focus en

l'augment de les temperatures, i crear un índex de vulnerabilitat al canvi climàtic (IVAC) a escala metropolitana. L'escala de treball serà la secció censal.

- iii. Mapejar l'IVAC i elaborar una anàlisi espacial que permeti avaluar en quines zones urbanes dins de l'àmbit hi ha una concentració important de potencials greuges climàtics sobre la població més vulnerable, quant a augment de les temperatures i freqüència, durada i severitat de les onades de calor.
- iv. Per últim es creuarà la informació amb la xarxa metropolitana de refugis climàtics per poder avaluar com és de desigual la distribució dels riscos i de la vulnerabilitat dels diferents grups.

Els resultats obtinguts podran informar el disseny d'estratègies d'adaptació al canvi climàtic a l'àmbit metropolità que cerquin disminuir les desigualtats socials causades pels impactes del canvi climàtic i crear solucions d'adaptació més justes.

La resta del document s'estructura de la següent manera. L'apartat 2 inclou el marc teòric. L'apartat 3 introdueix la metodologia de creació de l'índex de vulnerabilitat al canvi climàtic (IVAC), de l'anàlisi espacial, i les fonts de dades. L'apartat 4 descriu els resultats de l'anàlisi de components principals (ACP), a partir de la qual s'ha creat l'índex de vulnerabilitat al canvi climàtic (IVAC) d'àmbit metropolità i presenta l'Índex de vulnerabilitat al canvi climàtic (IVAC). L'apartat 5 presenta els resultats de l'anàlisi espacial d'identificació de punts freds i punts calents de vulnerabilitat al canvi climàtic. Finalment, al darrer apartat es resumeixen els principals resultats i s'apunten algunes idees rellevants per informar el disseny de mesures d'intervenció en l'àmbit metropolità.

2 MARC TEÒRIC

2.1 Definició de la vulnerabilitat social al canvi climàtic

La vulnerabilitat social és part d'un concepte més ampli de vulnerabilitat, que aplicada al canvi climàtic, mesura el potencial o predisposició dels efectes adversos del canvi climàtic sobre el medi ambient i la societat, posant el focus en la dimensió humana dels perills naturals. Tot i que encara no existeix una definició consensuada sobre la vulnerabilitat social al canvi climàtic i aquest terme s'utilitza, es defineix i es conceptualitza de moltes maneres diferents (Eakin i Luers 2006), sovint es lliga a conceptes com ara exposició, risc, resiliència, sensibilitat climàtica i capacitat d'adaptació (Füssel i Klein, 2006). La definició d'aquests conceptes, dels grups socials o demogràfics que són vulnerables i l'establiment de límits en els sistemes naturals i socials més enllà dels quals augmenta substancialment la vulnerabilitat de grups socials específics, són els principals elements que apareixen en la literatura relacionada amb la vulnerabilitat social al canvi climàtic (Breil et al., 2018).

El terme de vulnerabilitat al canvi climàtic ha anat evolucionant des de les primeres definicions aportades en els primers informes del Panel Intergovernamental del Canvi Climàtic (IPCC, segons sigles en anglès), fins a les més recents (dels informes del 2012 en endavant). Al contrari del que succeïa en les primeres definicions, on la vulnerabilitat es considerava com un resultat, una conseqüència final d'una sèrie de processos, darrerament la vulnerabilitat es considera com el conjunt de factors que fan que es pateixin els efectes del canvi climàtic d'una forma més intensa. Així doncs, la vulnerabilitat es defineix com un factor predisposant determinat pel context socioeconòmic, polític i ambiental que augmenta la susceptibilitat cap a un determinat efecte advers (Cardona et al., 2012).

Segons el cinquè informe d'avaluació de l'IPCC (IPCC AR5), l'exposició és "la presència de persones, mitjans de subsistència, espècies o ecosistemes, funcions ambientals, serveis i recursos, infraestructures o béns econòmics, socials o culturals en llocs i entorns que es puguin veure afectats negativament" i la vulnerabilitat és "la propensió o predisposició a ser afectada negativament". Exposició i vulnerabilitat, són diferents, per tant. L'exposició és un factor determinant del risc, però no suficient per captar la complexitat del fenomen 'vulnerabilitat'. És a dir, es pot estar exposat però no ser vulnerable, per exemple, vivint en una casa aïllada, però amb sistemes de refrigeració i de calefacció adequats. Doncs, si la població i els recursos econòmics no estiguessin ubicats en entorns potencialment perillosos, d'elevada exposició, no existiria l'agreujant de la vulnerabilitat econòmica envers el problema de risc de desastres.

La vulnerabilitat a l'informe de l'IPCC AR5 també inclou els conceptes de sensibilitat (i.e. susceptibilitat al dany) i de capacitat adaptativa. La sensibilitat és el grau en què el sistema es veu afectat per l'estrès o pels esdeveniments extrems relacionats amb el clima. És la predisposició física a ser afectats per un fenomen perillós a causa de la manca de resistència i la predisposició a patir danys a conseqüència de les condicions intrínseques i contextuais. La capacitat adaptativa, d'altra banda, és la capacitat del sistema per suportar o recuperar-se dels esdeveniments o danys extrems. La millora de la capacitat sovint s'identifica com l'objectiu de polítiques i de projectes basant-se en la noció que el reforçament de la capacitat adaptativa acabarà conduint a una reducció del risc.

La capacitat adaptativa i la vulnerabilitat no són necessàriament oposades, perquè les comunitats altament vulnerables poden mostrar una capacitat d'adaptació elevada en certs aspectes. A més, la vulnerabilitat és dinàmica i està determinada per nombrosos factors, de manera que l'alta capacitat de respondre a un esdeveniment extrem no reflecteix amb precisió la baixa vulnerabilitat (Alwang et al., 2001). Finalment, el perill és un terme nou a AR5, definit com

"l'ocurrència potencial d'un esdeveniment físic natural o induït per l'ésser humà o tendència o impacte físic que pot causar pèrdues de vides, lesions o altres impactes sobre la salut, així com danys i pèrdues de béns, infraestructures, mitjans de subsistència, prestació de serveis, ecosistemes i recursos ambientals".

Vulnerabilitat al canvi climàtic - Terminologia

Exposició: presència de persones, mitjans de subsistència, espècies o ecosistemes, funcions ambientals, serveis i recursos, infraestructures o béns econòmics, socials o culturals en llocs i entorns que es puguin veure afectats negativament.

Vulnerabilitat: la propensió o predisposició a afectar-se negativament. La vulnerabilitat comprèn una varietat de conceptes i elements, inclosa la sensibilitat o susceptibilitat a danys i la manca de capacitat per fer front i adaptar-se.

Sensibilitat: fa referència a la predisposició física dels éssers humans, la infraestructura i el medi ambient a ser afectats per un fenomen perillós a causa de la manca de resistència i la predisposició de la societat i dels ecosistemes a patir danys a conseqüència de les condicions intrínseques i contextuals.

Capacitat adaptativa: es refereix als elements positius de les característiques de les persones que poden reduir el risc que comporta un determinat perill. Dit d'una altra manera, la capacitat adaptativa és el grau en què es podrien mitigar el potencial de danys mitjançant l'acció per reduir l'exposició o la sensibilitat.

Perill: l'aparició potencial d'un esdeveniment o tendència física natural o induïda per l'ésser humà que pot causar pèrdues de vides, lesions o altres impactes sobre la salut, així com danys i pèrdues de béns, infraestructures, mitjans de subsistència, prestació de serveis, ecosistemes i recursos ambientals.

Així doncs, la vulnerabilitat descriu un conjunt de condicions de les persones que es deriven dels contextos històrics, socials, ambientals, polítics i econòmics. En aquest sentit, els grups vulnerables no només estan en risc perquè estan exposats a un perill, sinó com a resultat de la marginalitat, dels patrons quotidians d'interacció i d'organització social i d'accés als recursos (Bankoff, 2004). A més, s'entén que a cada lloc hi ha una varietat de factors biofísics i socioeconòmics que configuren tant els riscos com les vulnerabilitats al canvi climàtic, i d'aquí la voluntat de voler construir un índex territorialitzat que permeti indagar sobre les particularitats existents en diferents territoris.

L'avaluació dels efectes del canvi climàtic en les zones urbanes i la planificació i la implementació de mesures d'adaptació s'han enfocat normalment en la natura del perill (per exemple, inundacions, onades de calor, sequeres), en la manifestació física d'aquests impactes (per exemple, l'efecte sobre els edificis i les infraestructures) i en les mesures d'adaptació. Vegeu, per exemple, la taula dels riscos climàtics, impactes i accions d'adaptació que s'inclouen al *Pla clima i energia 2030 de l'AMB* a continuació.

El Pla clima i energia 2030 – AMB		
Riscos climàtics	Impactes derivats	Accions d'adaptació
5 riscos o perills climàtics principals	35 impactes definits com a impactes molt alts o impactes alts, on l'AMB es troba molt poc o poc preparada/adaptada	43 accions d'adaptació, determinades per a 7 àrees de l'AMB
<ul style="list-style-type: none"> • augment de les conseqüències derivades dels efectes de la calor, • augment de la probabilitat de períodes de sequera meteorològica, • pluges torrencials i tempestes amb vents forts més freqüents, • canvis en els cicles de les estacions i augment del nivell del mar i de les • incidències per temporals marítics. 	Impactes destacats: <ul style="list-style-type: none"> • inundacions per precipitacions torrencials, • augment del consum energètic, • afectacions a infraestructures, • escassetat de recursos hídrics, • afectació a les platges per temporals i impactes en la salut per onades de calor. 	<ul style="list-style-type: none"> • urbanisme; • espai públic i infraestructures; • edificació-habitatge-projectes i obres; • residus; • aigua; • educació ambiental, • desenvolupament socioeconòmic.

Existeixen diversos índexs de vulnerabilitat climàtica amb un enfocament en la vulnerabilitat biofísica del medi natural davant l'exposició al risc. Tanmateix, el concepte de "vulnerabilitat social" posa el focus en les comunitats i grups socials i sobre les interrelacions entre els sistemes naturals i humans, a fi de centrar els esforços a avaluar empíricament els nivells relatius de vulnerabilitat social, permetent la comparabilitat, davant de les variacions induïdes pel canvi climàtic en la disponibilitat i la qualitat dels recursos naturals i dels serveis ecosistèmics, com ara la disponibilitat d'aigua potable (Vincent, 2004) o sobre la vulnerabilitat dels mitjans de vida de les comunitats agrícoles i que depenen dels recursos naturals (Hahn et al. 2009; Shah et al., 2013). D'altres se centren en la vulnerabilitat social envers el risc d'esdeveniments climàtics extrems, com tempestes, sequeres, inundacions o onades de calor (Guillaumont i Simonet, 2011; Menezes et al., 2018; Wolf et al., 2009; Wolf & McGregor, 2013).

Les diferents conceptualitzacions de la vulnerabilitat (per a més detalls vegeu Breil et al., 2018) poden donar lloc a diferents resultats en la seva incorporació en les polítiques climàtiques (O'Brien et al., 2007). Per a això les qüestions rellevants que s'han de tenir en compte inclouen: les components, la selecció i els factors d'agregació, la ponderació, les escales espacial i temporal i els recursos de dades (Nguyen et al., 2017). No obstant el més important és assegurar que els resultats de l'anàlisi de la vulnerabilitat al canvi climàtic es fan servir per prioritzar mesures d'acció en l'adaptació dels sectors socials i geogràfics més vulnerables i per evitar que l'aplicació de polítiques excloguin els grups socials més desfavorits o agreugin les desigualtats socials.

2.2 Factors de vulnerabilitat a l'augment de les temperatures

Aquest estudi vol aprofundir en els factors que expliquen la vulnerabilitat de determinats territoris i grups socials davant dels riscos que planteja el canvi climàtic, tot començant per posar el focus en el risc d'augment de les temperatures i de la freqüència i severitat de les onades de calor. La vulnerabilitat social a l'augment de les temperatures es conceptualitza com una funció de l'exposició a la calor, la sensibilitat i la capacitat d'adaptació (Schneider et al., 2007). L'exposició i la sensibilitat són els factors desencadenants de la vulnerabilitat, mentre que la capacitat adaptativa en redueix els efectes. El propòsit és fer visibles les àrees amb elevada vulnerabilitat

social, de manera que en les polítiques de mitigació, i sobretot en les d'adaptació, s'inclouin aquestes àrees com a àrees d'interès.

Els factors d'exposició recollits a la literatura inclouen aspectes com la localització física, la presència de zones verdes, l'antiguitat i l'estat dels habitatges quant a les condicions de termo-aïllament i de refrigeració/ventilació, entre d'altres (Wolf et al., 2009; Wolf i McGregor, 2013). Aspectes com la localització física (si és una zona litoral o no), les característiques dels habitatges que condicionen diverses condicions de termo-aïllament o la presència de zones verdes i amb capacitat de refrigeració són els que més s'han utilitzat a la literatura internacional per crear índexs de vulnerabilitat a les onades de calor. L'antiguitat dels habitatges, edificis en mal estat, morfologies edificatòries més exposades, com ara els habitatges unifamiliars són algunes de les variables que poden influir en les condicions de termo-aïllament. D'altra banda, la sensibilitat depèn d'una sèrie de factors individuals sociodemogràfics (sexe, envelliment/solitud, ser migrant, etc.), de l'estat de salut (i.e., malalties preexistents) i del benestar econòmic i l'estabilitat (Cutter et al., 2003; Otto et al., 2017; Wolf i McGregor, 2013). Aquests factors, al seu torn, poden afectar la capacitat d'adaptació de les persones. La capacitat d'adaptació es considera "una funció de la riquesa, la tecnologia, l'educació, la informació, les habilitats, la infraestructura, l'accés als recursos i l'estabilitat i les capacitats de gestió" (McCarthy et al., 2001). Investigacions recents han ampliat aquesta definició per afegir factors que augmenten el capital social i les xarxes de suport (Folke et al., 2005; Olsson et al., 2006), a fi cobrir una àmplia gamma de respostes formals i informals que constitueixen mecanismes d'afrontament (Alwang et al., 2001).

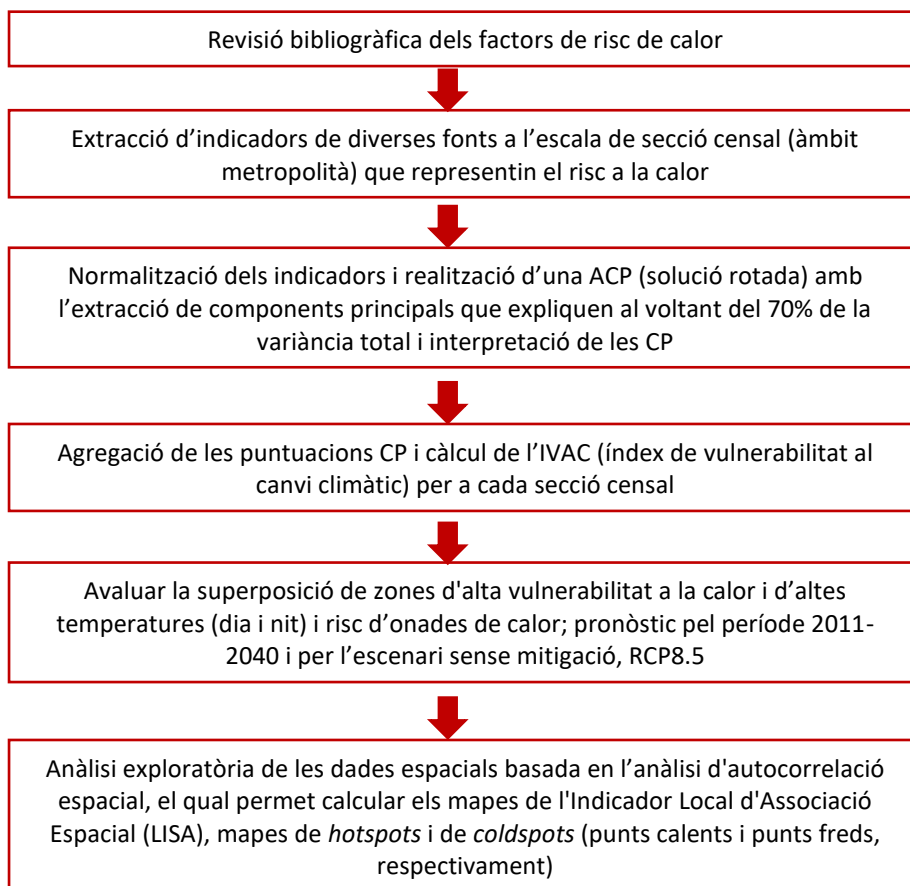
Tots aquests factors es poden entendre com factors de risc de calor, i constitueixen la base de l'índex de vulnerabilitat a la calor presentat en aquest estudi. Alguns estudis indiquen que el canvi climàtic intensifica les desigualtats i dona peu a un cercle viciós en el qual les diferències socials ja existents contribueixen al fet que els grups desfavorits pateixin desproporcionadament els seus efectes adversos (Breil et al., 2018). Aquest efecte agreujant es materialitza a través d'aquestes tres dimensions: un augment de l'exposició dels col·lectius desfavorits als efectes adversos del canvi climàtic; un augment de la seva sensibilitat/ susceptibilitat als danys causats i una disminució de la seva capacitat per afrontar i recuperar-se dels danys patits. A partir d'aquest marc conceptual i de la disponibilitat de dades es considerarà la selecció de les variables per a la construcció de l'índex de vulnerabilitat al canvi climàtic (IVAC) per a l'àmbit metropolità.

3 ENFOCAMENT METODOLOGIC

Un enfocament comú per a la caracterització de la vulnerabilitat i el seu posterior mapatge ha estat el desenvolupament d'índexs de vulnerabilitat. En el present estudi l'enfocament adoptat per desenvolupar l'índex de vulnerabilitat al canvi climàtic és inductiu (Tate, 2012), cosa que implica que la vulnerabilitat es veu com una variable latent representada pels efectes sinèrgics de diverses variables, en lloc d'una variable directament mesurable. Cutter (2003) va ser el primer a introduir aquest enfocament inductiu en la construcció d'índexs de vulnerabilitat en general i Wolf i McGregor (2009) el va aplicar per primera vegada al risc d'onades de calor al Regne Unit a l'escala de ciutat, a l'hora que Reid et al. (2009) ho aplicaven als EUA a escala nacional. En la Taula 8.1 de l'Annex es mostra el resum de la revisió de la literatura quant a indicadors de vulnerabilitat climàtica (incloent-hi a onades de calor) i índexs composts.

L'aproximació metodològica utilitzada es descriu breument per passos a l'esquema següent (Figura 3.1).

Figura 3.1. Esquema de l'aproximació metodològica.



Font: Adaptat de Wolf i McGregor (2013).

A continuació es descriuen les fonts de dades i la metodologia incloent-hi els treballs realitzats de preparació de les bases de dades i de selecció i càlcul dels indicadors que s'usaran en la creació de l'índex de vulnerabilitat al canvi climàtic (IVAC) per a l'àmbit metropolità, la creació de mapes de *hotspots* i *coldspots* (punts calents i punts freds, respectivament) i el detall de les dades climàtiques.

3.1 Selecció dels indicadors de vulnerabilitat al canvi climàtic

Per estimar la vulnerabilitat al canvi climàtic s'ha desenvolupat un índex a l'escala de secció censal d'àmbit metropolità. Per a l'elaboració de l'IVAC s'utilitza una combinació d'indicadors que en conjunt mesuren la vulnerabilitat social a les onades de calor al conjunt de l'àrea metropolitana de Barcelona. La revisió de la literatura i la identificació dels factors de risc responen a la conceptualització de la vulnerabilitat social al canvi climàtic com a funció de tres dimensions (Schneider, 2007; Wolf et al., 2009): l'exposició, la sensibilitat i la capacitat adaptativa, totes elles interrelacionades (vegeu la Taula 3.1). De més a més, s'han inclòs algunes de les variables que componen l'Índex de Vulnerabilitat Urbana de l'àrea metropolitana elaborat per Antón-Alonso et al. (2021), i que s'adeqüen a la conceptualització de les tres dimensions de la vulnerabilitat social episodis de calor extrema.

Partint d'aquesta la conceptualització de la vulnerabilitat - l'exposició, la sensibilitat i la capacitat adaptativa -, la selecció dels indicadors es realitza amb les següents premisses: (1) que les dades siguin de caràcter general i homogènies per a tots els municipis, de manera que sigui possible establir comparacions; i (2) que les dades tinguin el millor detall territorial possible, per reflectir acuradament les diferències internes de cada un dels municipis. Quan ha estat possible, les dades s'han recollit a l'escala de secció censal (N = 2137) i, si no, s'han dut a terme les transformacions pertinents per estimar les variables a aquesta escala. La majoria de les variables s'han expressat en termes relatius, és a dir, en percentatge de població o per unitat de superfície, per evitar el biaix espacial induït pels límits administratius de les seccions censals. L'IVAC en la seva forma final inclou una selecció de 17 indicadors (Taula 3.1), que s'usen com a *proxy* de la vulnerabilitat social a l'augment de les temperatures i a les onades de calor (i.e., variable latent).

Una vegada escollits els indicadors, i previ a la construcció de l'índex, es procedeix a la seva normalització i al canvi de direcció d'alguns dels indicadors. La normalització és important per evitar que les variables amb més variància dominin a la resta. En aquest cas, s'han normalitzat les variables d'entrada de manera que cada indicador té una mitjana de 100 i una desviació típica de 10.

D'altra banda, quan ha estat necessari, s'ha canviat la direcció de l'indicador perquè sempre un valor de l'indicador més elevat, indiqui més vulnerabilitat. Per exemple, la variable de renda s'ha canviat de direcció de manera que valors més elevats d'aquesta variable indiquin rendes més baixes, per tant, més vulnerabilitat. Seguint aquesta lògica ha estat necessari canviar la direcció de les següents variables: % d'habitatges amb any d'antiguitat superior a 2008, Cobertura vegetal (NDVI > 0,4); Mitjana del NDVI; Mediana de la renda per unitat de consum 2017; % població amb estudis universitaris; Potencial de producció fotovoltaica de tipus B segons superfície construïda sobre rasant de la secció censal.

Taula 3.1. Variables de vulnerabilitat social a l'augment de les temperatures i a les onades de calor.

Categoria	Factor de risc extret de la literatura	Descripció de la variable	Nom variable	Direcció de la relació	Font	Any
Exposició	Vulnerabilitat residencial i confort tèrmic	% d'habitatges amb any d'antiguitat inferior o igual a 1950	P_HAB1950	+	Cadastre	2019
		% d'habitatges amb any d'antiguitat entre 1951 i 1980 (ambdós inclosos)	P_HAB1951_1980	+	Cadastre	2019
		% d'habitatges amb any d'antiguitat entre 1981 i 2007 (ambdós inclosos)	P_HAB1981_2007	+	Cadastre	2019
		% d'habitatges amb any d'antiguitat superior a 2008	P_HAB2008	-	Cadastre	2019
		% edificis en estat deficient, mal estat o estat ruïnós*	P_ESTATEDIF	+	Cens de població i habitatges, INE	2011
		Mitjana d'hores de desconfort a l'hivern dels habitatges de la secció censal (hores/any)	CLI_H_DES_HIV	+	Cartografia energètica, AMB	2017
		Mitjana d'hores de desconfort a l'estiu dels habitatges de la secció censal (hores/any)	CLI_H_DES_EST	+	Cartografia energètica, AMB	2017
	Infraestructura verda	% de cobertura vegetal (NDVI > 0,4)	COBVEGNDVI	-	ICGC	2020
		Mitjana del NDVI (índex)	MITJNDVI	-	ICGC	2020
	Elevada concentració de població	Densitat residencial de la població*	DENSRESPB	+	Teixits morfològics residencials PDU-AMB	2017
Sensibilitat	Envelliment/soledat	% població de més de 75 anys que viu sola*	P_PGRAN_75_SOL	+	Padró municipal d'habitants, IDESCAT	2018
	Gènere	% dones de més de 65 anys	P_DON_GRAN_65	+	Padró municipal d'habitants, IDESCAT	2018
	Pobresa	Mediana de la renda per unitat de consum (€/any)	RENDA_UC	-	Atles de distribució de renda de les llars, INE	2017
	Estudis	% població amb estudis universitaris	P_PB_UNIV	-	Cens de població i habitatges, INE	2011
	Immigració estrangera	% població estrangera provinent de països en desenvolupament*	P_PB_EST_EDES	+	Padró municipal d'habitants, IDESCAT	2018
	Pobresa energètica	% llars vulnerables amb informe de serveis socials	P_LLAR_VULN_SS	+	AMB	2018
Adaptació	Potencial d'autogeneració a partir de fonts renovables	Potencial de producció fotovoltaica de tipus B segons superfície construïda sobre rasant de la secció censal (KWh/m ²)	TEC2_FVB_SSR	-	Cartografia energètica, AMB	2017

Notes: Totes les variables s'han calculat a l'escala de secció censal i per l'àmbit de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (N = 2137). (*) Variable inclosa també a l'Índex de Vulnerabilitat Urbana de l'àrea metropolitana de Barcelona (Antón-Alonso et al., 2021).
Font: IERMB.

Cal fer palès que la selecció inicial d'indicadors a incloure en la construcció de l'índex va ser més extensa, en especial en el bloc d'exposició, però finalment es van haver de descartar alguns d'ells per diversos motius. En concret, es va plantejar la incorporació dels indicadors com el 'Percentatge de població urbana que viu a < 300 metres d'un espai verd urbà (mínim de 0,5 ha)',

la 'Superfície de verd urbà per habitant' i el 'Percentatge de superfície ocupada per làmines d'aigua', per la seva relació amb la capacitat de regulació de les temperatures de la infraestructura verda i la infraestructura blava. Aquestes variables es van calcular a escala de secció censal, però es va descartar incloure-les en la construcció de l'índex perquè, tot i ser variables contínues, per la seva distribució es comportaven com a variables dicotòmiques, i aquestes no funcionen bé en l'anàlisi de components principals (ACP), mètode utilitzat per construir l'índex. A més, també es va proposar incloure una mesura de l'albedo, o reflectivitat de la radiació solar, entenent que les cobertes fredes (terrats més blancs) són una mesura per mitigar els efectes de les onades de calor a la ciutat (Jandaghian i Akbari, 2021; Gilabert et al., 2021). Finalment es va optar per no incloure-ho en l'anàlisi perquè segons Gilabert et al., 2021, l'albedo dels terrats dels edificis de Barcelona van de 0,13 a 0,16, de manera que aquesta variable té molt poca variabilitat. Per últim, com a variable d'adaptació al canvi climàtic també es va contemplar incorporar alguna variable que donés compte de l'ús de l'aire condicionat. A manca de dades actualitzades a partir del Cens d'Habitatges de l'INE, es va explorar la possibilitat d'utilitzar la informació recollida a la Cartografia Energètica de l'AMB en relació amb les instal·lacions de climatització i a l'ús d'aquestes, en concret: 'Tipus d'instal·lacions de climatització disponibles a la llar per cobrir les demandes de calefacció i refrigeració' i 'Ús de les instal·lacions de clima per cobrir les demandes de calefacció i refrigeració'. Finalment es van deixar de banda aquests indicadors perquè s'havien estimat a partir de la informació de les certificacions energètiques dels edificis facilitades per l'ICAEN i que només tenien una cobertura territorial del 38,6% del total del parcel·les residencials a l'àrea metropolitana, cobertura territorial que es va considerar insuficient. En següent fases de millora de l'IVAC es preveu incorporar la variable disposició d'aire condicionat, com a variable d'adaptació.

Tot seguit es descriu en detall la construcció de cadascun dels indicadors i es representen cartogràficament una vegada normalitzats. També es mostra la cartografia dels 17 indicadors normalitzats que compondran l'índex de vulnerabilitat al canvi climàtic (IVAC) (Mapa 3.1 a Mapa 3.16).

3.1.1 Indicadors d'exposició

La dimensió d'*Exposició*, la més extensa en nombre, inclou els indicadors que fan referència a condicions estructurals, tals com les condicions d'edificabilitat i el confort tèrmic en l'habitatge, la infraestructura verda en l'entorn residencial i la densitat de població.

Els indicadors d'antiguitat de l'edifici, *P_HAB1950 % d'habitatges amb any d'antiguitat inferior o igual a 1950*, *P_HAB1951_1980 % d'habitatges amb any d'antiguitat entre 1951 i 1980 (ambdós inclosos)*, *P_HAB1981_2007 % d'habitatges amb any d'antiguitat entre 1981 i 2007 (ambdós inclosos)* i *P_PHAB2008_% d'habitatges amb any d'antiguitat superior a 2008* (compliment del CTE) s'extreuen del Cadastre 2019, a partir del camp d'antiguitat efectiva. Els talls d'anys escollits es justifiquen d'acord amb les diverses etapes constructives i innovacions, que afecten el comportament tèrmic dels edificis, i per a aquests es van fer diverses simulacions energètiques com a part dels estudis de la *Cartografia energètica de l'AMB*. Els criteris són els següents (Taula 3.2):

Taula 3.2. Taula resum de la justificació de la segmentació dels edificis per any de construcció.

Nom solució constructiva	Any de construcció	Justificació
C1	≤ 1950	Període preguerra i poc posterior, en què predominen els murs monolítics i portants i les cobertes ventilades
C2	1951 - 1980	Període sense marc normatiu tèrmic però amb aspectes que influeixen en el canvi de solucions constructives, com ara: - Situació de creixement econòmic amb increment de la demanda d'habitatges que afavoreix l'aparició d'edificis amb més alçada i sistemes industrialitzats que fan més ràpid i econòmic el procés constructiu - La consolidació de normes que impulsen altres models estructurals, com ara: instrucció del formigó (1939), Reglamento sobre restricciones del hierro (1941) i publicació de l'Orden para regular los sistemas de forjados en edificación (1942) - Utilització de teles asfàltiques per impermeabilitzarm persianes enrotllables, l'aparició de l'extrusionat en les peces ceràmiques,... Fruit d'aquests esdeveniments els murs s'alleugereixen i perden les seves propietats portants en detriment d'estructures de pilars, les cobertes ventilades van desaparèixer, els revoltos ceràmics manuals són substituïts per altres industrialitzats,...
C3	1981 - 2007	Període de l'aparició dels primers marcs normatius amb exigències sobre la transmitància tèrmica dels edificis, primer el NBE-CT-79 i després el NR-AT-87. Atès que els canvis del segon respecte del primer no es poden considerar molt significatius, s'han unificat aquests dos períodes a efectes de disminuir el nombre de simulacions energètiques.
C4	2008 - 2014	Període d'aplicació del primer CTE-HE i de la certificació energètica dels edificis. En aquest període hi ha límits sobre la transmitància tèrmica dels tancaments i el grau d'eficiència es determina en comprar l'edifici (objecte) respecte d'un edifici de referència.
C5	≥ 2014	Modificació del CTE-HE i aparició del HE0, segons el qual els habitatges han de tenir un consum i una demanda energètica (kWh) inferiors a uns valors definits en funció de la zona climàtica

Font: Cartografia energètica (AMB, 2017).

L'indicador *P_ESTATEDIF % edificis en estat deficient, mal estat o estat ruïnós* prové del Cens de població i habitatges de l'INE per a l'any 2011 i també s'usa en el càlcul de l'Índex de Vulnerabilitat Urbana (Antón-Alonso et al., 2021).

S'han inclòs dos indicadors que provenen de la Cartografia energètica de l'AMB, 2017. Aquests són: (1) *CLI_H_DES_HIV Mitjana d'hores de desconfort a l'hivern dels habitatges de la secció censal* i (2) *CLI_H_DES_EST Mitjana d'hores de desconfort a l'estiu dels habitatges de la secció censal*. Pel càlcul del primer indicador es van considerar les hores de desconfort per fred a l'hivern que tenen els edificis d'habitatges segons les seves característiques i condicions climàtiques, però sense encendre la instal·lació de calefacció. Es va establir el nivell de desconfort a l'hivern quan la temperatura a l'interior de l'habitatge se situa per sota dels 17 °C. Les hores de desconfort anuals es van considerar sobre cada hora de l'any i no sobre les hores d'ocupació de l'habitatge. D'altra banda, per quantificar el desconfort per excés de calor a l'estiu es van considerar les hores de desconfort per excés de calor a l'estiu que tenen els edificis d'habitatges segons les seves característiques i condicions climàtiques, però sense encendre la instal·lació de refrigeració. Es va establir el nivell de desconfort a l'estiu quan se superen els 25,8 °C a l'interior de l'habitatge. Les hores de desconfort anuals es van considerar sobre cada hora de l'any i no sobre les hores d'ocupació de l'habitatge.

D'altra banda, s'han calculat dos indicadors de verd urbà basats en l'índex de vegetació de diferència normalitzada (NDVI), amb una resolució de 9 m, que elabora l'ICGC. En aquest cas, les dades d'NDVI corresponen al vol de l'estiu del 2020. L'NDVI es calcula a partir de la informació obtinguda del vermell i de l'infraroig proper, amb la següent fórmula:

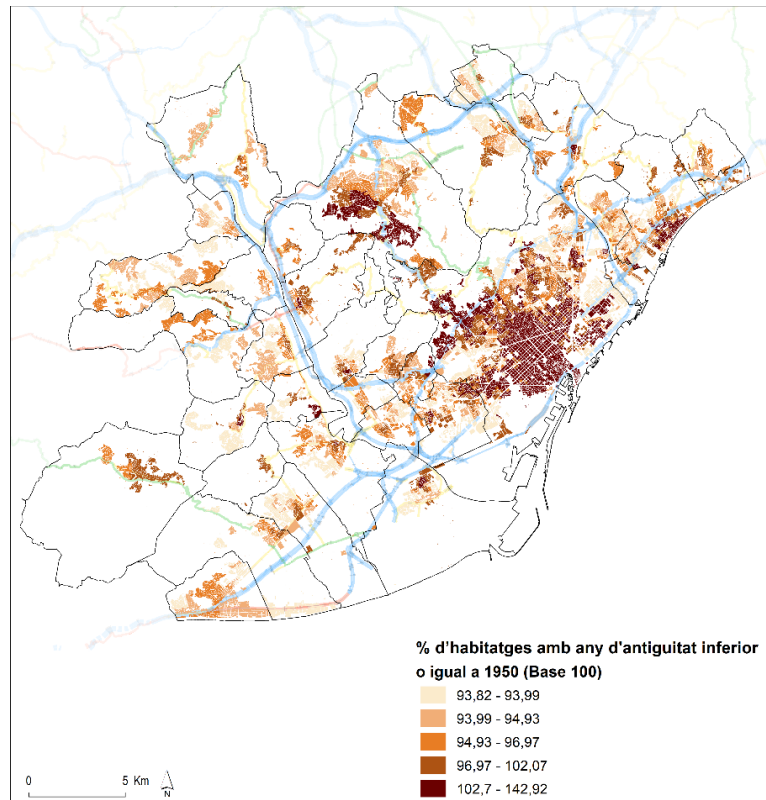
$$NDVI = (\text{infraroig proper} - \text{vermell}) / (\text{infraroig proper} + \text{vermell})$$

Els indicadors que s'han calculat són: *COBVEGNDVI Cobertura vegetal (NDVI > 0,4)* i *MITJNDVI Mitjana del NDVI*. Un NDVI entre 0,4 i 0,6 correspon a vegetació abundant i vigorosa, de color verd clar, mentre que un NDVI superior a 0,6 correspon a vegetació molt densa i vigorosa, de

color verd fosc. L'indicador *COBVEGNDVI Cobertura vegetal (NDVI > 0,4)* mesura la superfície verda en relació amb la superfície total de la secció censal i es calcula com percentatge (Serrano et al., 2021).

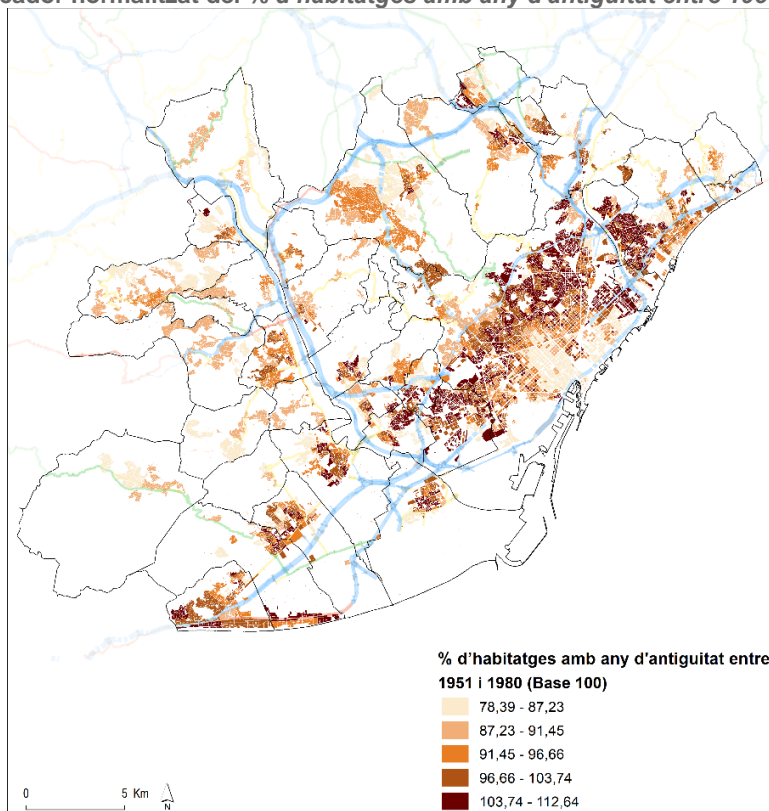
Per últim, l'indicador *DENSRESPB Densitat residencial de la població* s'ha calculat a partir de l'Estudi dels teixits morfològics residencials, PDU-AMB 2017.

Mapa 3.1. Indicador normalitzat del % d'habitatges amb any d'antiguitat inferior o igual a 1950. 2019.



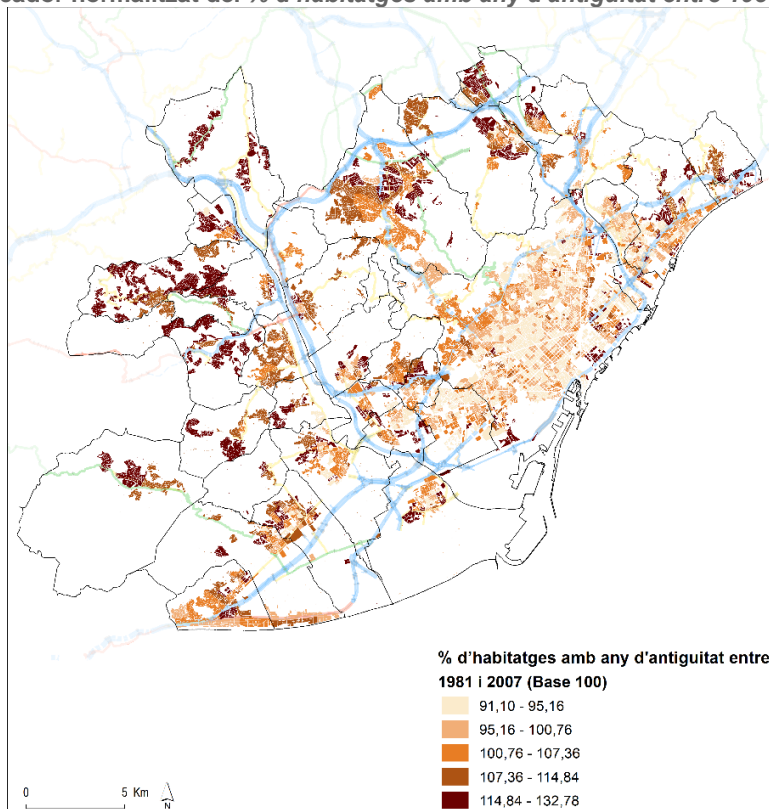
Nota: Mètode de normalització: $\mu = 100$ i $\sigma = 10$.
Font: IERMB a partir de dades del Cadastre

Mapa 3.2. Indicador normalitzat del % d'habitatges amb any d'antiguitat entre 1951 i 1980. 2019.



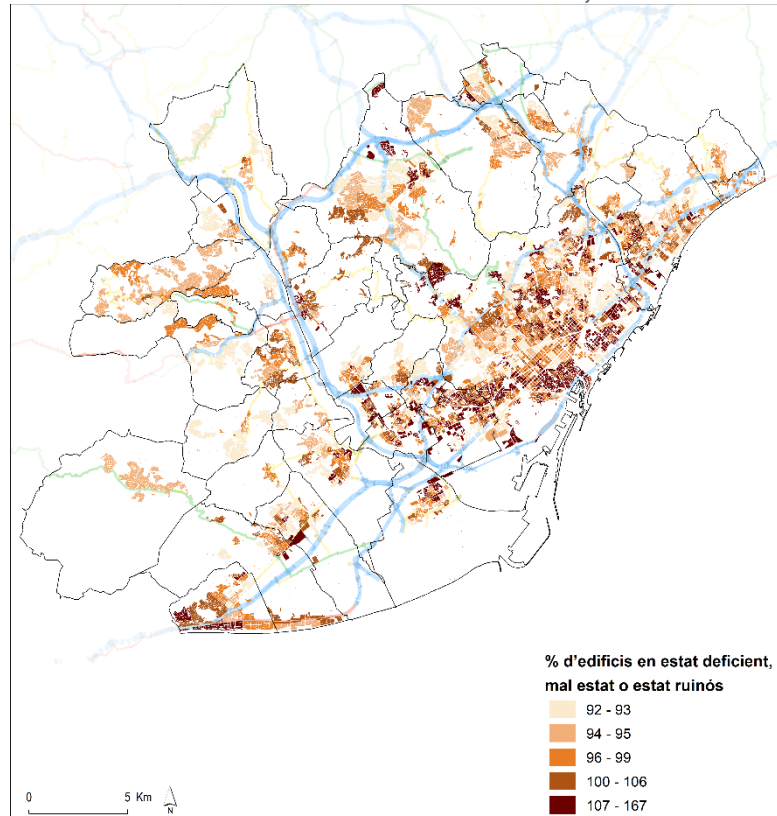
Nota: Mètode de normalització: $\mu = 100$ i $\sigma=10$.
Font: IERMB a partir de dades del Cadastre.

Mapa 3.3. Indicador normalitzat del % d'habitatges amb any d'antiguitat entre 1981 i 2007. 2019.



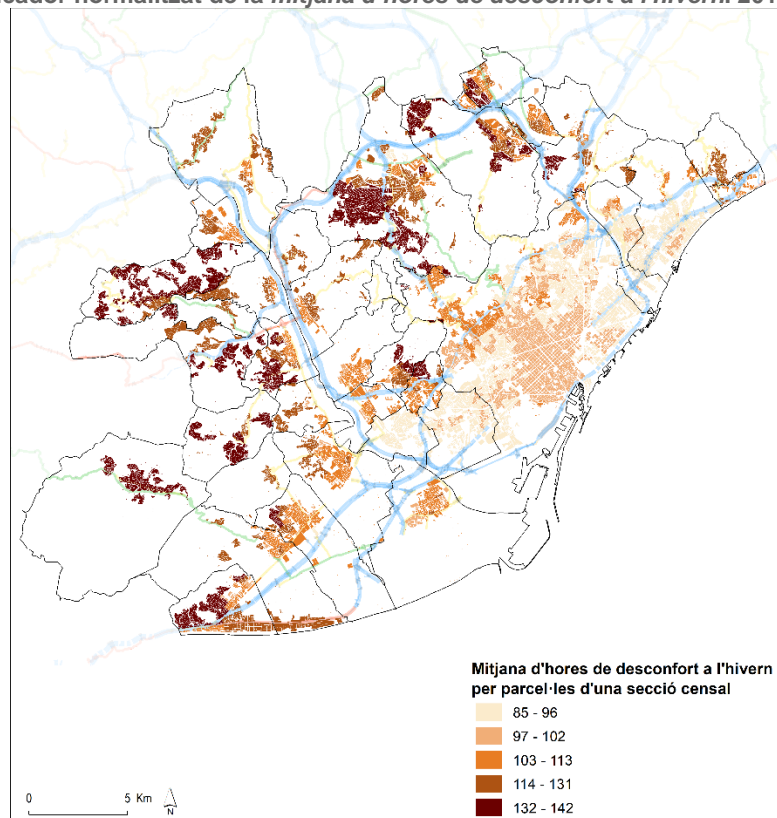
Nota: Mètode de normalització: $\mu = 100$ i $\sigma=10$.
Font: IERMB a partir de dades del Cadastre.

Mapa 3.4. Indicador normalitzat del % d'edificis en estat deficient, mal estat o estat ruïnós. 2011.



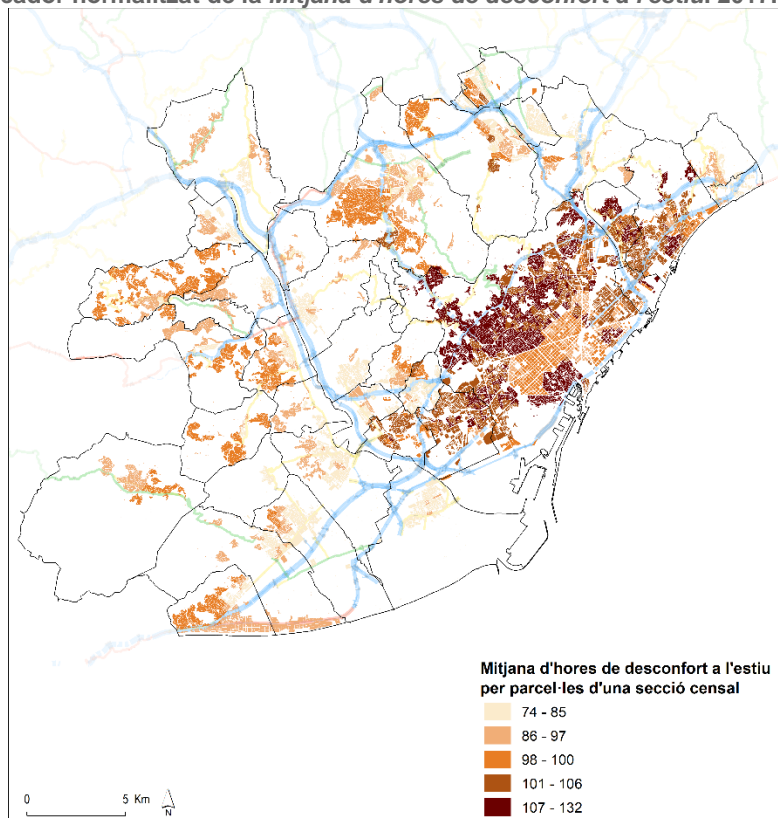
Nota: Mètode de normalització: $\mu = 100$ i $\sigma=10$.
Font: IERMB a partir de Cens de població i habitatges, INE.

Mapa 3.5. Indicador normalitzat de la mitjana d'hores de desconfort a l'hivern. 2017.



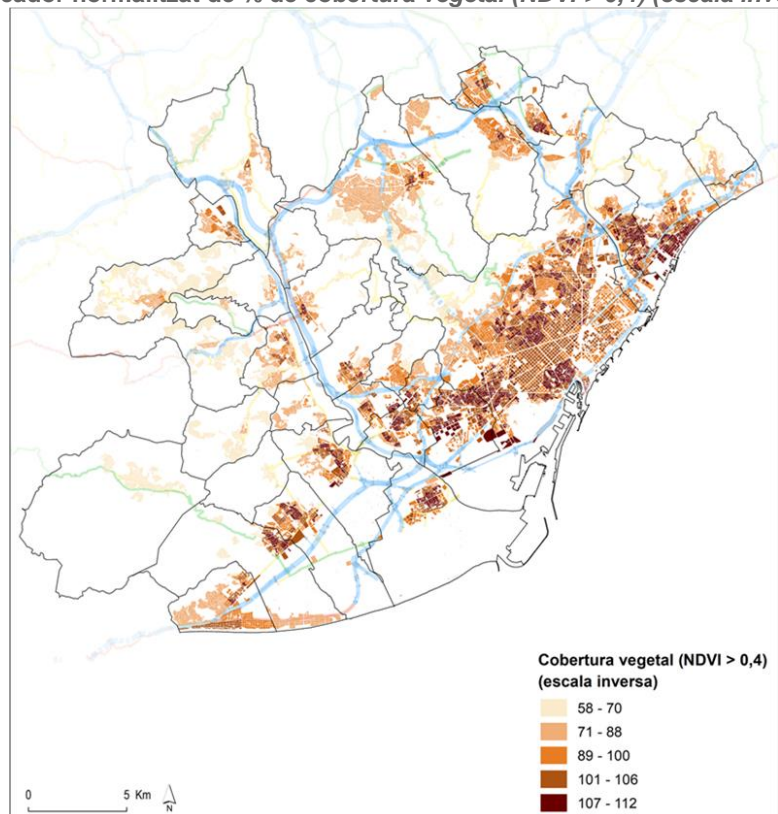
Nota: Mètode de normalització: $\mu = 100$ i $\sigma=10$.
Font: IERMB a partir de Cartografia energètica de l'AMB.

Mapa 3.6. Indicador normalitzat de la *Mitjana d'hores de desconfort a l'estiu*. 2017.



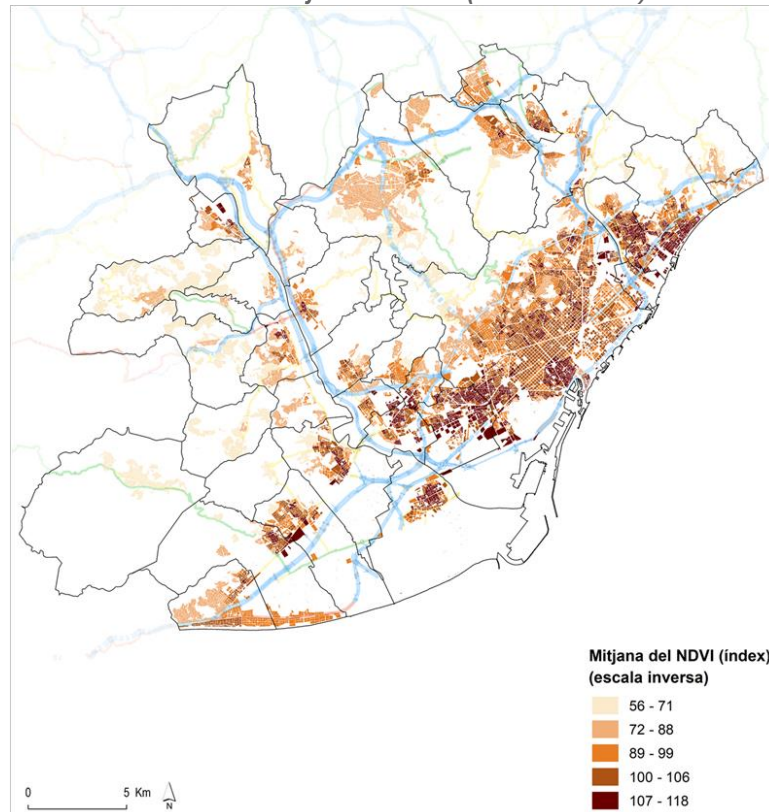
Nota: Mètode de normalització: $\mu = 100$ i $\sigma=10$.
Font: IERMB a partir de Cartografia energètica de l'AMB.

Mapa 3.7. Indicador normalitzat de % de cobertura vegetal (*NDVI > 0,4*) (escala inversa). 2020.



Nota: Mètode de normalització: $\mu = 100$ i $\sigma=10$.
Font: IERMB a partir de Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC).

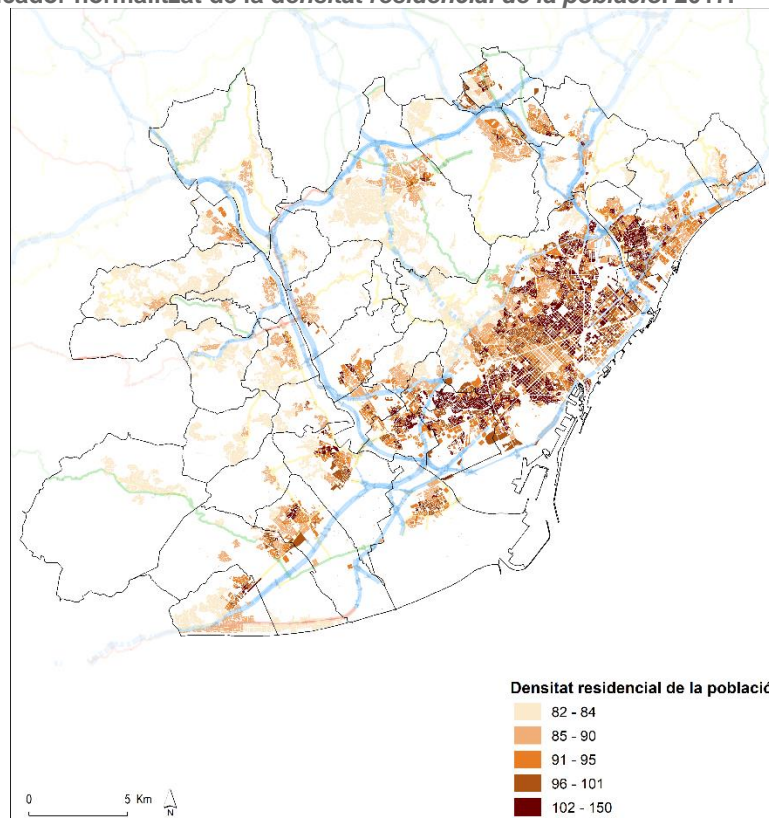
Mapa 3.8. Indicador normalitzat de la mitjana del NDVI (escala inversa). 2020.



Nota: Mètode de normalització: $\mu = 100$ i $\sigma=10$.

Font: IERMB a partir de Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC).

Mapa 3.9. Indicador normalitzat de la densitat residencial de la població. 2017.



Nota: Mètode de normalització: $\mu = 100$ i $\sigma=10$.

Font: IERMB a partir de Teixits morfològics residencials PDU-AMB i Cadastre.

3.1.2 Indicadors de sensibilitat

Els indicadors de *Sensibilitat* inclouen les variables *proxy* de l'estatus socioeconòmic (ESE) de la població exposada a l'augment de les temperatures i les onades de calor i, en conseqüència, reflecteix el fet que un estatus socioeconòmic més baix s'associa amb privacions materials, barreres d'accés a un habitatge de qualitat, exposicions ambientals i limitacions en el coneixement, el temps i les oportunitats per prendre decisions adaptatives. S'hi han inclòs, a més a més, indicadors d'envelliment/soledat, de gènere, de renda disponible familiar (RDF per unitat de consum), de nivell d'estudis, de migració des de països en desenvolupament, a més d'indicadors de pobresa energètica que denoten una amplificació de les privacions.

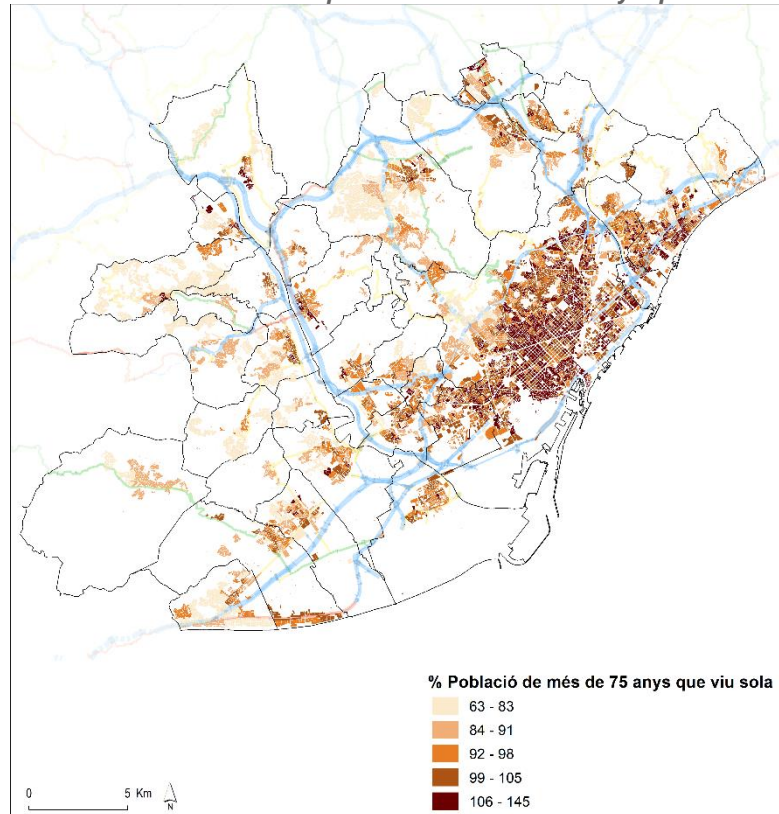
Els indicadors *P_PGRAN_75_SOL % població de més de 75 anys que viu sola*, *P_DON_GRAN_65 % dones de més de 65 anys* i *P_PB_EST_EDES % població estrangera provinent de països en desenvolupament* s'estimen a partir de dades del Padró continu d'habitants que gestiona l'IDESCAT, disponibles a escala de secció censal per a l'any 2018.

L'indicador *RENDA_UC Mediana de la renda per unitat de consum* prové de l'Atlas de distribució de renda de les llars de l'INE i correspon a les dades de renda disponible familiar per unitat de consum de l'any 2017.

L'indicador *P_PB_UNIV % població amb estudis universitaris* s'estima a partir de les dades del Cens de població i habitatges, INE 2011.

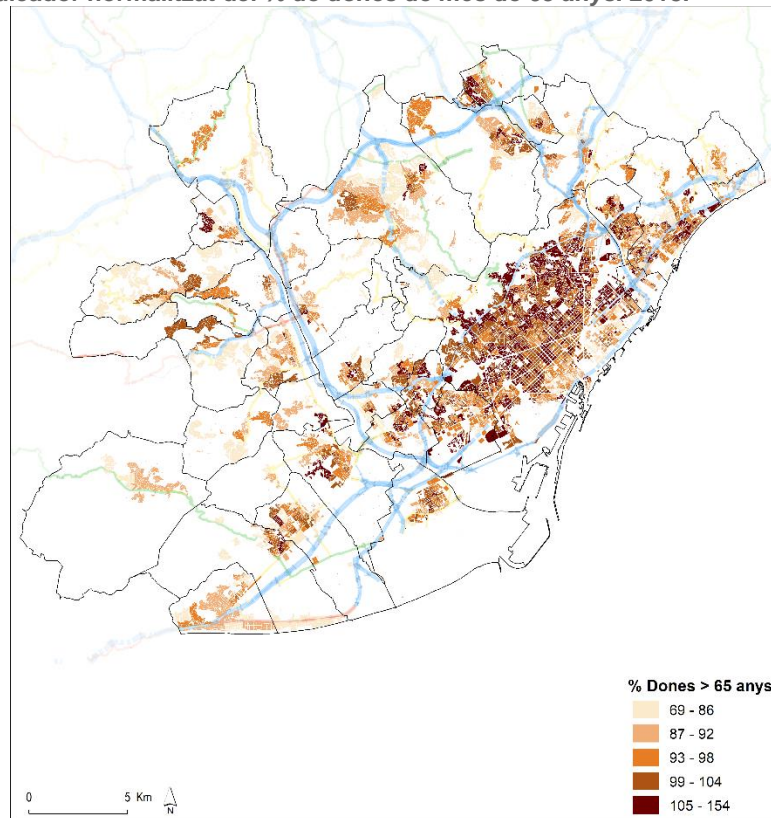
Per últim, l'indicador de pobresa energètica *P_LLAR_VULN_SS % llars vulnerables amb informe de serveis socials* s'ha obtingut a partir de les dades recollides al 'Protocol de recollida de dades relatives a les suspensions de subministrament d'aigua i a l'impacte dels instruments socials' que es gestiona des de l'AMB. En concret aquesta variable comptabilitza les llars que han rebut un informe d'exclusió residencial de serveis socials municipals per no poder fer front al pagament de les factures de l'aigua. Aquesta variable s'utilitza com a Proxy de les llars que no poden fer front al pagament de les factures d'energia, que solen ser les mateixes. Aquesta variable dona compte dels recursos econòmics de què disposa una llar per adaptar-se als canvis estacionals de la temperatura ambient i per mantenir el confort tèrmic a l'habitatge.

Mapa 3.10. Indicador normalitzat del % de població de més de 75 anys que viu sola. 2018.



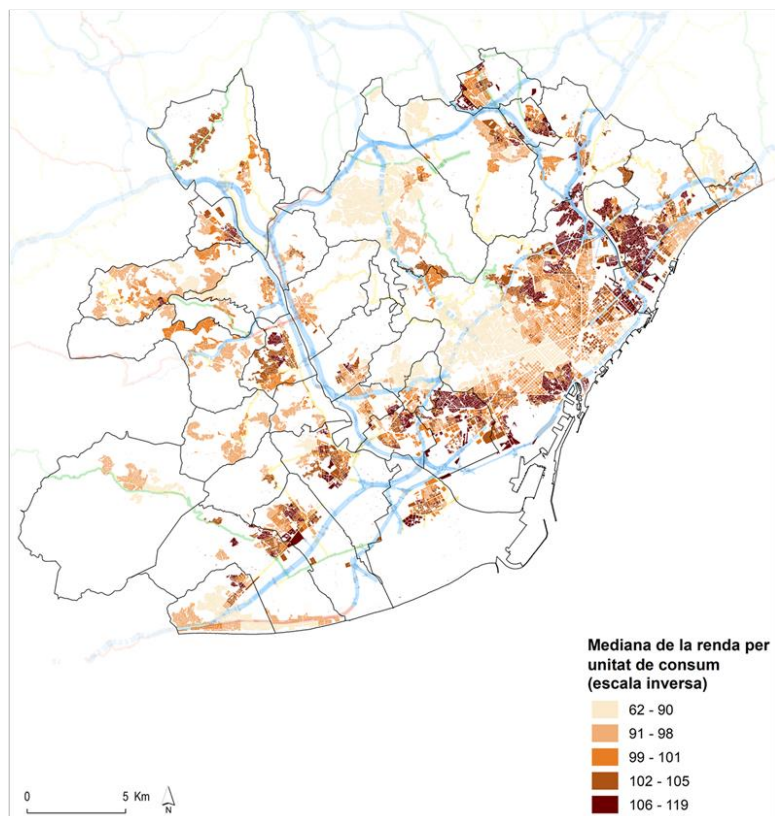
Nota: Mètode de normalització: $\mu = 100$ i $\sigma=10$.
Font: IERMB a partir de Padró municipal d'habitants, IDESCAT.

Mapa 3.11. Indicador normalitzat del % de dones de més de 65 anys. 2018.



Nota: Mètode de normalització: $\mu = 100$ i $\sigma=10$.
Font: IERMB a partir de Padró municipal d'habitants, IDESCAT.

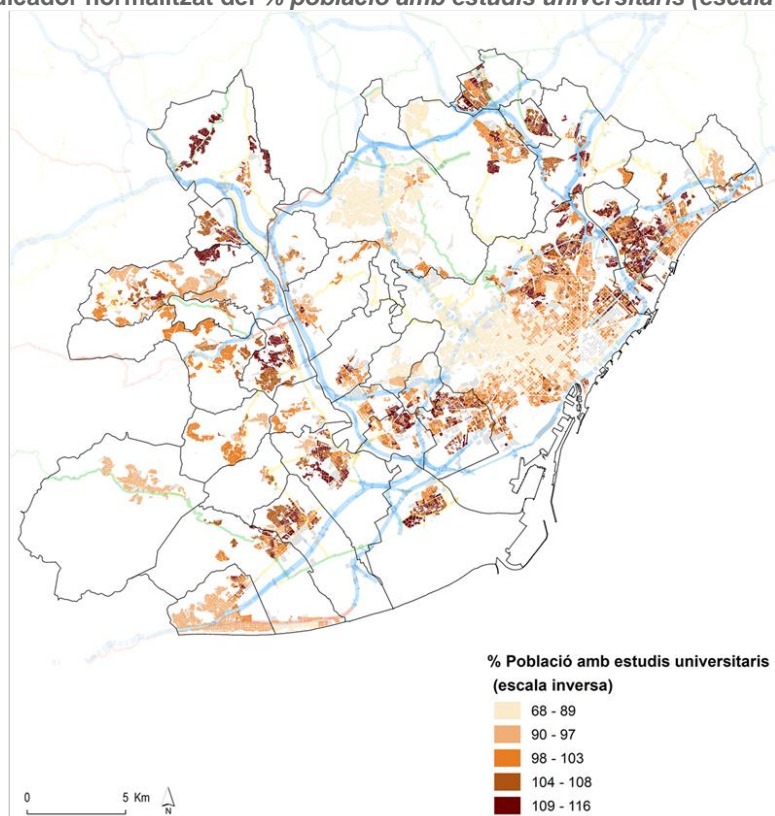
Mapa 3.12. Indicador normalitzat de la mediana de renda per unitat de consum (escala inversa). 2017.



Nota: Mètode de normalització: $\mu = 100$ i $\sigma=10$.

Font: IERMB a partir de Atles de distribució de renda de les llars, INE .

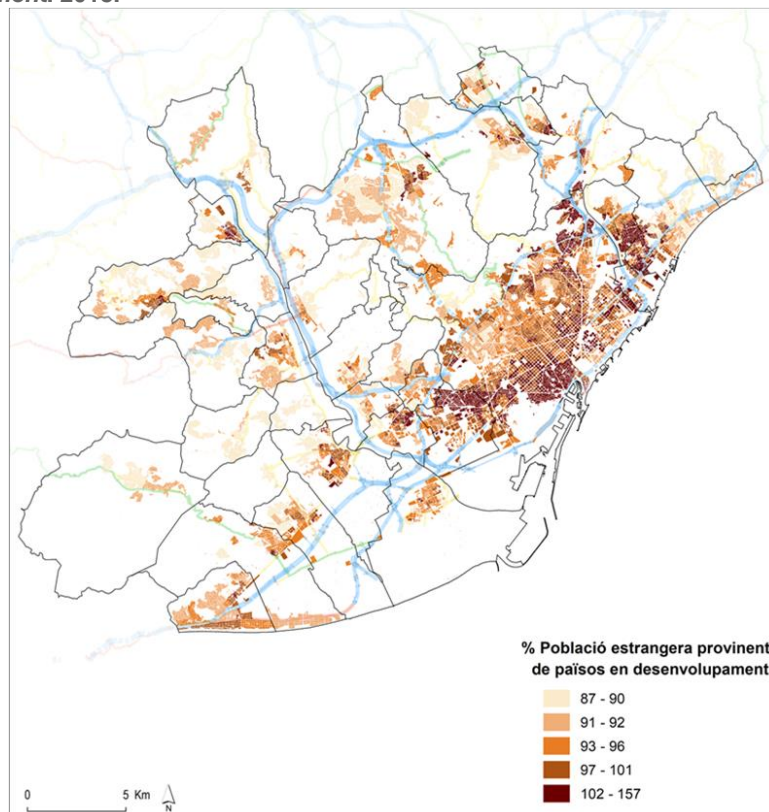
Mapa 3.13. Indicador normalitzat del % població amb estudis universitaris (escala inversa). 2011.



Nota: Mètode de normalització: $\mu = 100$ i $\sigma=10$.

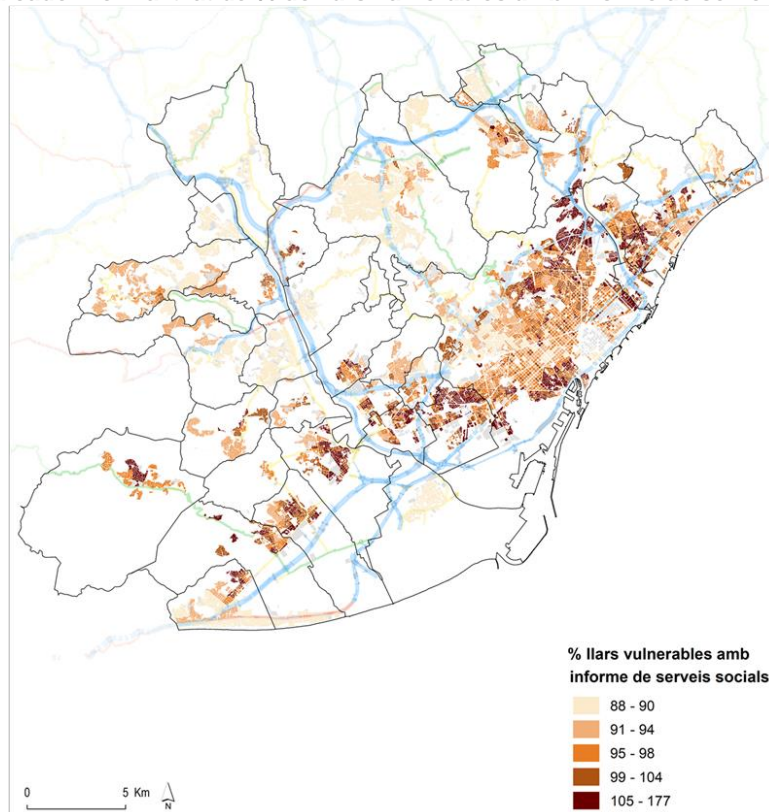
Font: IERMB a partir de Cens de Població i Habitatges, INE

Mapa 3.14. Indicador normalitzat del % de població estrangera provinent de països en desenvolupament. 2018.



Nota: Mètode de normalització: $\mu = 100$ i $\sigma = 10$.
Font: IERMB a partir de Padró municipal d'habitants, IDESCAT.

Mapa 3.15. Indicador normalitzat del % de llars vulnerables amb informe de serveis socials. 2018.

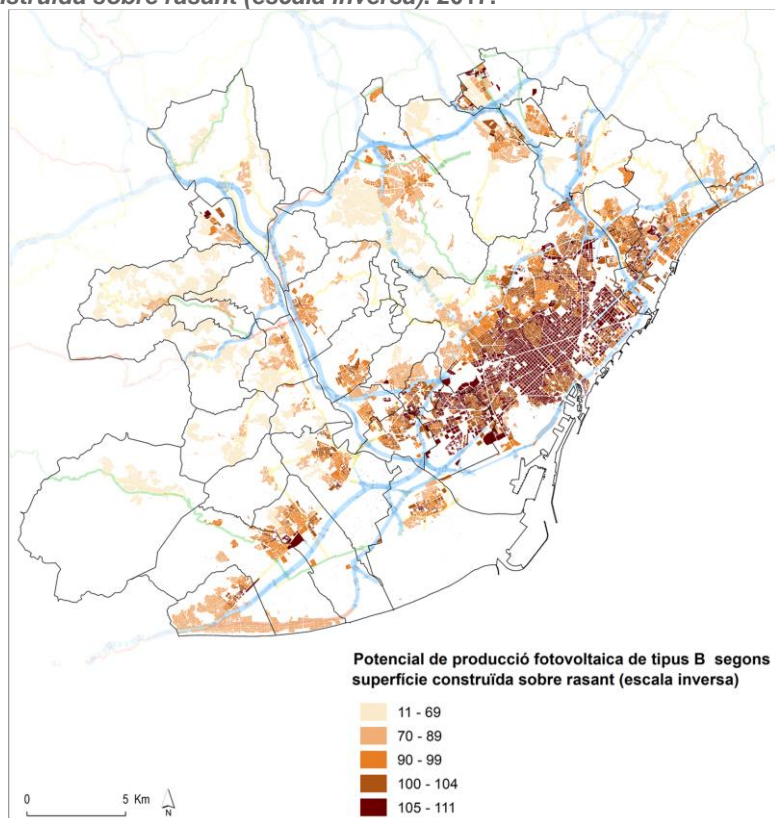


Nota: Mètode de normalització: $\mu = 100$ i $\sigma = 10$.
Font: IERMB a partir de AMB.

3.1.3 Indicadors d'adaptació

Els indicadors contemplats com a solucions adaptatives inclouen aquells que es refereixen a la capacitat d'autogeneració d'energia elèctrica a partir de fonts renovables. L'indicador, disponibles a escala de secció censal, prové de les dades de la *Cartografia energètica de l'AMB 2017* i és l'indicador *TEC2_FVB_SSR Potencial de producció fotovoltaica de tipus B segons superfície construïda sobre rasant de la secció censal*.

Mapa 3.16. Indicador normalitzat del potencial de producció fotovoltaica de tipus B segons superfície construïda sobre rasant (escala inversa). 2017.



Nota: Mètode de normalització: $\mu = 100$ i $\sigma = 10$.
Font: IERMB a partir de cartografia energètica, AMB.

3.2 ACP i construcció de l'índex de vulnerabilitat al canvi climàtic (IVAC)

Per estimar la vulnerabilitat social a l'augment de les temperatures i a les onades de calor s'ha desenvolupat un índex a l'escala de secció censal d'àmbit metropolità. En primer lloc, s'han seleccionat *a priori* els indicadors rellevants a partir d'informació sobre índexs similars fets i validats en estudis previs (per exemple, Wolf et al., 2009; Wolf i McGregor, 2013), a fi d'informar teòricament la nostra selecció. En conseqüència, s'han utilitzat la selecció de 17 indicadors a l'escala de secció censal presentada anteriorment a la Taula 3.1. L'anàlisi espacial de les dades quantitatives seleccionades identificarà els punts de vulnerabilitat a les onades de calor, fenomen complex, multidimensional i multicausal.

A continuació, d'acord amb la mateixa metodologia que usen altres estudis per crear índexs de vulnerabilitat climàtica (Wolf et al., 2009; Wolf i McGregor, 2013), per als quals no existeix una quantificació rotunda de les dimensions o dels indicadors que integren aquest fenomen, s'ha elaborat una anàlisi de components principals (ACP) per reduir la complexitat de les variables i

identificar les que estan més correlacionades i podrien explicar-se mitjançant un índex. Amb aquest propòsit, s'ha usat una ACP rotats ortogonalment amb el mètode Varimax, per facilitar-ne la interpretació dels resultats, i s'ha seleccionat l'extracció de components principals amb valors propis superiors a 1. La raó és que aquestes components representen més variància que les variables originals (Wolf i McGregor, 2013). Prèviament, es van dur a terme els tests de Kaiser-Meyer-Olkin i de Barthlett per tal de comprovar la idoneïtat de realitzar una ACP, és a dir, per comprovar si existeix una correlació suficient en el conjunt de dades i un agrupament de correlacions (Taula 3.3).

Taula 3.3. Proves de Kaiser-Meyer-Olkin i de Barthlett d'adequació del model.

Medida Kaiser-Meyer-Olkin d'adequació de mostreig		0,696
Prova d'esfericitat de Bartlett	Aprox. Chi-quadrat	26569,783
	gl	120
	Sig.	0,000

Una vegada s'ha realitzat l'ACP, i identificades les components principals, s'han guardat les puntuacions de les components per a cada una de les seccions censals. Els passos per l'agregació en un únic índex compost han estat, en primer lloc, redimensionar les puntuacions factorials a una escala 0 - 100, per eliminar els valors negatius i evitar així que en fer el càlcul un valor negatiu en una dimensió es pogués compensar amb un valor positiu en una altra. A continuació s'ha calculat la mitjana aritmètica de les puntuacions factorials de les components o dimensions per a cada secció censal. Aquest enfocament es va adoptar per reduir qualsevol subjectivitat introduïda per supòsits *a priori* relacionats amb la importància relativa de les components extretes en termes de la seva contribució a la vulnerabilitat, de manera que cada dimensió té la mateixa importància i no es poden compensar entre elles. Per últim s'ha convertit a una escala de 0 – 100 el valor resultant de la mitjana de les puntuacions, on els valors més alts (pròxims a 100) indiquen més vulnerabilitat i els valors més baixos (pròxims a 0) indiquen menys vulnerabilitat.

3.3 Anàlisi espacial i creació de mapes de *punts calents* i *punts freds*

Un cop construït, l'índex de vulnerabilitat al canvi climàtic (IVAC) s'ha utilitzat en la generació de mapes de punts calents o *hotspots*, que esdevenen mapes d'intervenció. Així doncs, la resta de l'estudi es basa en una anàlisi exploratòria de dades espacials (ESDA, segons les sigles en anglès). Les unitats d'anàlisi són un altre cop les seccions censals de l'àrea metropolitana de Barcelona. L'objectiu és estudiar com es trasllada al territori la relació entre la vulnerabilitat social a les onades de calor (IVAC) i les projeccions climàtiques, a partir de les dades climàtiques de pronòstic d'augment de les temperatures i de freqüència i severitat de les onades de calor en el període 2011-2040.

Primer de tot es calcula l'Índex Global de Moran (Moran, 1948), un indicador global d'autocorrelació espacial que explica en quina mesura les variables analitzades tenen tendència a agrupar-se en l'espai (presenten una autocorrelació positiva, valors que tendeixen a 1), a dispersar-se (autocorrelació espacial negativa, valors pròxims a -1), o a distribuir-se de manera aleatòria (valors pròxims a 0).

En concret, s'ha desenvolupat l'anàlisi d'autocorrelació espacial que permet calcular els mapes de l'Indicador Local d'Associació Espacial (LISA). Aquests mapes identifiquen zones amb valors alts i baixos d'una o d'una combinació de dues variables, així com punts atípics del territori i zones sense associació estadística significativa. Els mapes LISA, tant en l'anàlisi de correlació espacial univariada com bivariada, classifiquen les seccions censals en quatre grups: (1) el grup

alt-alt, que representa valors alts de la variable en les seccions censals per estar envoltades d'altres seccions censals pròximes amb també valors alts de la mateixa variable (anàlisi univariada), o d'una segona variable (anàlisi bivariada); (2) el grup baix-baix, que representa valors baixos de la variable a les seccions censals perquè són pròximes a d'altres amb valors baixos de la mateixa variable (anàlisi univariada) o de la segona variable (anàlisi bivariada); (3) el grup baix-alt representa les seccions censals que tenen valors baixos d'una variable, respecte de les seccions censals veïnes, que presenten valors alts ja sigui de la mateixa variable (anàlisi univariada) o de l'altra variable (anàlisi bivariada); i, finalment, el quart grup alt-baix representa les seccions censals que tenen valors alts d'una variable, en comparació amb les seccions censals veïnes, que presenten valors baixos ja sigui de la mateixa variable (anàlisi univariada) o d'una altra variable (anàlisi bivariada) (Gómez-Varo et al., 2021) Aquesta metodologia l'ha utilitzat l'equip de l'IERMB en treballs previs a Garcia et al. (2020) amb resultats molt satisfactoris.

Les comparacions s'han realitzat dos a dos per a cada parell de variables: IVAC (variable 1) i indicador climàtic (variable 2), mitjançant una anàlisi d'autocorrelació espacial. Es calcula l'Índex de Moran en cada cas i es generen els mapes de punts calents (*hotspots*) i punts freds (*coldspots*). Pel que fa als indicadors climàtics, s'ha fet una selecció d'entre els disponibles i finalment s'ha fet l'anàlisi espacial pels dies amb temperatures molt elevades, les nits amb temperatures molt elevades, i les onades de calor.

3.4 Indicadors climàtics

A continuació s'expliquen el detall de les dades climàtiques que s'han superposat a l'IVAC, en concret les dades climàtiques de pronòstic d'augment de les temperatures i de freqüència i severitat de les onades de calor en el període 2011-2040. La font de dades ha estat l'estudi de l'evolució projectada de diferents índexs de calor a l'àrea metropolitana de Barcelona realitzat pel Servei Meteorològic de Catalunya per encàrrec de l'AMB (SMC, 2018). Aquest estudi es va emmarcar dins l'eix d'*Energia i Canvi Climàtic* a escala del conjunt del territori metropolità del *Pla de Sostenibilitat de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (PSAMB)*, en el qual es van generar escenaris climàtics futurs regionalitzats a molt alta resolució (1 km) per a l'àmbit de l'AMB.

La metodologia aplicada usava *Models de Circulació Globals (MCG) de l'IPCC-AR5* per a estimar les projeccions futures de temperatura i de precipitació fins al 2100 sobre una malla d'observacions d'1 km de resolució. Els models utilitzats, així com els períodes temporals, els escenaris contemplats i el llistat complet d'indicadors es presenten a la Taula 3.4:

Taula 3.4. Dades climàtiques disponibles a l'àmbit metropolità

MCG utilitzats	Períodes temporals	Escenaris contemplats	Indicadors estimats per a cada escenari
<ul style="list-style-type: none"> MPI-ESM (alemany), Max Planck Institute for Meteorology GFDL-ESM2G (americà), Geophysical Fluid Dynamics Laboratory CanESM2 (canadenc), Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis Est = Estadístic. Es refereix a la mediana dels 3 models utilitzats (canadenc, alemany i americà). 	<ul style="list-style-type: none"> 1971 – 2000 (escenari control) 2011 – 2040 2041 – 2070 2071 – 2100 	<ul style="list-style-type: none"> CRL = Control (observacions) E45 = RCP4.5 (mitigació des del 2050 ≈ Acords de París) E85 = RCP8.5 (sense mitigació) 	<ul style="list-style-type: none"> nr = Numero de ratxes rx = Longitud màxima de ratxa ca = Nits càlides (T^o mínima superior a 23 °C) dc = Dies de calor (T^o màxima superior a 33,1 °C) dt = Dies tòrrids (T^o màxima superior a 35 °C) OdC = Onades de calor To = Nits tòrrides (T^o mínima superior a 25 °C) Tr = Nits tropicals (T^o mínima superior a 20 °C)

Font: SMC, 2018

Al present estudi s'utilitzaran les dades climàtiques de l'escenari sense mitigació, E85 = RCP8.5, dels indicadors següents en el període temporal 2011 – 2040, ja que, l'objectiu de la planificació és el futur pròxim:

- Dies amb temperatures molt elevades T^a màxima superior a 33,1 °C (dies de calor) en municipis amb influència marítima i T^a màxima superior a 35 °C (dies tòrrids) en municipis sense influència marítima)
- Nits amb temperatures molt elevades (T^a mínima superior a 23 °C (nits càlides) en municipis amb influència marítima i T^a mínima superior a 20 °C (nits tropicals) en municipis sense influència marítima)
- Freqüència d'onades de calor segons T^a diürna
- Freqüència d'onades de calor segons T^a nocturna

Els valors dels indicadors finals utilitzats per aquesta anàlisi són la suma dels valors actuals a l'escenari CRL = Control + les variacions del corresponent escenari climàtic. Amb aquestes indicacions s'han creat dues bases de dades que recullen les projeccions a l'escenari E85 = RCP8.5, usant el MCG Estadístic per al període 2011-2040.

Els models aplicats tenen en compte la influència del litoral. L'indicador dicotòmic *LITORAL Influència litoral [sí=1]* identifica els municipis costaners i amb un clima més temperat i hi fixa valors per als índexs de calor diferents per a aquests municipis respecte de la resta (Taula 3.5)

Taula 3.5. Àmbit segons grau d'influència marítima

Municipis amb influència litoral	Municipis sense influència litoral
Badalona	Badia del Vallès
Barcelona	Barberà del Vallès
Begues	Castellbisbal
Castelldefels,	Cerdanyola del Vallès
Cornellà de Llobregat,	Cervelló
Esplugues de Llobregat,	Corbera de Llobregat
Gavà,	Montcada i Reixac
l'Hospitalet de Llobregat, Montgat,	Molins de Rei
el Prat de Llobregat,	Pallejà
Sant Adrià de Besòs,	Palma de Cervelló, la
Sant Boi de Llobregat,	Papiol, el
Sant Climent de Llobregat,	Ripollet
Sant Joan Despí,	Sant Andreu de la Barca
Sant Just Desvern,	Sant Feliu de Llobregat
Santa Coloma de Gramenet,	Sant Vicenç dels Hots Santa Coloma de Cervelló
Tiana	Sant Cugat del Vallès
Viladecans	Torrelles de Llobregat

Font: SMC, 2018.

Els llindars d'acord amb la influència marítima per al càlcul dels indicadors de dies amb temperatures molt elevades, de les nits amb temperatures molt elevades i les onades de calor, tenint en compte la influència marítima, són (Taula 3.6):

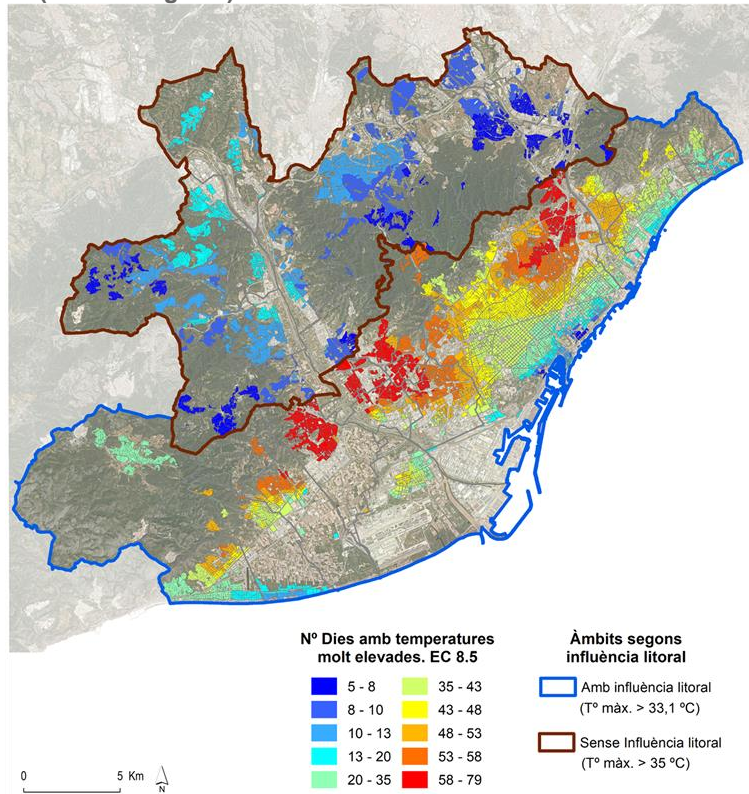
Taula 3.6. Indicadors de temperatura, llindars i ratxes.

	Temperatura màxima diürna		Temperatura mínima nocturna	
	Llindar	Ratxa	Llindar	Ratxa
Influència marítima	33,1°C (dies de calor)	3 dies	23,0°C (nits càlides)	6 dies
Sense influència marítima	35,0° (dies tòrrids)		20°C (nits tropicals)	

Font: SMC, 2018.

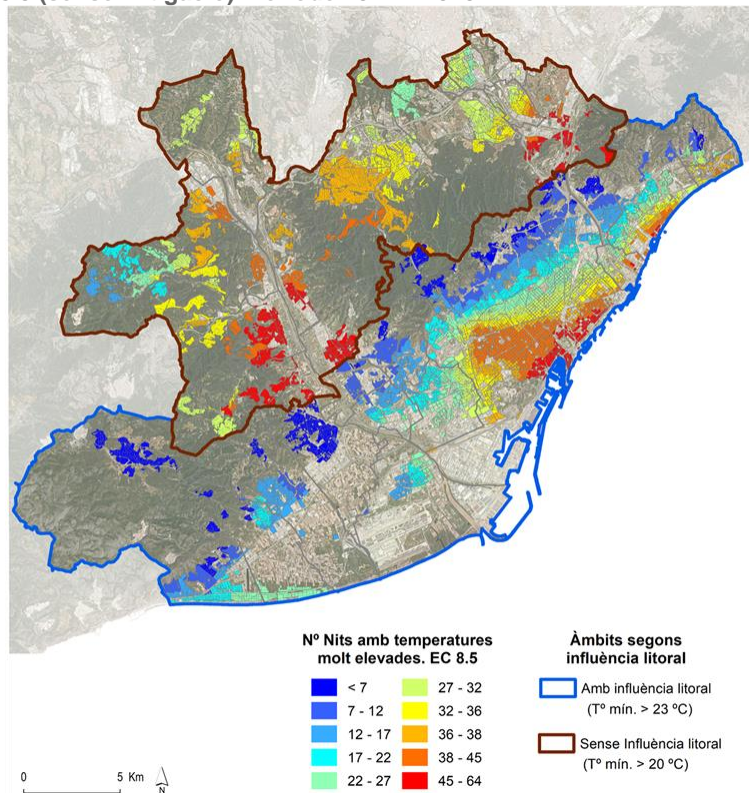
Tot seguit es mostra la cartografia dels indicadors calculats a escala de secció censal i pel conjunt de l'àmbit metropolità.

Mapa 3.17. Indicador climàtic de nombre anual de dies amb temperatures molt elevades en l'escenari RCP8.5 (sense mitigació). Període 2011 – 2040.



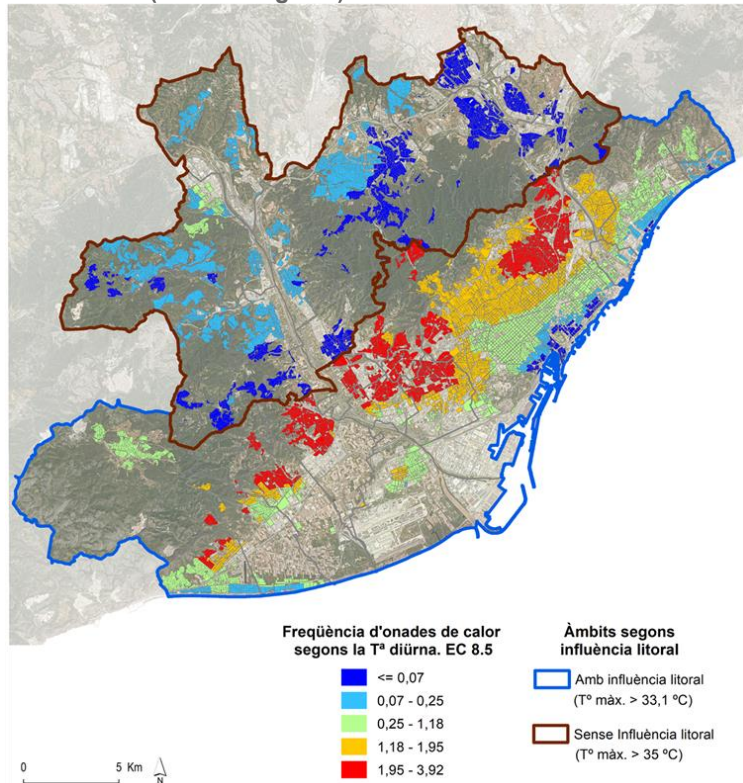
Nota: L'Indicador resultant és la suma dels valors actuals (escenari Control) + les variacions de l'escenari RCP8.5.
Font: IERMB a partir de SMC, 2018.

Mapa 3.18. Indicador climàtic de nombre anual de nits amb temperatures molt elevades en l'escenari RCP8.5 (sense mitigació). Període 2011 – 2040.



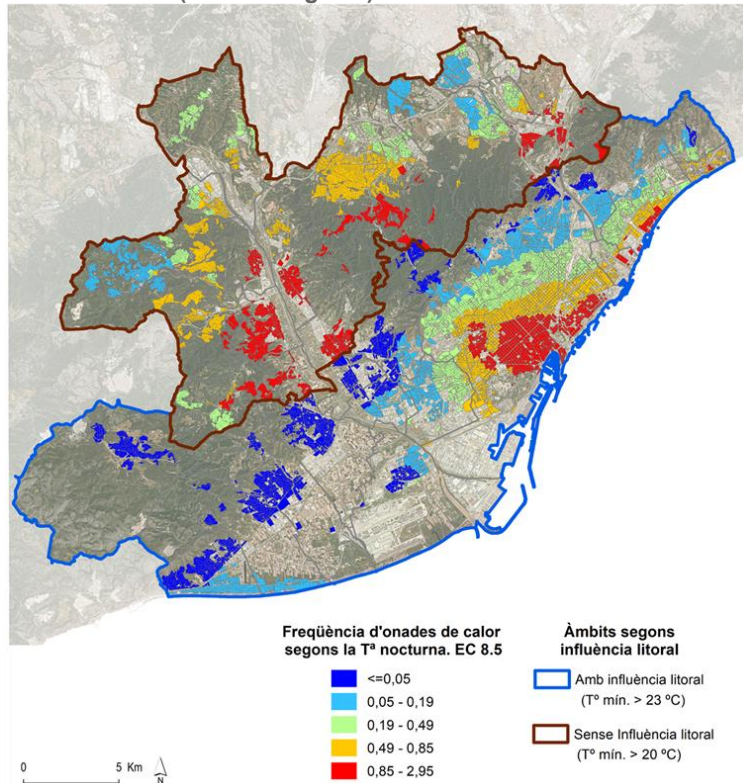
Nota: L'Indicador resultant és la suma dels valors actuals (escenari Control) + les variacions de l'escenari RCP8.5.
Font: IERMB a partir de SMC, 2018.

Mapa 3.19. Indicador climàtic de la freqüència anual d'onades de calor segons la temperatura diürna en l'escenari RCP8.5 (sense mitigació). Període 2011 – 2040.



Nota: A partir del nombre mitjà anual de ratxes de tres o més dies consecutius amb temperatures molt elevades. L'Indicador resultant és la suma dels valors actuals (escenari Control) + les variacions de l'escenari RCP8.5.
Font: IERMB a partir de Estudi SMC 2018.

Mapa 3.20. Indicador climàtic de la freqüència anual d'onades de calor segons la temperatura nocturna en l'escenari RCP8.5 (sense mitigació). Període 2011 – 2040. Anàlisi clúster.



Nota: A partir del nombre mitjà anual de ratxes de sis o més nits consecutives amb temperatures mín. molt elevades. L'Indicador resultant és la suma dels valors actuals (escenari Control) + les variacions de l'escenari RCP8.5
Font: IERMB a partir de Estudi SMC 2018.

4 MAPEIG DE LA VULNERABILITAT AL CANVI CLIMÀTIC

4.1 La construcció de l'índex (ACP)

L'Anàlisi de Components Principals (ACP) ens porta a una solució òptima amb quatre components que reproduïen l'estructura pensada *a priori* amb una variància total explicada del 69,33% (Taula 4.1). S'ha considerat que els indicadors estaven molt correlacionats amb cada component si les puntuacions factorials eren iguals o superiors a $\pm 0,50$ (vegeu la Taula 4.2).

La primera component explica el 21,76% de la variància total i aplega principalment els indicadors sobre les dimensions d'*Exposició* i d'*Adaptació*. La segona component explica el 17,74% de la variància total i recull els indicadors relacionats amb la *Sensibilitat* de la població. La tercera component explica el 15,60% de la variància total i la quarta explica el 14,24%. Aquestes components apleguen indicadors tant de població sensible com de l'edat i l'estat del parc d'habitatges, indicador d'*Exposició*.

Taula 4.1. Variància total explicada.

Component	Sumes de rotació de càrregues al quadrat		
	Total	% de variància	% acumulat
1	3,482	21,763	21,763
2	2,838	17,736	39,499
3	2,496	15,600	55,099
4	2,278	14,235	69,335

Taula 4.2. Matriu de components rotades.

Sentit de la relació	Nom de la variable	Codi variable	Component			
			1	2	3	4
(-)	Cobertura vegetal (NDVI > 0,4)	COBVEGNDVI	0,923			
(-)	Mitjana del NDVI	MITJNDVI	0,915			
(-)	Potencial de producció fotovoltaica de tipus B segons superfície construïda sobre rasant de la secció censal	TEC2_FVB_SSR	0,762			
(+)	Densitat residencial de la població	DENSRESPB	0,607			
(+)	Mitjana d'hores de desconfort a l'hivern dels habitatges de la secció censal	CLI_H_DES_HIV	-0,637			
(-)	Mediana de la renda per unitat de consum	RENDA_UC_2017		0,901		
(-)	% població amb estudis universitaris	P_PB_UNIV		0,817		
(+)	% llars vulnerables amb informe de serveis socials	P_LLAR_VULN_SS		0,681		
(+)	% població estrangera provinent de països en desenvolupament	P_PB_EST_EDES		0,624		
(+)	Habitatges 1951 a 1980	P_HAB1951_1980			,801	
(+)	Habitatges 1981 a 2007	P_HAB1981_2007			-,754	
(+)	% dones de més de 65 anys	P_DON_GRAN_65			,782	
(+)	Mitjana d'hores de desconfort a l'estiu dels habitatges de la secció censal	CLI_H_DES_EST			,512	,569
(+)	Habitatges 1950 o anterior	P_HAB1950				,802
(+)	% edificis en estat deficient, mal estat o estat ruïnós	P_ESTATEDIF				,590
(+)	% població de més de 75 anys que viu sola	P_GRAN_75_SOL				,520

A partir dels resultats descrits en la matriu de components rotats, a continuació es fa una interpretació de les components resultants.

Component 1 - Zones densament poblades amb manca d'espais verds i baix potencial de producció fotovoltaica (21,76% de la variància total). La primera component està associada principalment amb la densitat poblacional i amb la manca d'espais verds capturada a través dels indicadors normalitzats, amb escala inversa, de cobertura vegetal (NDVI > 0,4) i de mitjana d'NDVI a la secció censal. Aquestes variables, de més a més, s'associen amb un potencial relativament més baix de producció fotovoltaica (escala inversa) i amb menys hores de desconfort als habitatges en hivern (menys fred). A la banda contrària de l'eix, estarien les zones amb una forta presència d'infraestructura verda i una capacitat de producció fotovoltaica elevada, relacionada amb el mode urbà de baixa densitat.

Component 2 - Població amb renda baixa, menys proporció de població amb estudis superiors, població estrangera i llars amb informe d'exclusió residencial de serveis socials (17,74% de la variància total). La segona component captura la població vulnerable per motiu de renda (escala inversa), estudis (escala inversa) o migrant i que pateix privacions materials. I és que aquesta component inclou també la proporció de llars vulnerables amb informe de serveis socials, indicador de pobresa energètica que dona compte de les llars amb dificultats per pagar el rebut de l'aigua o d'altres subministraments bàsics.

Component 3 - Dones grans en habitatges relativament antics (1951 a 1980) i que passen més calor a l'estiu (15,60% de la variància total). La tercera component es relaciona principalment amb les hores de desconfort a l'estiu (més calor), més proporció de dones de 65 anys i zones amb més habitatges del 1951 al 1980, relativament antics. En canvi, l'associació és negativa amb la variable de proporció d'habitatges 1981 a 2007 (menys edificis d'aquesta època).

Component 4 - Gent gran que viu sola en habitatges força antics (≤ 1950) i que passen més calor a l'estiu (14,24% de la variància total). La quarta component també es relaciona amb les hores de desconfort a l'estiu (més calor), així com amb la variable que captura l'envelliment i la solitud – més proporció de població de més de 75 anys que viu sola. A més a més, aquesta component s'associa amb la proporció més elevada d'habitatges anteriors al 1950 i d'edificis en estat deficient, mal estat o estat ruïnós.

Per quantificar la vulnerabilitat social a l'augment de les temperatures es combinen, doncs, les qüestions referides a la infraestructura verda i la seva capacitat de refrigeració, clarament recollides en la primera component. L'efecte de refredament de la infraestructura verda, inclosos els anomenats *pocket green spaces* (petits espais verds), en els entorns construïts circumdants ha estat àmpliament documentat als estudis (per exemple, Anderson i William, 2021; Koc et al., 2018; Wu et al., 2021). La segona component integra la dimensió més social de la vulnerabilitat, amb els indicadors relacionats amb l'estatus socioeconòmic de les llars. La tercera component incorpora la ja coneguda desigualtat de gènere en relació amb la pobresa energètica i la manca de confort tèrmic (Pijuan, 2016). Tot i que hi ha hagut troballes contradictòries entre els estudis de vulnerabilitat a la calor pel que fa al gènere, la majoria dels mostren que les dones tenen un risc més elevat de mortalitat i morbiditat per calor que els homes, independentment del grup d'edat (Nayak et al., 2018). Per últim, la quarta component afegeix les qüestions relatives a la vulnerabilitat de la gent gran, i les característiques d'edificabilitat dels habitatges, també relacionats amb la manca de confort tèrmic. És interessant veure com la gent gran que viu sola ha format una component diferent a les dones grans. Com ja s'ha dit la literatura apunta que les dones tenen un risc relativament més elevat de mortalitat relacionada amb la calor que els homes (WHO, 2010). Tanmateix, entre les persones grans, els homes solen ser més vulnerables que les dones, principalment a causa de l'augment de la solitud i els comportaments relacionats (Klinenberg 2002).

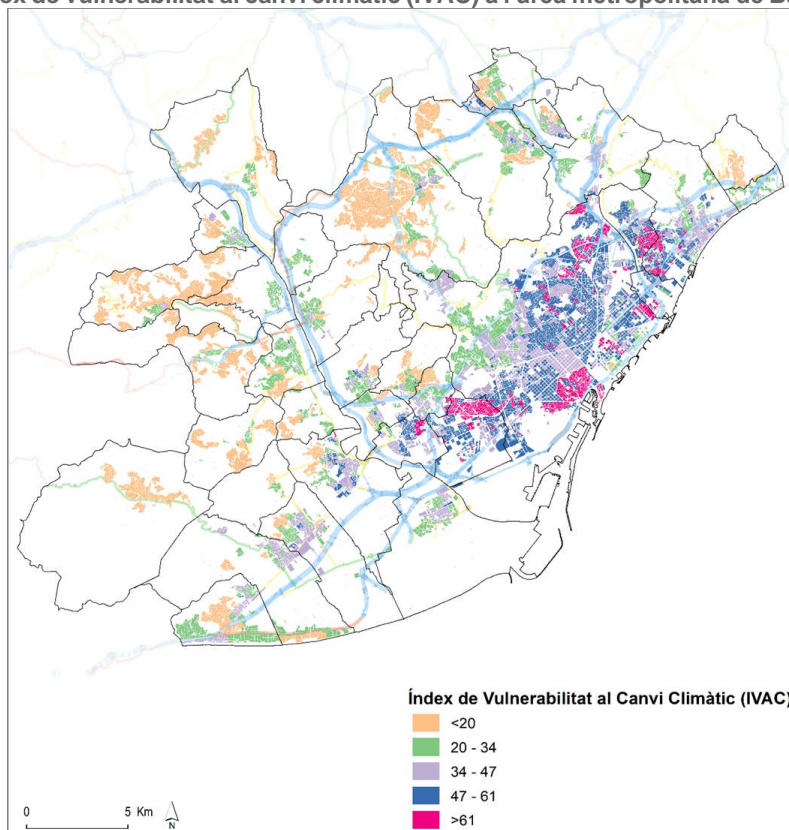
La combinació de cada una d'aquestes components és la que dona lloc a l'IVAC, tot calculant la mitjana aritmètica de les puntuacions de cada una de les components, per a cada secció censal. Aquest valor, una vegada convertit a una escala de 0 a 100, és el que ha esdevingut l'IVAC i el que s'ha pogut representar cartogràficament.

4.2 L'Índex de Vulnerabilitat al canvi climàtic (IVAC)

En aquest apartat es presenta l'índex de vulnerabilitat al canvi climàtic (IVAC) (Mapa 4.1). L'índex compost IVAC usa una escala 0 – 100 per quantificar la vulnerabilitat social als episodis de calor i les onades de calor, on els valors més alts (pròxims a 100) indiquen més vulnerabilitat i els valors més baixos (pròxims a 0) indiquen menys vulnerabilitat. Territorialment, l'escala de l'IVAC són les seccions censals de l'àmbit metropolità. Els indicadors que componen l'IVAC són els descrits a l'Apartat 3.1 i la metodologia seguida es basa en una anàlisi de components principals (ACP) dels indicadors normalitzats (Apartat 3.2).

Per representar cartogràficament l'IVAC s'han generat cinc estrats, tot seguint la classificació basada en l'algorisme Natural Breaks de Jenks. Els estrats que genera l'algorisme Natural Breaks es basen en agrupacions naturals inherents a les dades. S'identifiquen els límits o talls que millor agrupen valors similars i que maximitzen les diferències entre estrats, és a dir, els límits dels estrats s'estableixen on hi ha diferències relativament grans en els valors de les dades. Llavors, a partir d'aquesta classificació en cinc categories. Seguint aquesta classificació, el límit superior correspon a un IVAC superior a 61. Més endavant, en l'apartat 5.1, on s'identifiquen punts calents de vulnerabilitat al canvi climàtic a partir d'una anàlisi espacial de l'IVAC, es comprova que aquest tall és adequat, ja que l'IVAC de les seccions censals identificades com a punts calents és de 65 (valor mitjà).

Mapa 4.1. Índex de vulnerabilitat al canvi climàtic (IVAC) a l'àrea metropolitana de Barcelona. 2019.



Font: IERMB.

Un dels principals resultats de la representació cartogràfica de l'IVAC és l'elevada concentració territorial en les àrees molt densament poblades de l'àrea metropolitana de Barcelona. Els valors més elevats de vulnerabilitat a l'augment de les temperatures, amb IVAC > 61, es localitzen exclusivament en nou municipis de l'àrea metropolitana de Barcelona. D'aquests nou, és als municipis de l'eix Besòs on hi ha un nombre més elevat d'àrees molt vulnerables. Són els municipis de Badalona, els districtes de Nou Barris, Sant Andreu i Sant Martí de Barcelona, Montcada i Reixac, Sant Adrià de Besòs i Santa Coloma de Gramenet. Aquests concentren el 60% de la població que viu en zones amb vulnerabilitat molt elevada. L'Eix Llobregat, per la seva banda, també concentra àrees de vulnerabilitat especialment al municipi de l'Hospitalet de Llobregat; Cornellà de Llobregat i algunes zones d'Esplugues de Llobregat i de Sant Boi de Llobregat.

A partir de sumar la població de cada una de les seccions censals que presenten valors de l'IVAC superior a 61, s'estima que la població que viu en zones d'alta vulnerabilitat al canvi climàtic està al voltant dels 526.000 habitants, el que representa un total del 16,1% del conjunt de la població de l'àrea metropolitana de Barcelona. Com s'ha indicat, la concentració de la vulnerabilitat al canvi climàtic i l'elevada densitat de població dels municipis on aquesta és més present implica una sobrerepresentació en alguns municipis metropolitans d'aquest fenomen en termes de població. Els municipis o districtes de Barcelona que presenten un percentatge més elevat de població que viu en àrees amb elevada vulnerabilitat són el districte de Ciutat Vella de Barcelona (92,2%), l'Hospitalet de Llobregat (51,0%), el districte de Nou Barris de Barcelona (41,5%), Santa Coloma de Gramenet (36,7%), el districte de Sants-Montjuïc (29,1%), Sant Adrià del Besòs (21,3%), Cornellà de Llobregat (20,6%) i Badalona (18,7%).

Taula 4.3. Població resident en seccions censals amb valors d'IVAC elevats (IVAC > 61)

Municipi o dictriete	Població	% població sobre conjunt municipi/dictriete	% població sobre conjunt de l'AMB
Badalona	40.775	18,73	1,25
Barcelona	275.919	17,03	8,46
<i>Ciutat Vella</i>	92.806	92,15	2,85
<i>Eixample</i>	1.209	0,46	0,04
<i>Sants Montjuïc</i>	52.667	29,05	1,62
<i>Gràcia</i>	2.812	2,32	0,09
<i>Horta - Guinardó</i>	20.147	11,88	0,62
<i>Nou Barris</i>	69.634	41,48	2,14
<i>Sant Andreu</i>	15.595	10,52	0,48
<i>Sant Martí</i>	21.049	8,92	0,65
Cornellà de Llobregat	17.973	20,62	0,55
Esplugues de Llobregat	3.743	8,07	0,11
l'Hospitalet de Llobregat	133.079	50,97	4,08
Montcada i Reixac	1.984	5,57	0,06
Sant Adrià de Besòs	7.822	21,33	0,24
Sant Boi de Llobregat	911	1,1	0,03
Santa Coloma de Gramenet	43.621	36,71	1,34
Total	525.827		16,13

Font: IERMB

En més detall, s'aprecien la següent distribució territorial. Aquestes zones són, per tant, les més prioritàries quant a implementació d'accions adaptatives.

A l'Eix Besòs, les seccions censals més vulnerables (IVAC > 61) es troben a Badalona els barris de la zona de Llefià (Sant Mori de Llefià, Sant Antoni de Llefià, Sant Joan de Llefià), Sant Crist de Can Cabanyes, Sant Roc o la Salut són els més afectats, però n'hi ha més. A Santa Coloma de Gramenet el barri amb més vulnerabilitat és Fondo, però també zones de Can Mariner, Santa Rosa o el Raval, entre d'altres. A Sant Adrià del Besòs el barri de la Mina (sobretot) i alguna zona del Besòs. Altres zones que presenten valors molt propers a IVAC de 60 són Badia i Ripollet, tot i que no presenten valors tan extrems.

A l'Eix Llobregat, destaca l'Hospitalet de Llobregat amb diversos barris que inclouen zones molt vulnerables, com ara la Torrassa, la Pubilla Cases, la Florida, les Planes, Collblanc o Bellvitge, entre d'altres. A Cornellà de Llobregat el barri de Sant Ildefons. A Esplugues de Llobregat alguna zona de Can Vidalet.

A Barcelona, es troben als barris dels districtes de Ciutat Vella (el Raval o la Barceloneta, sobretot), Nou Barris (zones extenses de Ciutat Meridiana, la Prosperitat o el Turó de la Peira, però també a altres barris), Sants-Montjuïc (Sants- Badal, Sants i el Poble Sec), Sant Martí (el Besòs i el Maresme), Sant Andreu (la Trinitat Vella), Horta-Guinardó (el Carmel i alguna zona de Can Baró) o Gràcia (la Vila de Gràcia).

El model de la vulnerabilitat al canvi climàtic tal com s'ha entès en aquest document implica concebre'l com un fenomen complex, en el qual intervenen diversos factors relacionats amb l'exposició, la sensibilitat i la capacitat adaptativa a l'augment de les temperatures, alguns d'ells relacionats entre ells, i expressats en les components de l'IVAC. La incidència de cada una d'aquestes components sobre el territori és diversa, i pot donar resultats diferents. De l'observació de la distribució territorial de l'IVAC és evident el pes que tenen les variables de sensibilitat, d'estatus socioeconòmic, en explicar-lo. No obstant hi ha un conjunt de zones que es desvien d'aquests resultats, i on la combinació dels factors escollits, i segurament el pes de la primera component, la que dona compte de la infraestructura verda, fa que no es compleixin els resultats esperats. Són per exemple algunes zones de l'Eix Llobregat com els municipis de Sant Andreu de la Barca, Sant Vicenç dels Horts, Sant Boi de Llobregat, el barri de Sant Cosme del Prat de Llobregat i Viladecans on s'esperaria uns valors de vulnerabilitat al canvi climàtic més elevada si es tingués en compte només la segona component, la de les característiques socioeconòmiques de les llars.

A continuació s'elabora una anàlisi de correlació espacial que permet identificar zones on es concentra una elevada vulnerabilitat al canvi climàtic en relació amb la vulnerabilitat al canvi climàtic dels seus veïns. Això ens permetrà reforçar aquesta idea de la concentració de la vulnerabilitat social al canvi climàtic i definir quines poden ser les àrees d'intervenció prioritàries.

5 PUNTS CALENTS I PUNTS FREDS DE VULNERABILITAT

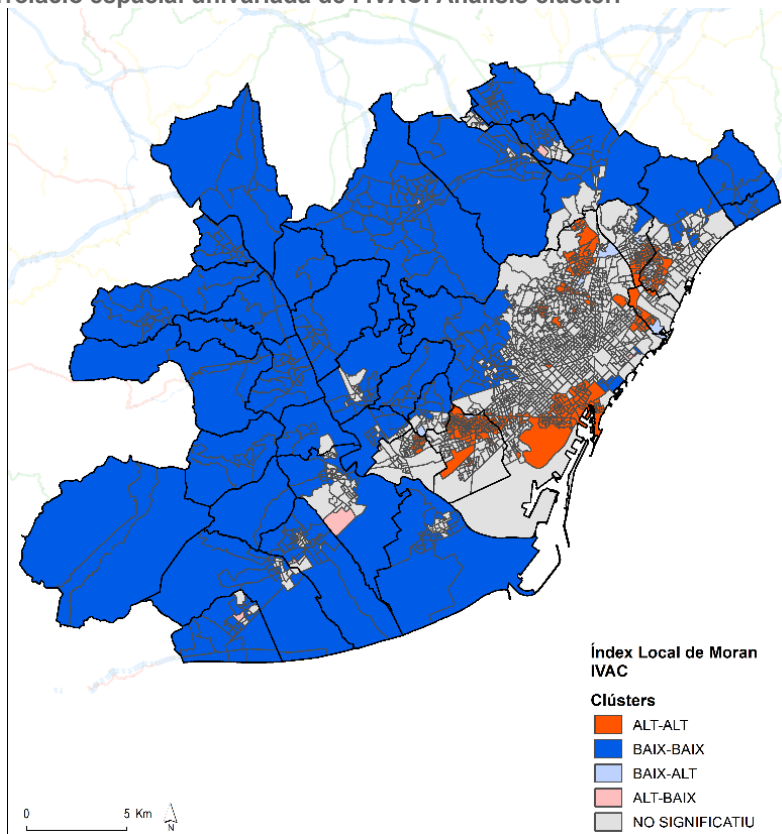
A continuació es presenten els resultats de l'anàlisi d'autocorrelació espacial a partir de l'Indicador Local d'Associació Espacial (LISA, per les seves sigles en anglès), que permeten identificar clústers de zones amb molt alta vulnerabilitat al canvi climàtic, així com clústers de coincidència amb molt alta vulnerabilitat al canvi climàtic i projeccions d'augment de les temperatures molt elevades. Per a més detalls sobre la metodologia, vegeu apartat 3.3.

5.1 Punts calents de vulnerabilitat al canvi climàtic

El primer pas per identificar punts calents de vulnerabilitat és fer l'anàlisi de correlació espacial univariada, és a dir, utilitzant només la variable de l'índex de vulnerabilitat al canvi climàtic (IVAC) (Mapa 5.1). Aquesta anàlisi, permet classificar les seccions censals en quatre grups:

- Alt-Alt, format per aquelles seccions censals amb valors alts de l'IVAC i envoltades d'altres seccions censals també amb valors alts de l'IVAC
- Baix-Baix, format per aquelles seccions censals amb valors baixos de l'IVAC i envoltades de seccions censals amb valors baixos de l'IVAC
- Baix-Alt aglutina les seccions censals que tenen valors baixos de l'IVAC, però envoltades de seccions censals amb valors alts de l'IVAC
- Alt-baix concentra les seccions censals que tenen valors alts d'IVAC rodejades de seccions censals que presenten valors baixos de l'IVAC

Mapa 5.1. Correlació espacial univariada de l'IVAC. Anàlisi clúster.



Font: IERMB.

Es confirmen els resultats de l'apartat anterior que ja indicaven una concentració territorial de la vulnerabilitat al canvi climàtic. S'observa com les seccions censals metropolitanas s'agrupen principalment en dos grups, el grup Alt-Alt i el grup Baix-Baix. De fet, aquesta anàlisi espacial, concentra encara més els valors de vulnerabilitat elevada, el grup *Alt-Alt*, en uns pocs municipis, en aquest cas en set: Badalona, Barcelona (en especial districtes de Ciutat Vella, Sants-Montjuïc i Nou Barris), Sant Adrià del Besòs, i Santa Coloma de Gramenet, a l'Eix Besòs, el barri de Sant Ildefons de Cornellà de Llobregat, alguna petita zona del barri de Can Vidalet d'Esplugues de Llobregat i al barri de Collblanc de l'Hospitalet de Llobregat a l'Eix Llobregat. Aquestes àrees en conjunt aglutinen una població d'uns 607.000 habitants, un 18,61% del conjunt de l'àrea metropolitana de Barcelona. A la Taula 5.1 es presenta el total de la població resident en les seccions censals que pertanyen a aquest grup.

Taula 5.1. Població resident en seccions censals pertanyents al clúster amb més vulnerabilitat social al canvi climàtica – IVAC Alt-Alt.

Municipi o districte	Població	% població sobre conjunt municipi/districte	% població sobre conjunt de l'AMB
Badalona	52.661	24,19	1,62
Barcelona	316.380	19,53	9,70
<i>Ciutat Vella</i>	98.279	97,58	3,01
<i>Eixample</i>	14.962	5,65	0,46
<i>Sants-Montjuïc</i>	76.770	42,34	2,35
<i>Les Corts</i>	1.729	2,11	0,05
<i>Gràcia</i>	1.235	1,02	0,04
<i>Horta-Guinardó</i>	18.607	10,98	0,57
<i>Nou Barris</i>	82.172	48,95	2,52
<i>Sant Andreu</i>	5.498	3,71	0,17
<i>Sant Martí</i>	17.128	7,26	0,53
Cornellà de Llobregat	23.340	26,77	0,72
Esplugues de Llobregat	4.510	9,73	0,14
l'Hospitalet de Llobregat	142.319	54,51	4,37
Sant Adrià de Besòs	13.922	37,97	0,43
Santa Coloma de Gramenet	53.639	45,14	1,65
Total	606.771	--	18,61

Font: IERMB

Al cantó oposat, unes 758.000 persones (23,3% del total de l'àrea metropolitana de Barcelona) viuen en el grup *Baix-Baix*, en municipis principalment fora del continu urbà de Barcelona. A Barcelona el grup amb baixa vulnerabilitat es concentra només a algunes seccions censals del districte de Sarrià Sant Gervasi de Barcelona i a unes poques seccions censals del barri de la Ribera del districte de ciutat Vella. Aquest enclavament corresponent al parc de la Ciutadella, i és l'efecte del verd urbà el que la posiciona en aquest grup.

El grup *Baix-Alt*, que incorporen seccions censals que tenen un IVAC baix, però que estan rodejades de seccions censals amb IVAC alt, està format per algunes petites zones difuminades de Badalona, dels districtes de Nou Barris, Sant Andreu i Sants-Montjuïc de Barcelona, Esplugues de Llobregat, l'Hospitalet de Llobregat, Sant Adrià del Besòs i Santa Coloma de Gramenet. Aquest grup està format per un total d'uns 18.000 habitants, un 0,5% del total de població de l'AMB.

Per últim, el grup *Alt-Baix*, zones d'alta vulnerabilitat, rodejades de zones de baixa vulnerabilitat, està format per zones disseminades dels municipis de Badia del Vallès, Ripollet, Cerdanyola del Vallès, Sant Boi de Llobregat i Castelldefels. Aquest grup el formen un total de 19.000 habitants, un 0,6% del total de la població metropolitana.

Per entendre quins són els factors que poden explicar les diferències en la vulnerabilitat al canvi climàtic entre els diferents clústers s'ha realitzat una prova de comparació de mitjanes, amb un nivell de significació de 0,05 (utilitzant la correcció de Bonferroni). Aquest test permet veure si hi ha diferències estadísticament significatives entre els quatre grups amb relació als indicadors que s'han fet servir en la formació de l'IVAC (Taula 5.2).

Taula 5.2. Comparació de mitjanes entre clústers (IVAC univariant) dels indicadors de vulnerabilitat al canvi climàtic.

	ALT-ALT	ALT-BAIX	BAIX-ALT	BAIX-BAIX
% habitatges 1950 o anterior	18,39	5,35	3,95	3,91
% habitatges 1951 a 1980	71,52	86,23	47,95	42,36
% habitatges 1981 a 2007	8,14	7,84	36,28	48,42
% habitatges 2008 o més nous	1,95	0,57	11,81	5,31
% edificis en estat deficient, mal estat o estat ruïnós	17,07	12,79	11,17	6,18
Mitjana d'hores de desconfort a l'hivern (hores/any)	1.020,21	1.541,31	1.076,64	2.056,18
Mitjana d'hores de desconfort a l'estiu (hores/any)	2.065,86	1.526,93	1.814,89	1.436,57
% de cobertura vegetal (NDVI > 0,4)	12,79	16,87	17,67	37,80
Mitjana del NDVI (índex)	0,20	0,22	0,22	0,33
Densitat residencial de la població (hab/km ²)	603,51	564,31	392,64	204,04
% població de més de 75 anys que viu sola	31,62	29,51	25,79	22,72
% dones de més de 65 anys	20,70	22,49	19,53	17,11
Mediana de la renda per unitat de consum (€/any)	15.004,57	18.648,62	19.162,64	24.803,03
% població amb estudis universitaris	17,20	16,63	24,51	27,65
% població estrangera provinent de països en desenvolupament	20,67	9,03	9,24	4,61
% llars vulnerables amb informe de serveis socials	15,75	12,53	9,10	4,76
Potencial de producció fotovoltaica de tipus B segons superfície construïda sobre rasant de la secció censal (KWh/m ²)	9,90	10,18	10,41	27,24
IVAC(0-100)	65,07	51,89	45,33	27,44
Població (habitants)	606.771	18.959	17.752	758.465

Font: IERMB

La comparació de mitjanes mostra que hi ha diferències estadísticament significatives per a totes les variables entre el grup Alt-Alt i el grup Baix-Baix, començant per l'IVAC, amb valors mitjans de 65,7 i 27,4 respectivament. Com ja era esperable, les seccions censals del grup *Alt-Alt* es caracteritzen per tenir habitatges principalment d'entre el 1951 al 1980, amb el percentatge d'edificis en estat deficient, mal estat o estat ruïnós més elevat (17,7%), amb les hores de desconfort durant l'hivern significativament més baixes, però amb hores de desconfort a l'estiu significativament més elevades. Amb una cobertura vegetal i una mitjana de l'NDVI significativament més baixes que el grup Baix-Baix i amb una densitat residencial de la població més elevada de tots els grups. Pel que fa a les variables de sensibilitat, són seccions censals amb valors mitjans significativament més alts tant pel que fa al percentatge de gent gran que viu sola, com pel percentatge de llars amb dones grans, el percentatge de població estrangera provinent de països en desenvolupament i el percentatge de llars vulnerables amb informe de serveis socials. Per contra, tenen uns valors significativament més baixos de renda i de percentatge de població amb estudis universitaris. També tenen el potencial de producció fotovoltaica més baixa de tots els grups.

És interessant veure quines són les característiques del grup *Baix-Alt*, quines són les variables que poden estar explicant una situació més favorable respecte dels seus veïns. En aquest cas, les variables estadísticament significatives respecte a la resta de grups són dues d'exposició. Destaca especialment el fet que són les zones amb un percentatge més elevat d'habitatges posteriors al 2008, per tant, posteriors a l'aplicació del primer CTE-HE i la certificació energètica dels edificis. En aquest període hi ha límits sobre la transmissió tèrmica dels tancaments i el grau d'eficiència es determina en comprar l'edifici (objecte) respecte d'un edifici de referència i a partir del 2014 els habitatges han de tenir un consum i una demanda energètica (kWh) inferiors a uns valors definits en funció de la zona climàtica. L'altre variable que mostra diferències significatives és la Mitjana de desconfort tèrmic a l'hivern significativament més baixa en comparació al que s'esperaria pels altres valors. En aquest cas, pot estar relacionat amb la variable de construcció de l'edifici i de les condicions dels habitatges.

Pel que fa al grup *Alt-Baix*, és a dir, zones amb un IVAC molt elevat en relació amb les zones veïnes, destaquen per ser zones amb valors significativament més alts pel que fa al percentatge d'habitatges construïts en el període 1952 i 2007, abans del CTE-HE i són els que tenen valors

més elevats de desconfort tèrmic a l'hivern (respecte del grup Baix-Baix). Pel que fa a les variables de sensibilitat, es caracteritzen per tenir valors significativament més alts del pes de la població envellida que viu sola i de les dones grans (comparativament amb el grup Baix-Baix). Són algunes zones concretes de Badia del Vallès, Ripollet, Cerdanyola del Vallès, Sant Boi de Llobregat i Castelldefels.

5.2 Superposició de l'IVAC amb els indicadors climàtics

A continuació es mostren els resultats de les anàlisis d'autocorrelació espacials bivariades, que permeten identificar clústers de zones amb un IVAC elevat i valors elevats de les variables climàtiques (Mapa 5.2 a Mapa 5.5). En concret, l'anàlisi es presenta per quatre indicadors climàtics: dies amb temperatures molt elevades (Mapa 3.17), nits amb temperatures molt elevades (Mapa 3.18), freqüència d'onades de calor segons temperatura diürna (Mapa 3.19), freqüència d'onades de calor segons temperatura nocturna (Mapa 3.20), totes elles calculades en l'escenari RCP8.5 (sense mitigació) pel període 2011 – 2040.

Els clústers formats s'han d'entendre de la següent manera:

- Alt-Alt, format per aquelles seccions amb valors alts de l'IVAC i amb valors elevats de la variable climàtica
- Baix-Baix, format per aquelles seccions censals amb valors baixos de l'IVAC i amb valors baixos per la variable climàtica
- Baix-Alt aglutina les seccions censals que tenen valors baixos de l'IVAC i valors alts de la variable climàtica
- Alt-baix concentra les seccions censals que tenen valors alts d'IVAC però valors baixos de la variable climàtica.

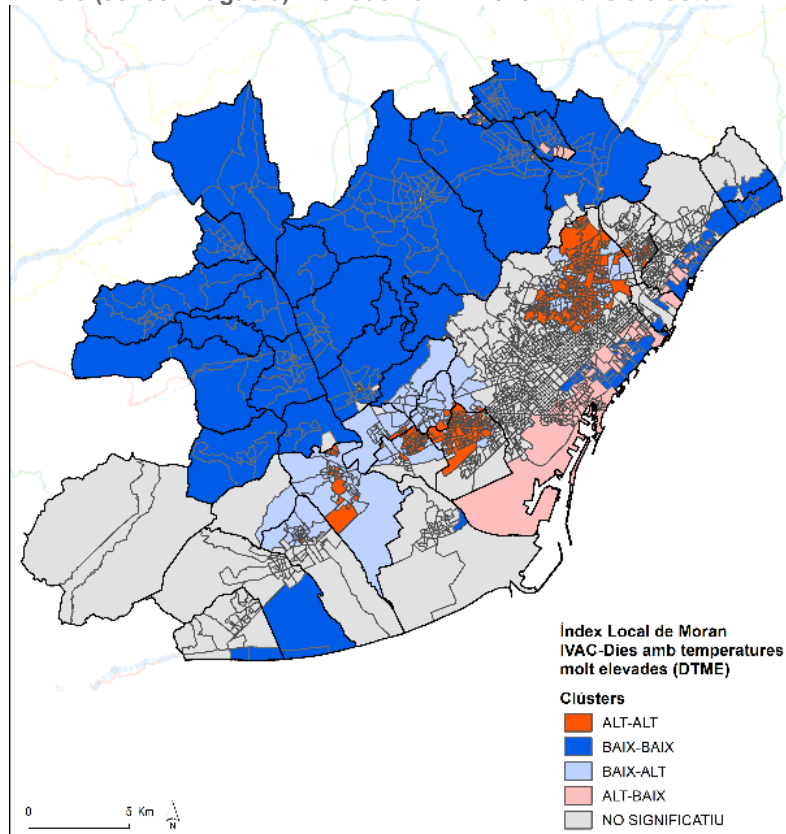
Els resultats de la superposició de l'IVAC amb les variables climàtiques també mostren la formació de clústers, tot i que els resultats són prou distints entre les temperatures diürnes i nocturnes. També s'han dut a terme les comparacions de mitjanes pels indicadors utilitzats per fer l'IVAC.

Dies amb temperatures molt elevades

Els llocs on coincideixen valors alts de vulnerabilitat amb valors alts de dies amb temperatures molt elevades, el grup *Alt-Alt*, mostra certes similituds amb el que ja hem vist a l'anàlisi univariant. Es continua concentrant en els municipis de Barcelona (en especial en els districtes de Nou Barris, Sant Andreu i Horta-Guinardó), barris de Sant Ildefons i la Gavarra de Cornellà de Llobregat, als barris de Can Vidalet i Can Cervera d'Esplugues de Llobregat, als barris del nord de l'Hospitalet de Llobregat i als barris de la meitat sud de Santa Coloma de Gramenet. En aquest cas desapareixen les seccions censals de Badalona i de Sant Adrià del Besòs, i s'afegeixen algunes de la zona nord de Sant Boi de Llobregat, i unes petites zones de Sant Joan Despí i de Viladecans. Aquestes àrees engloben un total d'uns 579.000 habitants (17,8%).

Per contra, el grup *Baix-Baix*, format per seccions censals amb baixa vulnerabilitat i valors baixos de nombre de dies amb temperatures molt elevades, continua concentrar-se en les zones de baixa densitat del nord de l'àmbit metropolità, a excepció d'alguns barris marítims de Barcelona al districte de Sant Martí, Badalona i Sant Adrià del Besòs. En total aglutina un total d'uns 559.000 habitants (34,6%). Les comparacions de mitjanes també han mostrat diferències significatives entre clústers (Taula 5.3). El grup *Alt-Alt* presenta diferències significatives respecte del grup Baix-Baix per tots els factors de vulnerabilitat. Així doncs, són grups substancialment diferents tant per les variables d'exposició, com per les de sensibilitat i d'exposició, totes elles més favorables pel grup Baix-Baix.

Mapa 5.2. Correlació espacial bivariada (LISA). IVAC amb dies amb temperatures molt elevades en l'escenari RCP8.5 (sense mitigació). Període 2011 – 2040. Anàlisi clúster



Font: IERMB.

El grup *Baix-Alt*, cobreix principalment zones de l'oest de Barcelona (districtes de Sant Andreu, Horta-Guinardó, Nou Barris i Les Corts) i dels municipis del Baix Llobregat com Sant Boi de Llobregat, Cornellà de Llobregat, Esplugues de Llobregat, Sant Joan Despí, Sant Just Desvern i algunes zones de Sant Climent de Llobregat i Viladecans. Són zones que destaquen per presentar projeccions d'augment de les temperatures diürnes molt intenses. En total la formen un total d'uns 272.000 habitants (8,3%). Amb un IVAC mitjà de 37,9, són zones que presenten característiques semblants al grup Baix-Baix en la majoria d'indicadors d'exposició excepte per presentar un parc d'habitatges més envellit, més densitat de població i menys presència de verd i una mitjana d'hores de desconfort a l'hivern més baixa. També mostra valors molt semblants per tots els indicadors de sensibilitat menys pel que fa al percentatge de llars vulnerables amb informe de serveis socials (que és del doble que la del grup Baix-Baix).

Per últim, el grup *Alt-Baix*, és a dir, on l'IVAC presenta valors elevats i valors baixos de dies amb temperatures diürnes molt elevades, el formen algunes zones del litoral de Barcelona (districtes de Ciutat Vella, Sant Martí, Sants Montjuïc i Eixample) i algunes zones del litoral de Badalona i Sant Adrià del Besòs. Ripollet i Badia del Vallès també formen part d'aquest grup, que total agrupa unes 235.000 persones (7,2%). El conjunt d'aquestes zones presenten valors mitjans semblants al Grup Alt-Alt excepte per algunes variables. És el clúster que presenta un percentatge d'habitatges de pisos molt vells (anterior al 1950) més elevat (un 41%) i el que té un percentatge més elevat d'edificis en estat deficient, mal estat o estat ruïnós (22,9%), fins i tot per sobre del grup Alt-Alt. Lligat a això, són els que presenten la mitjana d'hores de desconfort a l'estiu més elevada. Pel que fa a les variables de sensibilitat, són el grup amb la població més envellida (34,6%) i un pes més elevat de població estrangera (17,1%) i amb més llars amb informe d'exclusió residencial de serveis socials municipal relacionat amb dificultats per pagar la factura de l'aigua. De fet, aquests són els que tenen un IVAC més elevat, amb un valor mitjà de 62,5.

Taula 5.3. Comparació de mitjanes entre clústers (IVAC vs Dies amb temperatures molt elevades) dels indicadors de vulnerabilitat al canvi climàtic.

	ALT-ALT	ALT-BAIX	BAIX-ALT	BAIX-BAIX
% habitatges 1950 o anterior	4,17	41,66	4,37	6,20
% habitatges 1951 a 1980	84,68	43,77	56,62	40,82
% habitatges 1981 a 2007	9,23	10,73	33,88	47,32
% habitatges 2008 o més nous	1,92	3,84	5,13	5,67
% edificis en estat deficient, mal estat o estat ruïnós	12,72	22,09	6,88	6,12
Mitjana d'hores de desconfort a l'hivern (hores/any)	1.007,50	1.223,47	1.535,22	2.048,96
Mitjana d'hores de desconfort a l'estiu (hores/any)	1.961,63	2.002,21	1.547,71	1.435,47
% de cobertura vegetal (NDVI > 0,4)	15,15	14,93	24,71	35,66
Mitjana del NDVI (índex)	0,22	0,21	0,27	0,32
Densitat residencial de la població (hab/km ²)	560,87	513,36	334,16	215,19
% població de més de 75 anys que viu sola	29,95	34,57	24,33	23,78
% dones de més de 65 anys	23,72	19,77	20,78	17,06
Mediana de la renda per unitat de consum (€/any)	16.687,59	17.643,40	22.604,21	23.280,10
% població amb estudis universitaris	16,27	25,09	24,17	26,53
% població estrangera provinent de països en desenvolupament	14,65	17,05	5,02	5,18
% llars vulnerables amb informe de serveis socials	14,94	13,11	8,54	4,00
Potencial de producció fotovoltaica de tipus B segons superfície construïda sobre rasant de la secció censal (KWh/m ²)	10,66	9,11	15,82	27,19
IVAC(0-100)	59,52	61,55	37,91	28,65
Població (habitants)	579.296	234.590	271.873	559.332

Font: IERMB

Nits amb temperatures molt elevades

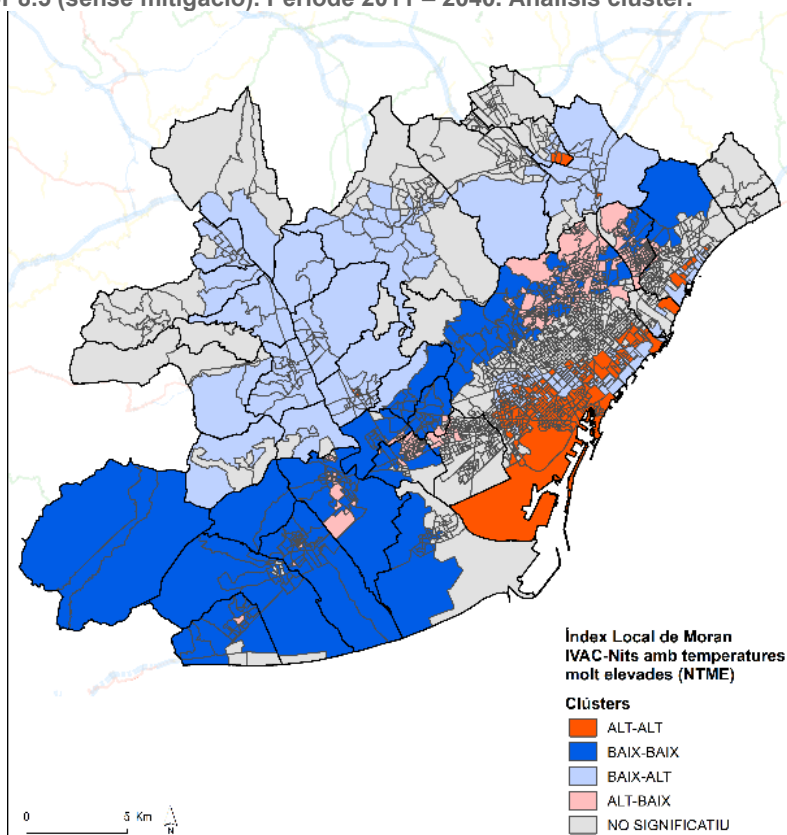
Quan se superposa l'IVAC amb les projeccions del nombre de nits amb temperatures molt elevades (Mapa 5.3) s'observa una distribució territorial molt diferent de l'anterior. En aquest cas el grup *Alt-Alt* es concentra a la meitat sud del municipi de Barcelona, especialment en els districtes de Ciutat Vella (al complet), l'Eixample i Sants-Montjuïc, però també parts dels districtes de Les Corts i de Sant Martí. També en barris marítims de Badalona i Sant Adrià del Besòs i en algunes zones de Ripollet i una petita zona de Montcada i Reixac i de Sant Feliu de Llobregat. Aquest grup el formen uns 435.000 habitants (13,4% de la població metropolitana). Aquestes zones tenen un IVAC mitjà de 58,9 i mostren valors mitjans significativament diferents amb relació al grup *Baix-Baix* pel que fa a tots els indicadors que formen l'IVAC, caracteritzats tots ells per situacions més desfavorables (Taula 5.4).

El grup *Baix-Baix*, es troba principalment en els municipis de la part sud de l'àrea metropolitana de Barcelona. Aquí és evident la influència marítima en la formació d'aquests clústers (vegeu Mapa 3.18). Destaquen els municipis de l'Eix del Llobregat com Begues, Castelldefels, el Prat de Llobregat, Esplugues de Llobregat, Sant Boi de Llobregat, Sant Climent de Llobregat, Sant Joan Despí, Sant Just Desvern i Viladecans per tenir més de dos quarts de la seva població en aquest grup. Barcelona també té zones en aquest grup, especialment al nord dels districtes de Gràcia, Horta-Guinardó Nou Barris, Sant Andreu i Sarrià Sant Gervasi. Reuneix a una població d'uns 483.000 habitants, 14,4% de total de l'àrea metropolitana de Barcelona i presenta un IVAC mitjà de 36,5.

Les seccions censals amb valors baixos d'IVAC i de nits amb temperatures molt elevades, grup *Baix-Alt*, se situen principalment a les zones més fondes i interiors del Baix Llobregat (el Papiol, Molins de Rei, Pallemà, Sant Andreu de la Barca, Sant Feliu de Llobregat, Sant Vicens dels Horts i Santa Coloma de Cervelló) i part de Sant Cugat del Vallès i de l'Eix Besòs (Montcada i Reixac i Cerdanyola del Vallès) i algunes parts de la façana litoral dels municipis de Barcelona, Badalona i Sant Adrià del Besòs. Aquest clúster aplega una població d'uns 439.000 habitants, 13,5% de total de l'àmbit metropolità. Té un IVAC mitjà de 34,6, el més baix dels quatre clústers, i és que presenta valors molt favorables per la majoria d'indicadors, molts semblants al del grup *Baix-Baix*. Són les zones amb rendes més altes i amb un percentatge de població amb estudis més

elevada. El potencial de producció fotovoltaica és dels més elevats, i també s'espera que tot i les elevades temperatures nocturnes, siguin llars on es pugui adaptar amb l'ús de sistemes de climatització. De fet, és la que presenta un percentatge més baix de llars vulnerables amb informe de serveis socials municipals.

Mapa 5.3. Correlació espacial bivariada (LISA). IVAC amb nits amb temperatures molt elevades en l'escenari RCP8.5 (sense mitigació). Període 2011 – 2040. Anàlisi clúster.



Font: IERMB.

Per últim, el grup *Alt-Baix*, es troba format per zones força disseminades de la part sud de l'àrea metropolitana de Barcelona. És el cas de bona part del districte de Nou Barris de Barcelona i de part del d'Horta-Guinard i Sant Andreu. A l'Eix del Besòs, municipis com Badalona i Santa Coloma de Gramenet, i a l'Eix Llobregat municipis com Cornellà de Llobregat, Sant Boi de Llobregat, l'Hospitalet de Llobregat i Sant Joan Despí. En conjunt ajunta una població d'uns 490.000 habitants, 15,0% de total de l'àrea metropolitana de Barcelona. Són zones amb un IVAC de 58,9, i característiques molt semblants al grup Alt-Alt, però on no s'esperen projeccions climàtiques tan desfavorables.

Taula 5.4. Comparació de mitjanes entre clústers (IVAC vs Nits amb temperatures molt elevades) dels indicadors de vulnerabilitat al canvi climàtic.

	ALT-ALT	ALT-BAIX	BAIX-ALT	BAIX-BAIX
% habitatges 1950 o anterior	42,60	2,80	13,69	4,48
% habitatges 1951 a 1980	43,12	85,97	46,39	55,14
% habitatges 1981 a 2007	11,68	9,24	34,97	36,12
% habitatges 2008 o més nous	2,61	2,00	4,95	4,26
% edificis en estat deficient, mal estat o estat ruïnós	19,83	11,63	5,51	6,76
Mitjana d'hores de desconfort a l'hivern (hores/any)	1.151,02	1.033,94	1.631,16	1.591,17
Mitjana d'hores de desconfort a l'estiu (hores/any)	1.996,57	1.978,87	1.608,94	1.581,42
% de cobertura vegetal (NDVI > 0,4)	14,36	16,55	28,86	27,94
Mitjana del NDVI (índex)	0,21	0,23	0,28	0,28
Densitat residencial de la població (hab/km ²)	504,82	526,35	274,76	289,30
% població de més de 75 anys que viu sola	34,62	29,38	26,30	23,74
% dones de més de 65 anys	21,62	23,43	19,89	20,27

Taula 5.4. Comparació de mitjanes entre clústers (IVAC vs Nits amb temperatures molt elevades) dels indicadors de vulnerabilitat al canvi climàtic.

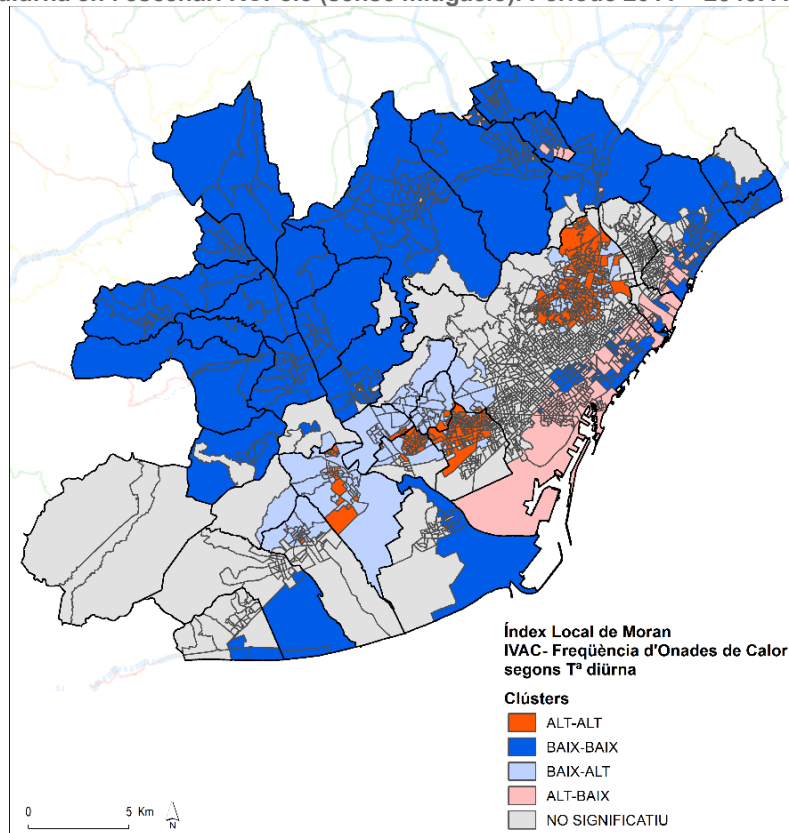
	ALT-ALT	ALT-BAIX	BAIX-ALT	BAIX-BAIX
Mediana de la renda per unitat de consum (€/any)	20.587,96	16.051,67	26.497,13	22.708,14
% població amb estudis universitaris	31,70	14,26	34,23	24,37
% població estrangera provinent de països en desenvolupament	15,03	14,74	5,84	5,13
% llars vulnerables amb informe de serveis socials	11,12	14,61	4,15	7,99
Potencial de producció fotovoltaica de tipus B segons superfície construïda sobre rasant de la secció censal (KWh/m ²)	8,23	12,27	18,62	18,38
IVAC(0-100)	59,52	61,55	37,91	28,65
Població (habitants)	435.432	490.065	438.921	482.888

Font: IERMB

Freqüència d'onades de calor segons la temperatura diürna

Els resultats en relació amb la freqüència d'onades de calor durant el dia són per lògica molt semblants als que es donen per l'indicador de dies amb temperatures molt elevades. Cal recordar que les onades de calor segons la temperatura diürna s'han calculat a partir del nombre mitjà anual de ratxes de tres o més dies consecutius (onades de calor) amb temperatures molt elevades. El grup Alt-Alt es troba concentrat en el mateix territori i, per tant, presenta característiques molt semblants tant pel que fa a la població que aglutina com pels indicadors de vulnerabilitat (Mapa 5.4 i Taula 5.5). La distribució territorial també és molt semblant, excepte per algunes seccions censals.

Mapa 5.4. Correlació espacial bivariada (LISA). IVAC amb freqüència d'onades de calor segons la temperatura diürna en l'escenari RCP8.5 (sense mitigació). Període 2011 – 2040. Anàlisi clúster.



Font: IERMB.

Taula 5.5. Comparació de mitjanes entre clústers (IVAC vs freqüència d'onades de calor segons la T^a diürna) dels indicadors de vulnerabilitat al canvi climàtic.

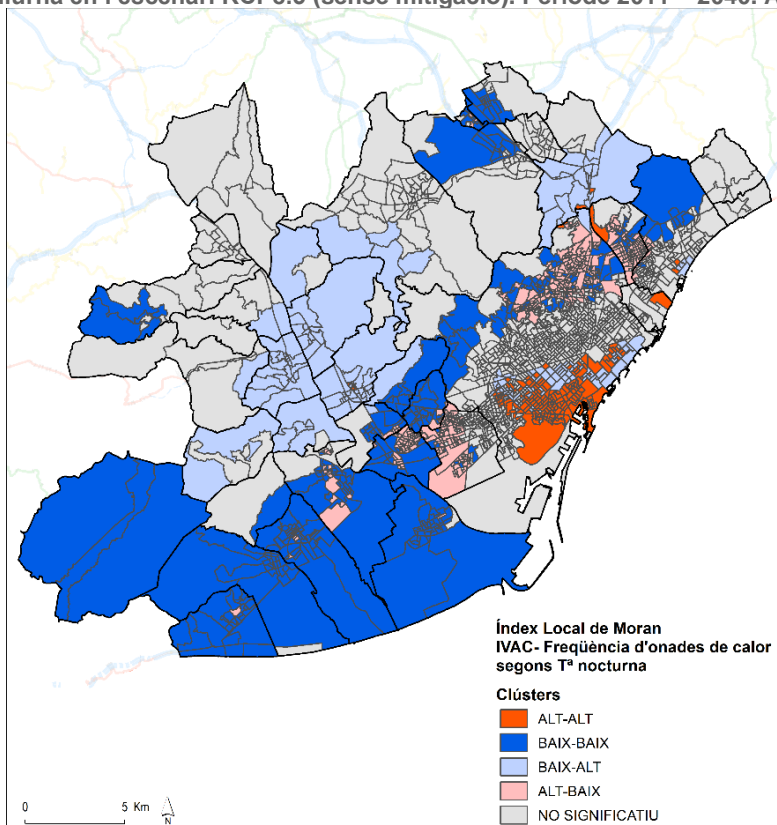
	ALT-ALT	ALT-BAIX	BAIX-ALT	BAIX-BAIX
% habitatges 1950 o anterior	4,63	36,99	4,69	7,77
% habitatges 1951 a 1980	84,67	49,36	56,35	41,23
% habitatges 1981 a 2007	8,74	10,20	33,96	45,67
% habitatges 2008 o més nous	1,97	3,46	5,00	5,33
% edificis en estat deficient, mal estat o estat ruïnós	12,70	19,99	6,73	6,19
Mitjana d'hores de desconfort a l'hivern (hores/any)	1.007,38	1.152,25	1.535,72	1.924,81
Mitjana d'hores de desconfort a l'estiu (hores/any)	1.960,37	1.970,44	1.553,23	1.458,94
% de cobertura vegetal (NDVI > 0,4)	15,09	16,53	25,15	33,03
Mitjana del NDVI (índex)	0,22	0,22	0,27	0,30
Densitat residencial de la població (hab/km ²)	560,39	501,71	331,42	229,28
% població de més de 75 anys que viu sola	30,10	34,20	24,29	24,31
% dones de més de 65 anys	23,90	20,66	20,78	17,56
Mediana de la renda per unitat de consum (€/any)	16.770,88	17.800,01	22.974,71	23.401,43
% població amb estudis universitaris	16,40	24,18	24,96	26,67
% població estrangera provinent de països en desenvolupament	14,42	16,21	4,94	5,20
% llars vulnerables amb informe de serveis socials	15,15	13,35	8,57	4,12
Potencial de producció fotovoltaica de tipus B segons superfície construïda sobre rasant de la secció censal (KWh/m ²)	10,59	8,97	16,05	25,23
IVAC(0-100)	59,61	60,71	37,67	30,14
Població (habitants)	553.259	358.783	279.346	638.163

Font: IERMB

Freqüència d'onades de calor segons la temperatura nocturna

D'igual manera, els clústers formats per la superposició de l'IVAC amb la freqüència d'onades de calor nocturnes, presenta resultats força semblants als de l'indicador de nits amb temperatures molt elevades. Recordar que aquest indicador s'ha calculat partir del nombre mitjà anual de ratxes de sis o més nits consecutives (onades de calor) amb temperatura mínimes molt elevades.

Mapa 5.5. Correlació espacial bivariada (LISA). IVAC amb freqüència d'onades de calor segons la temperatura diürna en l'escenari RCP8.5 (sense mitigació). Període 2011 – 2040. Anàlisis clúster.



Font: IERMB.

Els resultats més notables es donen en la població que forma part de cada un dels clústers i no a les característiques internes dels clústers respecte als indicadors de vulnerabilitat. Mentre que en l'indicador climàtic de dies amb temperatures molt elevades, la població dins del grup Alt-Alt estava comptabilitzada en un total d'uns 435.000 habitants, en aquest cas, la població disminueix fins als 315.000, perquè es perden algunes zones de la meitat sud i sud-oest de Barcelona, principalment. Per contra, augmenta una mica la població del grup Alt-Baix, s'afegeixen més zones de l'Eix Besòs i de l'Hospitalet de Llobregat. Disminueix la població que viu en zones del grup Baix-Alt, ja que es perden zones principalment dels municipis de l'interior del marge esquerre de l'Eix Llobregat i de Cerdanyola del Vallès i Sant Cugat del Vallès.

Taula 5.6. Comparació de mitjanes entre clústers (IVAC vs freqüència d'onades de calor segons la Tª nocturna) dels indicadors de vulnerabilitat al canvi climàtic.

	ALT-ALT	ALT-BAIX	BAIX-ALT	BAIX-BAIX
% habitatges 1950 o anterior	48,88	2,80	14,58	3,46
% habitatges 1951 a 1980	38,50	86,38	44,17	54,88
% habitatges 1981 a 2007	10,51	8,96	36,69	37,85
% habitatges 2008 o més nous	2,11	1,87	4,55	3,81
% edificis en estat deficient, mal estat o estat ruïnós	20,32	12,55	6,27	6,54
Mitjana d'hores de desconfort a l'hivern (hores/any)	1.198,68	1.009,27	1.621,33	1.683,63
Mitjana d'hores de desconfort a l'estiu (hores/any)	2.022,81	1.956,45	1.573,65	1.486,98
% de cobertura vegetal (NDVI > 0,4)	14,40	15,81	29,23	26,19
Mitjana del NDVI (índex)	0,21	0,22	0,28	0,27
Densitat residencial de la població (hab/km²)	511,98	533,70	276,70	289,24
% població de més de 75 anys que viu sola	35,02	28,95	26,10	23,82
% dones de més de 65 anys	20,93	23,78	19,40	19,99
Mediana de la renda per unitat de consum (€/any)	20.193,81	16.249,93	25.213,64	21.301,99
% població amb estudis universitaris	32,02	14,25	31,84	20,95
% població estrangera provinent de països en desenvolupament	16,48	14,10	5,74	5,24
% llars vulnerables amb informe de serveis socials	11,82	14,27	4,80	7,38
Potencial de producció fotovoltaica de tipus B segons superfície construïda sobre rasant de la secció censal (KWh/m²)	8,02	11,34	17,92	19,68
IVAC(0-100)	60,36	58,73	34,91	35,78
Població (habitants)	314.903	577.627	271.662	577.961

Font: IERMB

5.3 L'IVAC i la xarxa metropolitana de refugis climàtics

D'ençà que el març de 2021 el Consell Metropolità de l'AMB va aprovar per unanimitat la declaració d'emergència climàtica, l'adaptació al canvi climàtic és una de les línies prioritàries d'actuació. Aquesta línia es concreta en el Programa Marc d'actuacions d'Energia i Clima 2020-2023 (PMEC), aprovat definitivament pel Consell Metropolità el 27 d'abril de 2021. La Xarxa Metropolitana de Refugis Climàtics (XMRC) (<http://www.amb.cat/refugiclimatic>) és una de les actuacions que desenvolupa la línia prioritària d'adaptació al canvi climàtic del PME. L'àmbit d'actuació cobreix tot el territori metropolità, excepte Barcelona, que ja disposa de la seva pròpia xarxa de refugis climàtics.

La XMRC agrupa els equipaments municipals i els espais públics que poden proporcionar condicions de confort tèrmic, descans i seguretat en episodis de temperatures extremes. N'hi ha de dos tipus, d'una banda, els refugis climàtics que es troben a l'interior d'edificis, com per exemple en biblioteques o centres cívics, on la temperatura es mantindria al voltant dels 26 graus. De l'altre, els que són a l'exterior, formats per parcs o espais verds on hi ha aigua o vegetació frondosa (principalment arbres caducifolis) on es pot rebaixar fins a 3 graus la temperatura (fins a 6,5 graus en indrets humits).

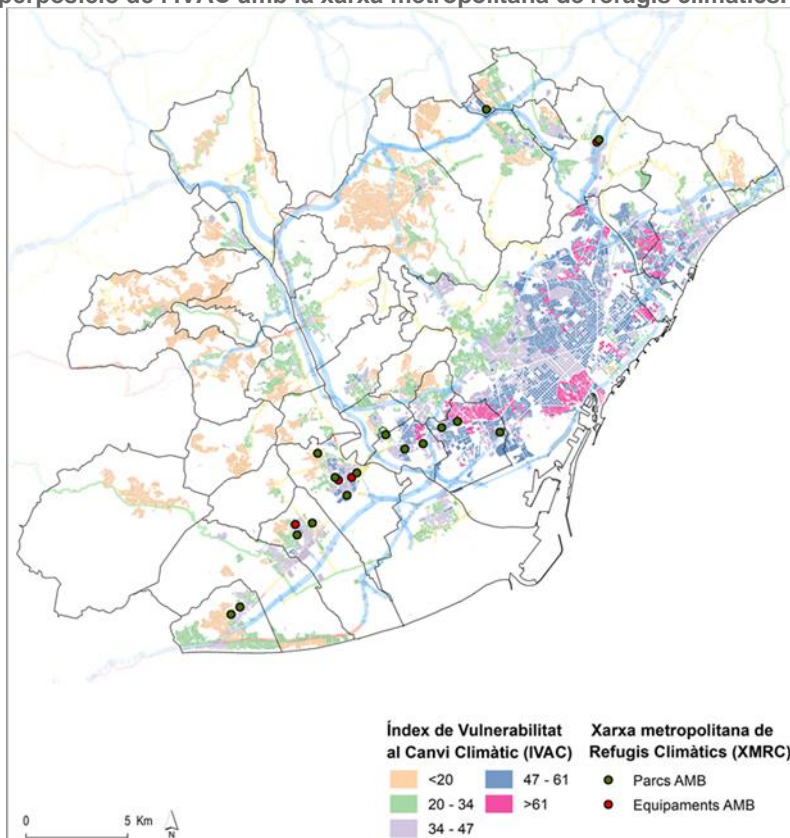
La creació de la XMRC es planteja com una tasta de cocreació entre l'AMB i els municipis metropolitans per poder augmentar la resiliència al canvi climàtic d'aquest àmbit. Les primeres

tasques impliquen l'establiment de criteris d'adequació, la selecció d'equipaments amb potencial de formar part de la XMRC i la posada en funcionament d'aquests. En properes fases es preveu la realització de mesures termo-higromètriques als parcs refugi actuals i potencials (especial interès a parametritzar el comportament d'espais verds urbans menors a 0,5 ha.), actuacions de millora de serveis temporals (estiu) que facin l'estada més confortable: seients adaptats a persones de més de 65 anys, tendals, pèrgoles, fonts d'aigua potable fresca, ampolles reutilitzables i gots compostables, jocs infantils d'aigua i la realització d'accions educatives, informatives i de sensibilització als refugis climàtics.

Durant l'estiu del 2021 es van posar en funcionament un total de 20 refugis climàtics del total de 83 que s'han identificat com a possibles espais de refugi, 4 en espais interiors, casals i biblioteques municipals i 16 en parcs. L'inici d'aquest projecte va coincidir amb la pandèmia COVID-19, fet que va condicionar un menor nombre de refugis climàtics interiors actius. Els municipis que hi participen són Badia del Vallès i Montcada i Reixac, a l'Eix Besòs, i Castelldefels, Cornellà de Llobregat, l'Hospitalet de Llobregat, Sant Boi de Llobregat i Viladecans, a l'Eix Llobregat.

En tot cas, l'objectiu primordial de la XMRC és cobrir les àrees que presenten nivells molt alts de vulnerabilitat al canvi climàtic, d'aquí l'interès de territorialitzar l'IVAC. A continuació se superposen la localització dels elements de la XMRC amb l'IVAC, per contrastar l'adequació de la iniciativa d'adaptació amb la distribució espacial de la vulnerabilitat. Aquest exercici ha de procurar indicis de com eixamplar aquesta iniciativa d'adaptació al canvi climàtic. Tot seguit es mostra el mapa amb el solapament de l'IVAC i la xarxa metropolitana de refugis climàtics (Mapa 5.6).

Mapa 5.6. Superposició de l'IVAC amb la xarxa metropolitana de refugis climàtics.



Nota: Només estan incorporats els refugis climàtics en funcionament a data de realització de l'estudi a l'Àrea Metropolitana de Barcelona, excloent el municipi de Barcelona
 Font: IERMB.

Dels municipis que actualment tenen refugis en funcionament, l'Hospitalet de Llobregat i Cornellà de Llobregat són del grup que tenen un pes més important de població residint en zones d'alta vulnerabilitat (IVAC > 61). En concret a l'Hospitalet de Llobregat, amb 4 refugis climàtics en parcs, té un 50,1% de població que viu en zones amb IVAC > 61 i Cornellà de Llobregat, amb 3 parcs habilitats com a refugis climàtics, un 20,6% (Taula 4.3). De la resta de municipis amb espais refugi en marxa Montcada i Reixac (amb un refugi interior i un exterior) i Sant Boi de Llobregat (amb un interior i 4 en parcs), també formen part dels municipis amb població residint en zones amb IVAC > 61 (5,6% i 1,1%, respectivament). Viladecans, amb 1 refugi interior i 2 exteriors, i Badia del Vallès, amb un parc refugi, i Castelldefels, amb 2 refugis en parcs, tot i que no tenen cap zona amb IVAC > 61, tenen algunes zones amb valors propers. De fet, aquests tres municipis, tenen seccions censals que han format part del clúster Alt-Baix en l'anàlisi univariant de l'IVAC, és a dir, zones molt específiques d'aquests municipis en aquesta situació. Continuant amb l'Eix Llobregat es detecta una manca de refugis climàtics en el municipi d'Esplugues de Llobregat, on també s'han identificat algunes zones d'IVAC elevat.

L'observació del Mapa 5.6 mostra un clar dèficit de refugis climàtics a l'Eix Besòs en municipis amb un pes molt important de població en situació d'elevada vulnerabilitat (IVAC > 61). Són els municipis de Santa Coloma de Gramenet (36,7%), Sant Adrià del Besòs (21,3%) i Badalona (18,7%). Ripollet, tot i no presentar valors superiors a 61 té alguna zona que també està molt a prop de fer-ho (formen part del grup Alt-Baix en l'anàlisi univariant de l'IVAC) i també caldria actuar-hi.

Els resultats anteriors mostren que la cobertura actual de refugis climàtics ja està cobrint zones d'alta vulnerabilitat en l'Eix del Llobregat, però que falta un esforç destacat en ampliar-la en l'Eix Besòs, amb àmplies zones i un pes considerable de població en situacions d'alta vulnerabilitat identificades a partir de l'IVAC.

6 OBSERVACIONS FINALS

L'informe de l'IPCC *Canvi Climàtic 2022. Impactes, adaptació i vulnerabilitat*, recentment publicat, reconeix que el canvi climàtic ha afectat negativament la salut física de la població a escala mundial i ho continuarà fent si no es prenen mesures urgents de mitigació i d'adaptació. L'informe identifica l'augment de les temperatures com un dels quatre riscos clau a Europa, lligat a una intensificació de l'ocurrència de les onades de calor. També destaca els entorns urbans com espais on el canvi climàtic està causant impactes en la salut humana. Els esdeveniments climàtics extrems, incloses les onades de calor, s'han intensificat en ciutats, on també s'han agreujat els esdeveniments de contaminació de l'aire. Els impactes observats, mitjançats per les condicions físiques locals, però també per les econòmiques i socials, no afecten a tothom de la mateixa forma, i es concentren en determinats territoris i grups socials més vulnerables. Entre les opcions d'adaptació a la calor anomenada la refrigeració d'espais i l'urbanisme a través de solucions basades en la natura per gestionar la calor, així com la restauració i ampliació d'espais naturals per protegir els ecosistemes.

Amb l'objectiu general d'identificar aquells territoris i grups socials més vulnerables al canvi climàtic al territori metropolitana, per primer cop s'ha creat i cartografiat l'Índex de Vulnerabilitat al Canvi Climàtic (IVAC) a l'àrea metropolitana de Barcelona i s'han identificat punts calents de vulnerabilitat en relació amb un conjunt d'indicadors climàtics de projecció d'augment de les temperatures.

Per fer-ho s'ha dut a terme una anàlisi de components principals (ACP) tenint en compte una gamma amplíssima d'indicadors d'exposició, sensibilitat i adaptació, que en conjunt mesuren la vulnerabilitat al canvi climàtic. L'IVAC s'ha elaborat a escala de secció censal, cosa que permet cartografiar-lo a una escala espacial molt fina. També s'ha desenvolupat una anàlisi de correlació espacial (LISA) per identificar zones prioritàries d'intervenció.

Els principals resultats es resumeixen a continuació:

S'ha estimat que unes 526.000 persones, un 16,1% de la població metropolitana, viuen en zones amb una vulnerabilitat al canvi climàtic elevada, tal com s'ha entès a través de l'Índex de Vulnerabilitat al Canvi climàtic (IVAC). La vulnerabilitat al canvi climàtic es concep en aquest projecte com un fenomen complex, en el qual intervenen diversos factors relacionats amb l'exposició, la sensibilitat i la capacitat adaptativa a l'augment de les temperatures, alguns d'ells relacionats entre ells, i expressats en les components de l'IVAC.

Es dona una concentració territorial de la vulnerabilitat al canvi climàtic en àrees molt densament poblades del continu urbà de l'àrea metropolitana de Barcelona. Els valors més elevats de vulnerabilitat a l'augment de les temperatures, amb IVAC > 61, es localitzen exclusivament en nou municipis, alguns d'ells amb un pes poblacional respecte al conjunt del municipi molt important.

- A l'Eix Besòs, són els municipis de Badalona (18,7%), els districtes de Nou Barris (41,5%), Sant Andreu (10,5%), i Sant Martí (8,9%) de Barcelona, Montcada i Reixac (5,6%), Sant Adrià de Besòs (21,3%), i Santa Coloma de Gramenet (36,7%). Aquests concentren el 38% de la població que viu en zones amb vulnerabilitat molt elevada.
- A l'Eix Llobregat destaca el municipi de l'Hospitalet de Llobregat (51,0%), Cornellà de Llobregat (20,6%) i algunes zones d'Esplugues de Llobregat i de Sant Boi de Llobregat.
- La resta de zones d'alta vulnerabilitat es concentren als districtes de Ciutat Vella (92,2%) de Sants Montjuïc de Barcelona (29,1,4%) i d'Horta-Guinardó (11,9%) de Barcelona.

En més detall, s'aprecien la següent distribució territorial. Aquestes zones són, per tant, les més prioritàries quant a implementació d'accions adaptatives.

- A l'Eix Besòs, les seccions censals més vulnerables (IVAC > 61) es troben a Badalona els barris de la zona de Llefià (Sant Mori de Llefià, Sant Antoni de Llefià, Sant Joan de Llefià), Sant Crist de Can Cabanyes, Sant Roc o la Salut són els més afectats, però n'hi ha més. A Santa Coloma de Gramenet el barri amb més vulnerabilitat és Fondo, però també zones de Can Mariner, Santa Rosa o el Raval, entre d'altres. A Sant Adrià del Besòs el barri de la Mina (sobretot) i alguna zona del Besòs.
- A l'Eix Llobregat, destaca l'Hospitalet de Llobregat amb diversos barris que inclouen zones molt vulnerables, com ara la Torrassa, la Pubilla Cases, la Florida, les Planes, Collblanc o Bellvitge, entre d'altres. A Cornellà de Llobregat el barri de Sant Ildefons. A Esplugues de Llobregat alguna zona de Can Vidalet.
- A Barcelona, es troben als barris dels districtes de Ciutat Vella (el Raval o la Barceloneta, sobretot), Nou Barris (zones extenses de Ciutat Meridiana, la Prosperitat o el Turó de la Peira, però també a altres barris), Sants-Montjuïc (Sant-Badal, Sants o el Poble Sec), Sant Martí (el Besòs i el Maresme), Sant Andreu (la Trinitat Vella), Horta-Guinardó (el Carmel i alguna zona de Can Baró) o Gràcia (la Vila de Gràcia).

La identificació de punts calents de vulnerabilitat al canvi climàtic mitjançant l'anàlisi de correlació espacial, també ha permès destacar alguns resultats. Les seccions censals amb vulnerabilitat elevada rodejades de seccions censals amb vulnerabilitat elevada (clúster Alt-Alt), presenten característiques significativament diferents per tots els indicadors que han format l'IVAC en comparació a les que tenen una vulnerabilitat baixa.

- Com ja era esperable, són seccions amb habitatges relativament vells construïts principalment d'entre el 1951 al 1980 (86,2%), amb la proporció d'edificis en estat deficient, mal estat o estat ruïnós més elevada (17,7%), amb les hores de desconfort durant l'hivern significativament més baixes, però amb hores de desconfort a l'estiu significativament més elevades.
- Amb una cobertura vegetal i una mitjana de l'NDVI significativament més baixes que el grup Baix-Baix i amb una densitat residencial de la població més elevada de tots els grups.
- Pel que fa a les variables de sensibilitat, són seccions censals amb un pes molt elevat de gent gran que viu sola, de llars amb dones grans, de població estrangera provinent de països en desenvolupament i de llars vulnerables amb informe de serveis socials. Per contra, tenen uns valors significativament més baixos de renda de les llars i de percentatge de població amb estudis universitaris. També tenen el potencial de producció fotovoltaica més baixa de tots els grups.
- Ripollet i Badia del Vallès tenen característiques similars als anteriors, tot i no tan extrems, estan rodejades de zones de baixa vulnerabilitat, pel que han estat classificades en el grup Alt-Baix

De l'observació de la distribució territorial de l'IVAC i de les característiques dels punts calents de vulnerabilitat és evident el que pes que tenen les variables de sensibilitat, d'estatus socioeconòmic, en explicar-lo. El resultat d'aquest estudi confirma un patró d'associació emergent relacionat amb els indicadors de sensibilitat ja vist en molts altres estudis, de manera que l'agrupació espacial de la vulnerabilitat a la calor està estretament relacionada amb condicions socioeconòmiques (estatus socioeconòmic baix, origen geogràfic, el fet de viure sol, entre d'altres). Aquí també és interessant remarcar el paper del gènere en explicar la vulnerabilitat al canvi climàtic en el context metropolità, ja que ha aparegut com un indicador lligat al desconfort tèrmic a l'estiu i a un parc d'habitatges relativament antic. Viure sol és una altra variable que explica la vulnerabilitat, i els resultats presentats apunten la idea que entre les persones grans, els homes solen ser més vulnerables que les dones. També cal fer palès la relació espacial que es dona entre les condicions socioeconòmiques i alguns indicadors

d'exposició, en especial relacionats amb l'antiguitat de l'habitatge i les característiques d'edificabilitat del parc d'habitatges. Vist això, són rellevants les polítiques de benestar social que tracten de reduir les desigualtats, però també s'ha de tenir present el paper d'altres polítiques sectorials, com l'energètica o hídrica, per avançar en la garantia del dret a aquests dos serveis bàsics i a la reducció de les desigualtats. I és que l'augment de les temperatures podrà fer augmentar l'esforç econòmic de les famílies per mantenir els seus habitatges a una temperatura adequada durant els mesos de calor o per refrescar-se. En aquest sentit, és molt interessant l'experiència dels Punts d'Assessorament Energètic (PAE) de l'Ajuntament de Barcelona, oficines d'informació ciutadana on s'ofereix consell sobre com optimitzar el consum d'energia i d'aigua als habitatges i els drets energètics i els programes de suport per fer front al pagament del servei.

Però el context socioeconòmic no és l'únic factor per entendre la vulnerabilitat al canvi climàtic. També és destacable el context biofísic a l'hora d'explicar els nivells de vulnerabilitat i la territorialització de l'IVAC ha fet palès la importància del verd urbà i dels espais naturals. I és que hi ha zones que per les seves característiques socioeconòmiques s'esperava que tinguessin un IVAC més elevat, però sembla la cobertura vegetal hagi actuat amb un cert efecte 'amortidor'. Són per exemple algunes zones de l'Eix Llobregat com els municipis de Sant Andreu de la Barca, Sant Vicenç dels Horts, Sant Boi de Llobregat, el barri de Sant Cosme del Prat de Llobregat i Viladecans, amb IVAC més baixos dels esperats si s'haguessin tingut en compte les variables socioeconòmiques. Així doncs, aquests resultats assenyalen el protagonisme que han d'adquirir de les estratègies de promoció del verd urbà en fer front al canvi climàtic, com per exemple les cobertes verdes o biosolars, amb espais de qualitat que proporcionin ombra i frescor. Aquestes són actuacions a mitjà termini que també poden anar complementades d'altres com l'ús de la infraestructura blava (fonts, punts d'aigua) o dels terrats blancs. Són mesures que, ben dissenyades, poden reduir la temperatura a l'estiu tant a l'exterior com a l'interior.

A més, algunes zones on s'esperaven valors de vulnerabilitat més elevats per estar envoltats d'altres zones amb alta vulnerabilitat (clúster Baix- Alt), presenten algunes característiques comunes. Són algunes zones disperses d'alguns districtes de Barcelona (Nou Barris, Sant Andreu i Sants-Montjuïc) i de l'Eix Llobregat (Esplugues i l'Hospitalet) i de l'Eix Besòs (Sant Adrià del Besòs i Santa Coloma de Gramenet) Són les zones amb un pes important d'habitatges construïts després del 2007, per tant, posteriors a l'aplicació del primer CTE-HE i la certificació energètica dels edificis. En aquest període hi ha límits sobre la transmissió tèrmica dels tancaments i el grau d'eficiència es determina en comprar l'edifici (objecte) respecte d'un edifici de referència i, a partir del 2014, els habitatges han de tenir un consum i una demanda energètica (kWh) inferiors a uns valors definits en funció de la zona climàtica. Això apunta a la necessitat de la rehabilitació energètica dels habitatges més antics i o en mal estat, aconseguint millorar l'aïllament, i en conseqüència, reduir el consum energètic i millorar el confort tèrmic.

De la superposició de l'IVAC amb els indicadors climàtics s'evidencia la influència del litoral en explicar la formació de punts calents en relació amb les projeccions d'augment de les temperatures diürnes i nocturnes.

- Pel que fa a les temperatures diürnes, el patró dels clústers de l'IVAC combinat amb els indicadors climàtics de dies amb temperatures molt elevades i de freqüència d'onades de calor és bastant semblant al de les zones amb IVAC molt elevat rodejades de zones amb IVAC molt elevat (grup Alt-Alt), si bé mostra algunes diferències. La influència marítima fa que zones del front marítim de Barcelona, Badalona i Sant Adrià del Besòs, tot i tenir un IVAC alt, no tenen projeccions tan elevades d'augment de les temperatures, i per tant, seran zones menys vulnerables que altres zones de Barcelona amb característiques socials i edificatòries semblants.
- En relació amb les temperatures nocturnes, el patró del clúster amb una situació menys avantatjosa, és a dir, un IVAC elevat i més nits amb temperatures molt elevades i més freqüència d'onades de calor segons temperatura nocturna, és molt diferent del de les

temperatures diürnes. Aquí, són els barris costaners de Badalona i Sant Adrià del Besòs els que més patiran l'augment de les temperatures, ja que combinen aquestes dues circumstàncies.

Aquests resultats assenyalen la necessitat de plantejar solucions adaptatives diferents, ja que els territoris més afectats per les temperatures diürnes i les seves característiques no seran els mateixos més afectats per les temperatures nocturnes. Mentre que durant el dia, algunes d'aquestes mesures poden ser la creació de refugis climàtics, durant la nit, s'haurà de tendir cap a solucions més individualitzades. Algunes d'aquestes poden ser les ja mencionades mesures de rehabilitació energètica dels edificis o la instal·lació de sistemes de refrigeració com ventiladors o fins i tot aire condicionat en casos molt particulars. En tot cas, s'haurà de tenir en compte l'augment de la demanda energètica per climatització, i l'efecte d'illa de calor que tenen els aparells d'aire condicionat, a l'hora d'implementar aquest tipus de mesures i en totes elles s'haurà d'assegurar que aquestes solucions arriben a la població més vulnerable. Altres mesures col·lectives poden ser les comunitats energètiques que promouen instal·lacions d'energies renovables de proximitat, que aporten beneficis ambientals, i solucions descentralitzades basades en la gestió democràtica i participativa de la producció.

En últim lloc, la superposició de l'IVAC amb la XMRC mostra que la cobertura actual de refugis climàtics ja està cobrint zones d'alta vulnerabilitat en l'Eix del Llobregat, amb espai de millora a l'Hospitalet de Llobregat, però que falta un esforç destacat en ampliar-la en l'Eix Besòs, amb àmplies zones i un pes considerable de població en situacions d'alta vulnerabilitat identificades a partir de l'IVAC. En les properes fases d'implementació de la XMRC serà interessant conèixer la percepció que la ciutadania té sobre la calor, els riscos associats a la salut i les mesures d'adaptació que en prenen per poder dissenyar estratègies de comunicació que aconseguixin arribar als grups més vulnerables.

Cal mencionar que l'anàlisi presentada aquí implica l'estacionalitat dels patrons actuals de vulnerabilitat, mentre que les projeccions climàtiques inclouen el període 2011-2040. És evident que els patrons demogràfics i socioeconòmics canviaran en aquest període, de manera que els patrons de vulnerabilitat actuals no representarien els del futur. A més, l'impacte dels esdeveniments climàtics extrems sobre la població canviarà a mesura que les estratègies d'adaptació al canvi climàtic s'incorporin al disseny i la planificació urbans i els comportaments individuals i comunitaris canviïn a causa de la implementació d'estratègies de reducció del risc de calor durant els períodes de calor extrema. En aquest sentit, en fases posteriors del treball es planteja l'actualització de l'IVAC, donant més pes a les variables d'adaptació al canvi climàtic, sempre subjecte a la disponibilitat de dades a aquesta escala de treball. També s'explorarà la relació de l'IVAC amb l'associació entre salut i calor per poder validar l'índex i entendre millor les variables que afecten la vulnerabilitat a la calor extrema. En tot cas, aquest fet no treu la rellevància d'aquesta investigació, que millora la comprensió sobre com l'augment de les temperatures pot afectar de forma desigual a la població metropolitana, i que ajudarà a desenvolupar estratègies efectives i equitatives per respondre al canvi climàtic.

7 REFERÈNCIES

- Altava, V., Barrera, A., Amaro, J., Cunillera, J., Sairouni, A. (2015). Generació d'escenaris climàtics futurs regionalitzats a molt alta resolució (1km) per a l'Àrea Metropolitana de Barcelona (Projecte ESAMB). Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB (Ed.), METROBS 2015 (2015).
- Alwang, J., Siegel, P. B., & Jorgensen, S. L. (2001). Vulnerability: a view from different disciplines (Vol. 115, p. 60). Social protection discussion paper series.
- Anderson, V., & Gough, W. A. (2021). Nature-Based Resilience: A Multi-Type Evaluation of Productive Green Infrastructure in Agricultural Settings in Ontario, Canada. *Atmosphere*, 12(9), 1183.
- Antón-Alonso, F., Porcel, S., Cruz, I. i Pruna, M. (2018). Monogràfic ECURB 2017: Dinàmiques de mobilitat residencial i transformació dels barris metropolitans. Bellaterra: AMB i IERMB.
- Ballester, J., Douville, H., & Chauvin, F. (2009). Present-day climatology and projected changes of warm and cold days in the CNRM-CM3 global climate model. *Climate Dynamics*, 32(1), 35-54.
- Bankoff, G. (2004). The historical geography of disaster: 'vulnerability' and 'local knowledge' in western discourse. *Mapping vulnerability: disasters, development and people*. Earthscan, London, 25-37.
- Breil, M., Downing, C., Kazmierczak, A., Mäkinen, K., Romanovska, L., Terämä, E., & Swart, R. J. (2018). Social vulnerability to climate change in European cities—state of play in policy and Practice, (ETC/CCA Technical Paper; No. 2018/1), EEA—European Environment Agency.
- Cardona, O.D., M.K. van Aalst, J. Birkmann, M. Fordham, G. McGregor, R. Perez, R.S. Pulwarty, E.L.F. Schipper, and B.T. Sinh, 2012: Determinants of risk: exposure and vulnerability. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 65-108.
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social science quarterly*, 84(2), 242-261.
- De Muro, P., Mazziotta, M., & Pareto, A. (2011). Composite indices of development and poverty: An application to MDGs. *Social indicators research*, 104(1), 1-18.
- Eakin, H., & Luers, A. L. (2006). Assessing the vulnerability of social-environmental systems. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 31, 365-394.
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social-ecological systems. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 30, 441-473.
- Füssel, H. M., & Klein, R. J. (2006). Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climatic change*, 75(3), 301-329.
- Garcia, X., Garcia-Sierra, M., & Domene, E. (2020). Spatial inequality and its relationship with local food environments: The case of Barcelona. *Applied Geography*, 115, 102140.

- Gilabert, J., Ventura, S., Segura, R., Martilli, A., Badia, A., Llasat, C., ... & Villalba, G. (2021). Abating heat waves in a coastal Mediterranean city: What can cool roofs and vegetation contribute?. *Urban Climate*, 37, 100863.
- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical research letters*, 33(8).
- Gómez-Varo, I., Delclòs-Alió, X., & Miralles-Guasch, C. (2021). Vitalidad urbana y vida cotidiana: revisitando a Jane Jacobs desde el análisis espacial del comercio alimentario en Barcelona. *Cuadernos Geográficos*, 60(3), 147-167.
- Greco, S., Ishizaka, A., Tasiou, M., & Torrisi, G. (2019). On the methodological framework of composite indices: A review of the issues of weighting, aggregation, and robustness. *Social indicators research*, 141(1), 61-94.
- Hahn, M. B., Riederer, A. M., & Foster, S. O. (2009). The livelihood vulnerability index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change – A case study in Mozambique. *Global Environmental Change*, 19(1), 74–88.
- Hallegatte, S. (2016). Shock waves: managing the impacts of climate change on poverty. World Bank Publications. Disponible a: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/22787/9781464806735.pdf>.
- Huynh, L. T. M., & Stringer, L. C. (2018). Multi-scale assessment of social vulnerability to climate change: An empirical study in coastal Vietnam. *Climate Risk Management*, 20, 165-180.
- INE (Instituto Nacional de Estadística). (2017). Análisis multidimensional: La construcción de un indicador compuesto en fenómenos sociales multidimensionales. Disponible a: <https://www.ine.es/ss/Satellite?c=Page&pagename=ProductosYServicios%2FPYSLayout&cid=1259947314645&L=0>.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2012). Special Report: Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., & Dahe, Q. (Eds.). (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press.
- Jandaghian, Z., & Akbari, H. (2021). Increasing urban albedo to reduce heat-related mortality in Toronto and Montreal, Canada. *Energy and Buildings*, 237, 110697.
- Klinenberg, E. (2015). Heat wave: A social autopsy of disaster in Chicago. University of Chicago press.
- Koc, C. B., Osmond, P., & Peters, A. (2018). Evaluating the cooling effects of green infrastructure: A systematic review of methods, indicators and data sources. *Solar Energy*, 166, 486-508.
- Malakar, K., & Mishra, T. (2017). Assessing socio-economic vulnerability to climate change: A city-level index-based approach. *Climate and Development*, 9(4), 348-363.
- Mazziotta, M., & Pareto, A. (2016). On a generalized non-compensatory composite index for measuring socio-economic phenomena. *Social indicators research*, 127(3), 983-1003.
- McCarthy, J. J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J., & White, K. S. (Eds.). (2001). Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Vol. 2). Cambridge University Press.

- Nayak, S. G., Shrestha, S., Kinney, P. L., Ross, Z., Sheridan, S. C., Pantea, C. I., ... & Hwang, S. A. (2018). Development of a heat vulnerability index for New York State. *Public Health*, 161, 127-137.
- Nguyen, C. V., Horne, R., Fien, J., & Cheong, F. (2017). Assessment of social vulnerability to climate change at the local scale: development and application of a Social Vulnerability Index. *Climatic Change*, 143(3), 355-370.
- Pijuan, I. G. (2016). Desigualtat de gènere i pobresa energètica: un factor de risc oblidat. *Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres*.
- O'Brien, K., Eriksen, S., Nygaard, L. P., & Schjolden, A. (2007). Why different interpretations of vulnerability matter in climate change discourses. *Climate policy*, 7(1), 73-88.
- Olsson, P., Gunderson, L. H., Carpenter, S. R., Ryan, P., Lebel, L., Folke, C., & Holling, C. S. (2006). Shooting the rapids: navigating transitions to adaptive governance of social-ecological systems. *Ecology and society*, 11(1).
- Otto, I. M., Reckien, D., Reyer, C. P., Marcus, R., Le Masson, V., Jones, L., ... & Serdeczny, O. (2017). Social vulnerability to climate change: A review of concepts and evidence. *Regional environmental change*, 17(6), 1651-1662.
- San Francisco Department of Public Health. (2013). *Climate and Health. Understanding the Risk: An Assessment of San Francisco's Vulnerability to Extreme Heat Events. Program on Health, Equity and Sustainability*. Disponible a: <https://www.adaptationclearinghouse.org/resources/climate-and-health-understanding-the-risk-an-assessment-of-san-francisco-eyes-vulnerability-to-extreme-heat-events.html>.
- Schneider S.H., 2007. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, pp. 779–810.
- Serrano, T., González, M., Velasco, R., Martín, I., Bordanove, J., Guzmán, P., Pino, J., Marull, J. (2021). La pandèmia i la contribució dels parcs metropolitans a la salut i el benestar. *Anuari Metropolità de Barcelona 2020. La metròpoli (post)-covid. Impactes, escenaris i reptes*.
- Shah, K. U., Dulal, H. B., Johnson, C., & Baptiste, A. (2013). Understanding livelihood vulnerability to climate change: Applying the livelihood vulnerability index in Trinidad and Tobago. *Geoforum*, 47, 125-137.
- Silberner, J. (2021). Heat wave causes hundreds of deaths and hospitalisations in Pacific north west. *BMJ: British Medical Journal (Online)*, 374.
- SMC (2018). *Evolució projectada de diferents índex de calor a l'àrea metropolitana de Barcelona*. Novembre 2018. Àrea Metropolitana de Barcelona. Inèdit.
- Tate, E. (2012). Social vulnerability indices: a comparative assessment using uncertainty and sensitivity analysis. *Natural Hazards*, 63(2), 325-347.
- WHO (2010). *Gender, Climate Change and Health*. World Health Organisation, Geneva
- Wolf, T., & McGregor, G. (2013). The development of a heat wave vulnerability index for London, United Kingdom. *Weather and Climate Extremes*, 1, 59-68.

Wolf, T., McGregor, G., & Analitis, A. (2009). Assessing vulnerability to heat stress in urban areas. The Example of Greater London. *Epidemiology*, 20(6), S24.

Wu, C., Li, J., Wang, C., Song, C., Haase, D., Breuste, J., & Finka, M. (2021). Estimating the Cooling Effect of Pocket Green Space in High Density Urban Areas in Shanghai, China. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 181.

8 ANNEX

A la següent taula mostra el resum de la revisió de la literatura quant a indicadors de vulnerabilitat climàtica (incloent-hi a onades de calor) i índexs composts.

Taula 8.1. Benchmarking d'índex de vulnerabilitat (social) al canvi climàtic.

Author	Composite index	Components	Indicators by component	Scale
Cutter et al. (2003)	Social Vulnerability Index (SoVI)	17 indicators: socioeconomic status (income, political power, prestige), gender, race and ethnicity, age, commercial and industrial development, employment loss, rural/urban, residential property, infrastructure and lifelines, renters, occupation, family structure, education, population growth, medical services, social dependence, special needs populations	MED_AGE90 Median age, 1990 PERCAP89 Per capita income (in dollars), 1989 MVALOO90 Median dollar value of owner-occupied housing, 1990 MEDRENT90 Median rent (in dollars) for renter-occupied housing units, 1990 PHYSICN90 Number of physicians per 100,000 population, 1990 PCTVOTE92 Vote cast for president, 1992—percent voting for leading party (Democratic) BRATE90 Birth rate (number of births per 1,000 population), 1990 MIGRA_97 Net international migration, 1990–1997 PCTFARMS92 Land in farms as a percent of total land, 1992 PCTBLACK90 Percent African American, 1990 PCTINDIAN90 Percent Native American, 1990 PCTASIAN_90 Percent Asian, 1990 PCTHISPANIC90 Percent Hispanic, 1990 PCTKIDS90 Percent of population under five years old, 1990 PCTOLD90 Percent of population over 65 years, 1990 PCTVLUN91 Percent of civilian labor force unemployed, 1991 AVGPERHH Average number of people per household, 1990 PCTHH7589 Percent of households earning more than \$75,000, 1989 PCTPOV90 Percent living in poverty, 1990 PCTRENT90 Percent renter-occupied housing units, 1990 PCTFRM90 Percent rural farm population, 1990 DEBREV92 General local government debt to revenue ratio, 1992 PCTMOBL90 Percent of housing units that are mobile homes, 1990 PCTNOHS90 Percent of population 25 years or older with no high school diploma, 1990 HODENUT90 Number of housing units per square mile, 1990 HUPTDEN90 Number of housing permits per new residential construction per square mile, 1990 MAESDEN92 Number of manufacturing establishments per square mile, 1992 EARNDEN90 Earnings (in \$1,000) in all industries per square mile, 1990 COMDEV92 Number of commercial establishments per square mile, 1990 RPROP92 Value of all property and farm products sold per square mile, 1990 CVBRPC91 Percent of the population participating in the labor force, 1990 FEMLBR90 Percent females participating in civilian labor force, 1990 AGRIPC90 Percent employed in primary extractive industries (farming, fishing, mining, and forestry), 1990 TRANPC90 Percent employed in transportation, communications, and other public utilities, 1990 SERVPC90 Percent employed in service occupations, 1990 NRRESPC91 Per capita residents in nursing homes, 1991 HOSPTPC91 Per capita number of community hospitals, 1991 PCCHGPOP90 Percent population change, 1980/1990 PCTURB90 Percent urban population, 1990 PCTFEM90 Percent females, 1990 PCTF_HH90 Percent female-headed households, no spouse present, 1990 SSBENPC90 Per capita Social Security recipients, 1990	Regional
Hahn et al. (2009)	Livelihood Vulnerability Index (LVI)	5 components and 19 indicators	Socio-demographic profile: <ul style="list-style-type: none"> • Dependency ratio Ratio of the population under 15 and over 65 years of age to the population between 19 and 64 years of age • Percent of female-headed households • Percent of households where head of household has not attended school • Percent of households w/ at least 1 orphan (children <18 years old who have lost one or both parents) living in their home Livelihood: <ul style="list-style-type: none"> • Percent of households with family member working in a different community 	Regional

Taula 8.1. Benchmarking d'índex de vulnerabilitat (social) al canvi climàtic.

Author	Composite index	Components	Indicators by component	Scale
			<ul style="list-style-type: none"> • Percent of households dependent solely on agriculture as a source of income • Average Agricultural Livelihood Diversification Index (range: 0.20–1) Health: <ul style="list-style-type: none"> • Average time to health facility (minutes) • Percent of households w/ family member with chronic illness • Percent of households where a family member had to miss work or school in the last 2 weeks due to illness • Average Malaria Exposure * Prevention Index (range: 0–12) Social Networks: <ul style="list-style-type: none"> • Average Receive/Give ratio (range: 0–15). Ratio of (the number of types of help received by a household in the past month + 1) to (the number of types of help given by a household to someone else in the past month + 1) • Average Borrow/Lend Money ratio (range: 0.5–2) • Percent of households that have not gone to their local government for assistance in the past 12 months Food: <ul style="list-style-type: none"> • Percent of households dependent on family farm for food • Average number of months households struggle to find food (range: 0–12) • Average Crop Diversity Index (range: >0–1). The inverse of (the number of crops grown by a household +1) • Percent of households that do not save crops • Percent of households that do not save seeds Social capital: <ul style="list-style-type: none"> • Indicator 1: Number of community-based organisations that household members belong to Human capital: <ul style="list-style-type: none"> • Indicator 2: Highest education attainment of household heads • Indicator 3: Health status of household Natural capital: <ul style="list-style-type: none"> • Indicator 4: Form of land tenure Financial capital: <ul style="list-style-type: none"> • Indicator 5: Household income • Indicator 6: Credit accessibility Physical capital: <ul style="list-style-type: none"> • Indicator 7: Presence of communication gadgets • Indicator 8: Presence of transport vehicles • Indicator 9: The quality of the house Diversifying livelihoods: <ul style="list-style-type: none"> • Indicator 10: Main household livelihood activities 	
Huynh & Stringer (2018)	Index of household vulnerability to climate change	6 components and 10 indicators		Coastal district
Malakar & Mishra (2017)	Index of vulnerability to climate change/ environmental hazards	5 components and 30 indicators	<ul style="list-style-type: none"> Infrastructure: <ul style="list-style-type: none"> • % of dilapidated houses (2011) • % of households having grass/thatch/bamboo/mud/plastic/polythene/wood/no mortar stoned, etc. wall (2011) • % of households with drinking water facility within premises (2011) • % of households having electricity (2011) • % of households having toilet facility within premise (2011) • % of households having bathroom within the house (2011) • % of households using LPG for cooking (2011) • % of population having own (not rented) houses (2011) • Total no. of beds/per capita (2001) • Per capita expenditure in public amenities (2001) Technology: <ul style="list-style-type: none"> • % of the households having radio (2011) • % of the households having television (2011) • % of the households having internet (2011) • % of the households having telephone (2011) • % of the households having mobile (2011) 	Several cities

Taula 8.1. Benchmarking d'índex de vulnerabilitat (social) al canvi climàtic.

Author	Composite index	Components	Indicators by component	Scale
Nguyen et al. (2017)	Social Vulnerability Index (SVI)	3 components and 29 indicators, namely exposure, sensitivity and adaptive capacity	<ul style="list-style-type: none"> • % of the households having mobile & telephone (2011) Financial: <ul style="list-style-type: none"> • Per Capita Net District Domestic Product (NDDP) at Current Prices (2010) • % of households having banking services (2011) • % of main workers (2011), that is, % of population having employment for more than six months of the year Social: <ul style="list-style-type: none"> • % of female population (2011) • % of female-headed households (2011) • % of population in SC category (2011) • % of population in ST category (2011) • % of population below six years of age (2011) • % above 60 years of age (2001) • % of illiterates (2011) • % disabled population (2011) Space: <ul style="list-style-type: none"> • % growth rate (2001) • Population density (2001) • % built-up area (2005–2006) Exposure: <ul style="list-style-type: none"> • Erosion %Hh directly impacted by soil erosion in the last 5 years • Storms %Hh directly impacted by storms in the last 5 years • Floods %Hh directly impacted by floods in the last 5 years • Droughts %Hh directly impacted by droughts in the last 5 years • Sand drifts %Hh directly impacted by sand drifting in the last 5 years • Sea-level rise %Hh directly impacted by higher tides/sea level rise in the last 5 years • Rainfall %Hh directly impacted by change of rainfall in the last 5 years • Lack of water %Hh directly impacted by lack of underground water in the last 5 years • Siltation %Hh directly impacted by siltation in the last 5 years • Saline intrusion %Hh directly impacted by saline intrusion in the last 5 years Sensitivity: <ul style="list-style-type: none"> • Older persons %Hh with at least 1 person over 60 years • Young persons %Hh with at least 1 person under 15 years • Women %Hh with female as head • Illness %Hh with at least 1 person with chronic illness • Poverty %Hh living under the poverty line • Agriculture %Hh with agriculture as the main source of income • Aquaculture %Hh with aquaculture as the main source of income • Salt manufacture %Hh with salt manufacture as the main source of income • Immigrant %Hh moved to the current location from another area in the last 5 years Adaptive capacity: <ul style="list-style-type: none"> • Occupation %Hh with at least 1 person working in government offices • Education %Hh with at least 1 person attained high school certificate or higher • Health %Hh with at least a half of its members having health insurance or free health care • Social networks %Hh with at least 1 person in a formal or informal social network • Political rights %Hh with at least 1 person who has attended discussions with electors in last year • House quality %Hh with permanent or semi-permanent houses • Services %Hh formally connected to city electricity and clean water supply systems • Income diversity %Hh with at least 2 income sources • Use of loans %Hh who have accessed at least 1 source of financial loan in the past 5 years • Productive land or water %Hh with other productive land (away from their house) 	City level

Taula 8.1. Benchmarking d'índex de vulnerabilitat (social) al canvi climàtic.

Author	Composite index	Components	Indicators by component	Scale
San Francisco Department of Public Health (2013)	Heat Vulnerability Index (HVI)	4 components and 21 indicators, namely exposure, sensitivity and adaptive capacity	<p>Individual preexisting factors:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Age-adjusted rate of asthma hospitalizations per 10,000 residents per year, for the years 2006-2008 <p>Demographic and socioeconomic factors:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Age: Infants, Young children. Proportion of population aged 0-4 • Age: Elderly. Proportion of population aged ≥65 • Race. Proportion of non-white population • Educational attainment. Proportion of population 25+ without a high school degree • Income. Average household income • Poverty. Proportion population below U.S. Federal poverty line • Language barrier. Proportion of population defined as linguistically isolated • Nursing home. Proportion population living in a nursing home • Social isolation. Proportion population living alone • Population density. Population density (persons/square mile) • Employment density. Employment density (workers/square mile) <p>Exposure factors:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Surface temperature. Mean daily temperature collected 05/12/08 & Mean daily temperature collected 09/01/08 • Air quality. Maximum PM2.5 concentration (ug/m3) • No access to parks. Proportion of population that does not live within 200 meters of a park • Tree density. Number of trees per square mile • Housing conditions, living on the top floor. Proportion of population living in the building's top floor <p>Infrastructure conditions:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Building stock. Average age of buildings • Air condition prevalence. Proportion population without central air conditioning • No access to transportation. Proportion of population that does not live within 0.5 miles of a regional transit station <p>Socio-demographic profile:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dependency ratio. Ratio of the population <15 and >65 years of age to the population between 19 and 65 years of age • % of female headed households • Avg. age of female-headed household • % Household heads did not attend school • % Households with members needing dependent care <p>Livelihood strategies:</p> <ul style="list-style-type: none"> • % Household without members working outside the community • % Households mainly income dependent on agriculture/fishing/hunting • Avg. agricultural livelihood diversity index • % Households without non-agricultural livelihood income contribution <p>Social networks:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avg. receive/give ratio. Ratio of (the number of types of help received by a household in the past month +1) to (number of types of help given by household to another household in the past month +1) • Avg. borrow: lend ratio (12) % Households that have gone to government for assistance in last 12 months <p>Health:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avg. time to health facility • % Households with members suffering chronic illness • % Households where member missed work/school in last 2 weeks due to illness • Average dengue exposure prevention index <p>Food:</p> <ul style="list-style-type: none"> • % Households primarily dependent on self farmed food • Average crop diversity index • % Households that do not sell/barter crops for other food supplies • % Households depending significantly on fishing/ hunting for food <p>Water:</p>	City level
Shah et al. (2013)	Livelihood Vulnerability Index (LVI)	3 components and 33 indicators, namely exposure, sensitivity and adaptive capacity	<p>Socio-demographic profile:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dependency ratio. Ratio of the population <15 and >65 years of age to the population between 19 and 65 years of age • % of female headed households • Avg. age of female-headed household • % Household heads did not attend school • % Households with members needing dependent care <p>Livelihood strategies:</p> <ul style="list-style-type: none"> • % Household without members working outside the community • % Households mainly income dependent on agriculture/fishing/hunting • Avg. agricultural livelihood diversity index • % Households without non-agricultural livelihood income contribution <p>Social networks:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avg. receive/give ratio. Ratio of (the number of types of help received by a household in the past month +1) to (number of types of help given by household to another household in the past month +1) • Avg. borrow: lend ratio (12) % Households that have gone to government for assistance in last 12 months <p>Health:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avg. time to health facility • % Households with members suffering chronic illness • % Households where member missed work/school in last 2 weeks due to illness • Average dengue exposure prevention index <p>Food:</p> <ul style="list-style-type: none"> • % Households primarily dependent on self farmed food • Average crop diversity index • % Households that do not sell/barter crops for other food supplies • % Households depending significantly on fishing/ hunting for food <p>Water:</p>	2 communities

Taula 8.1. Benchmarking d'índex de vulnerabilitat (social) al canvi climàtic.

Author	Composite index	Components	Indicators by component	Scale
Wolf & McGregor (2013)	Heat vulnerability index (HVI)	2 components and 12 indicators, namely heat exposure and sensitivity	<ul style="list-style-type: none"> • % Households without pipe borne water • % Households utilizing natural water system • Avg. days without regular water supply per month • Average days supply stored per household <p>Housing and land tenure:</p> <ul style="list-style-type: none"> • % Houses with weak storm resistant construction (wood, mud) • % Houses not elevated by posts/high ground to avoid floods • % Households without ownership of the lands they live on <p>Natural disasters and climate variability:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Average number of floods/droughts in past 3 years • % Households with losses to physical assets (house/machinery) due to flooding • % Households with injury or death from natural disasters in last 3 years • Mean standard deviation of monthly avg. of avg. max. daily temperature (1999–2005) • Mean std. deviation of monthly avg. of avg. minimum daily temperature (1999–2005) • Mean std. dev. of monthly avg. precipitation <p>Heat exposure:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Living in inner city thus being exposed to UHI. Population density and overlay with MODIS image • Thermo isolation of home. Households in rented tenure • Living on a high floor of multi-storey buildings. Households in a flat • High population density. Population density (pers/ha) • Not having working air conditioning. Households without central heating <p>Sensitivity:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Being elderly. Population above 65 years • Pre-existing illness, impaired health, including mental or psychiatric illness. Population with long-term limiting illness; population with self-reported health status “not good” • Low economic status, worker, low education. Receiving any kind of social benefit • Living alone, social isolation. Single pensioner households • Minority status. Ethnic group other than “white British” • Confined to bed, not leaving home daily (no data) • Living in institutions, often in relation to several of the above factors. Population living in any kind of communal establishment (excluded from PCA) 	City level

Font: IERMB a partir de diverses fonts.

**Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de
Barcelona**

Universitat Autònoma de Barcelona (Campus de Bellaterra)

Plaça del Coneixement, edifici MRA, planta 2

08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès)

iermb@uab.cat