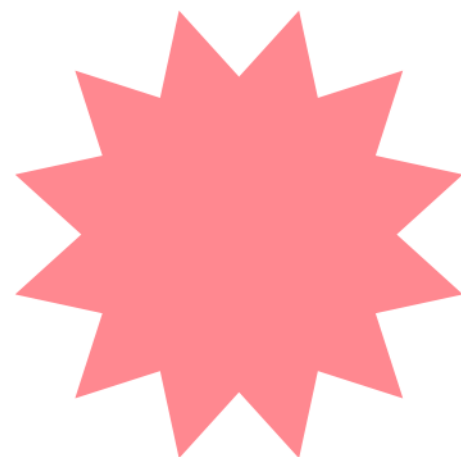


PLA
CLIMA

ESTUDI DELS IMPACTES DEL CANVI CLIMÀTIC A BARCELONA



CAPÍTOL IX

FLUXOS ENERGÈTICS

BR

BARCELONA
REGIONAL
AGÈNCIA
DESENVOLUPAMENT
URBÀ

Ajuntament de
Barcelona



CLIENT



**Ajuntament
de Barcelona**

REDACCIÓ



BARCELONA
REGIONAL
AGÈNCIA
DESENVOLUPAMENT
URBÀ

CARRER 60, 25-27.
EDIFICI Z, PLANTA 2
SECTOR A, ZONA FRANCA
08040 BARCELONA
T 932 237 400
F 932 237 414
www.bcnregional.com
br@bcnregional.com

COORDINACIÓ

Marc Montlleó Balsebre, *Director Tècnic i Director de projectes ambientals*

COL·LABORACIÓ

Gustavo Rodríguez Ferrer, *Cap d'Infraestructures Energètiques*
Javier Morales Bellsola, *enginyer industrial*
Albert Carbonell Ferrer, *tècnic de GIS*
Hèctor Grau Garceran, *tècnic de GIS*
Marçal Palma Bartroli, *tècnic de GIS*
Jose Lao Mulero, *Cap d'Estratègies Energètiques*
Gemma Conde Cros, *Ambientòloga*

i l'equip tècnic i administratiu de Barcelona Regional

DIRECCIÓ PER PART DE L'AJUNTAMENT DE BARCELONA

Irma Ventayol i Ceferino, *Coordinadora de l'Oficina de Sostenibilitat*
Ares Gabàs Masip, *Responsable de Resiliència Urbana*

I L'EQUIP TÈCNIC:
Benjamí Gauchía Legal
Antoni González Gómez
Patricia Lacera Martínez

© 2017, BARCELONA REGIONAL



ÍNDEX

1. PRESENTACIÓ	5
1.1 OBJECTE I ABAST	7
1.2 ELS FLUXOS ENERGÈTICS A BARCELONA I ELS FACTORS QUE ELS CONDICIONEN	8
1.2.1 Factors climàtics que incideixen sobre els fluxos energètics	13
1.3 RELACIÓ ENTRE EL CLIMA I ELS FLUXOS ENERGÈTICS	15
1.3.1 Clima i Generació/Distribució energètica	17
1.3.2 Clima i Consum energètic.....	18
1.4 POSSIBLE IMPACTE DEL CANVI CLIMÀTIC SOBRE ELS FLUXOS ENERGÈTICS	22
1.4.1 Breu definició de canvi climàtic	22
1.4.2 Afectació del canvi climàtic sobre les variables climàtiques	22
1.4.3 Implicacions del canvi climàtic sobre els fluxos energètics.....	23
1.4.4 Estudis de referència del canvi climàtic en el nostre territori	26
1.4.5 Proposta metodològica	36
2. ANÀLISI I DIAGNOSI	38
2.1 BALANÇ ENERGÈTIC ACTUAL DE BARCELONA	40
2.1.1 Balanç energètic al sector residencial	44
2.1.2 Balanç energètic al sector terciari	61
2.1.3 Escenari de referència	69
2.1.4 Generació energètica a Barcelona.....	74
2.2 IMPACTE DEL CANVI CLIMÀTIC SOBRE ELS FLUXOS ENERGÈTICS A BARCELONA	81
2.2.1 Potencial influència del canvi climàtic sobre les variables climàtiques a BCN	81
2.2.2 Metodologia per avaluar l'efecte del canvi climàtic sobre els consums tèrmics de la ciutat	88
2.2.3 Avaluació de l'efecte del canvi climàtic sobre els consums tèrmics de la ciutat.....	113
2.2.4 Potencial afectació del canvi climàtic sobre les fonts energètiques	157
3. CONCLUSIONS	164
4. RECOMANACIONS	170
5. BIBLIOGRAFIA	176
6. ANNEXOS	182

1. PRESENTACIÓ

- 1.1. Objecte i abast**
- 1.2. Els fluxos energètics a Barcelona i els factors que els condicionen**
- 1.3. Relació entre el clima i els fluxos energètics**
- 1.4. Possible impacte del canvi climàtic sobre els fluxos energètics**



1.1 OBJECTE I ABAST

L'objecte del present capítol és **avaluar quins efectes poden produir-se sobre els fluxos energètics** de la ciutat de Barcelona com a **conseqüència de les variacions climàtiques que es poden derivar del canvi climàtic**.

Per a fer-ho es definiran els fluxos energètics de la ciutat en un escenari de referència que es compararà posteriorment amb diferents escenaris de canvi climàtic en 3 horitzons temporals (2040, 2070, 2100) quantificant-se les variacions que s'hi produeixin.

El fet de treballar amb horitzons temporals tan a llarg termini introdueixen molta incertesa sobre els canvis socials, econòmics i tecnològics que poden tenir una forta incidència sobre el consum i generació de l'energia, i que fins i tot podrien tenir més impacte que el propi canvi climàtic. Però si mirem al passat ens adonem que molts dels canvis i tendències que s'han produït eren difícils de predir, és per això que en aquest capítol **únicament es valorarà les variacions que el canvi climàtic** poden provocar, sense valorar la resta de factors que poden influir en els fluxos energètics de la ciutat.

Per tant, i segons la nomenclatura definida per al conjunt de l'*Estudi dels Impactes del Canvi Climàtic a Barcelona*, en aquest capítol s'estima el perill de variació dels fluxos energètics a la ciutat de Barcelona i en alguns casos la vulnerabilitat dels edificis per afrontar aquestes variacions.

A mode de recordatori, presentem la nomenclatura establerta al *Capítol – Introducció al canvi climàtic*:

- **Perill** es pot definir com la freqüència i intensitat (o magnitud) amb la que un determinat fenomen natural o antròpic impacta en un espai determinat.
- Per **vulnerabilitat**, s'entén la predisposició intrínseca d'un sistema (subjecte, grup, element físic, ecosistema, etc.) a ser afectat per un perill.
- **Risc** és la resultant de considerar el perill i la vulnerabilitat, valorant com cada sistema es veu afectat per un perill determinat.

Els resultats de l'estudi haurien de permetre determinar quines tendències i la magnitud de les mateixes i valorar quines accions convé implementar amb l'objectiu d'adaptar la ciutat al canvi climàtic i fer-ne una ciutat més resilient tot garantint el subministrament d'energia, i promovent estratègies per fer-ho d'una forma sostenible.

1.2 ELS FLUXOS ENERGÈTICS A BARCELONA I ELS FACTORS QUE ELS CONDICIONEN

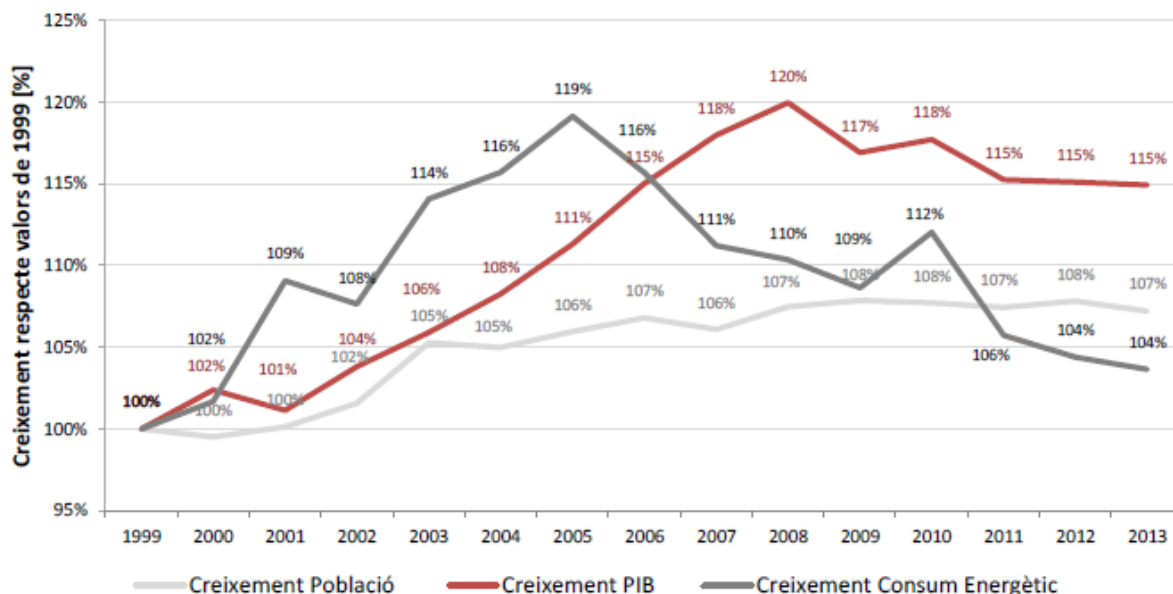
Barcelona està constituïda d'una gran varietat d'elements que s'interrelacionen de forma dinàmica per complir les funcions de ciutat. Moltes de les activitats que s'hi duen a terme requereixen d'energia per materialitzar-se i, per tant, la ciutat requereix recursos o matèries primeres per produir diferents serveis energètics (calefacció, refrigeració, aigua calenta, electricitat, transport,...) generant aquests processos uns **fluxos energètics** determinats.

La intensitat d'aquests fluxos energètics i la seva evolució depenen de múltiples factors com els demogràfics, econòmics, tecnològics, socials, configuracions urbanes o meteorològics.

En general, un creixement de la població s'associa a majors consums d'energia. Variacions en els factors demogràfics modifiquen les necessitats energètiques dels territoris. No obstant, la magnitud d'aquestes variacions no és uniforme a tots els territoris, i aspectes socials i de configuració urbana tindran una forta incidència en aquestes variacions. Per exemple, en funció de si es tracta d'un territori dispers o compacte, les demandes energètiques es modifiquen, i els territoris compactes en general impliquen una menor intensitat energètica però a la vegada una major dificultat per generar aquesta energia de forma local i renovable. També, per un territori de mateixa configuració urbana, el nivell de conscienciació social i educació en la sostenibilitat pot marcar la diferència pel que fa als consums energètics.

Però tradicionalment, juntament amb el factor demogràfic, els aspectes econòmics són dels que han tingut una major incidència en el consum d'energia. Una economia forta i en creixement s'associa a un alt nivell de producció i de serveis de consum i en tots els casos aquestes activitats tenen un elevat consum energètic. Però també el creixement econòmic comporta un increment dels estàndards de confort i per tant un major consum energètic de la societat.

Al següent gràfic es posa de manifest l'evolució temporal del consum energètic en front als factors demogràfics i econòmics a la ciutat de Barcelona els darrers anys. En aquest cas s'aprecia, especialment en el període entre 1999 i 2005, una creixent del consum energètic quan el PIB i la població creixen, i en canvi, en el període 2008-2013 amb l'entrada de la crisi econòmica i l'estancament de la població el consum d'energia es veu dràsticament reduït.

Gràfic 1: Evolució temporal del consum d'energia, de la població i del PIB a Barcelona

Font: Barcelona Regional

La tecnologia també ha estat un motor de canvi, que per una banda ha implicat una major dependència energètica i en conseqüència un major consum, però a la vegada, molts dels desenvolupaments tecnològics poden comportar una millora en l'eficiència, així com en l'aprofitament de recursos més sostenibles. En qualsevol cas, està clar que la tecnologia, amb la seva ràpida evolució pot implicar un gran canvi en els fluxos energètics, i a dia d'avui desconecem si en breu o al llarg termini es pot produir un nou canvi disruptiu que pot canviar el panorama tal i com avui ens ho podem imaginar.

Per contra, l'aspecte climàtic tradicionalment no es considera un factor canviant amb el temps. Si s'observen variacions entre els diferents anys, es poden trobar anys més freds o més calents que puguin variar els consums energètics, però a nivell temporal no es considerava com un factor que pogués fer créixer o disminuir els fluxos energètics. Ara amb el canvi climàtic, aquesta percepció varia, i cal que preveiem quins canvis ens poden implicar per tal d'adequar el nostre territori a aquests canvis.

Si es mira cap el passat es pot veure que en tots aquests factors (demogràfics, socials, urbans, econòmics i tecnològics) s'han produït grans canvis en el temps, i realitzar prediccions a molt llarg termini, com acostumen a ser les relacionades amb el canvi climàtic, presenten una gran incertesa.

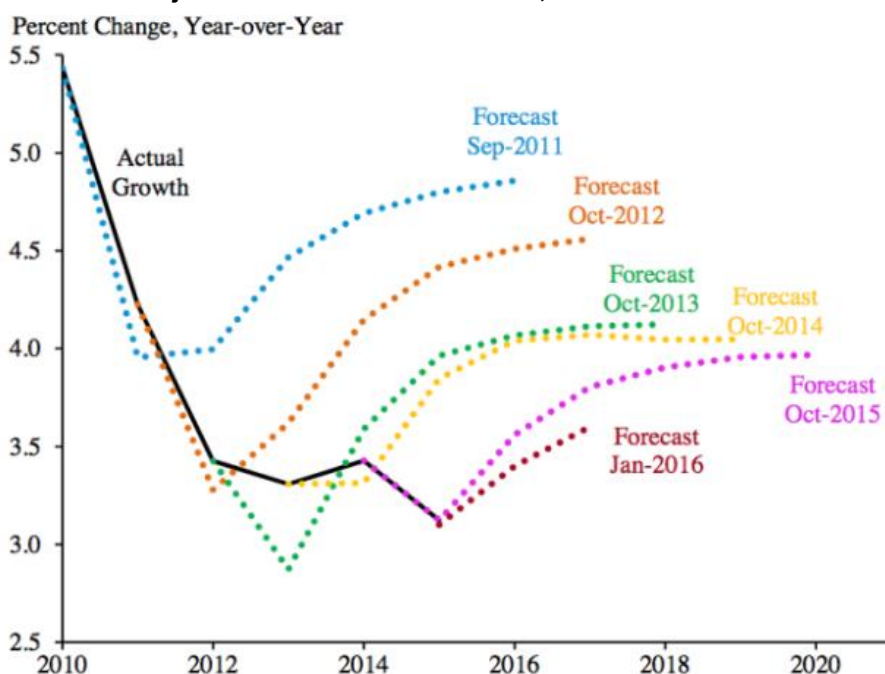
A nivell de població i d'estructura urbana, no es preveu que es produeixin grans canvis tenint en compte que Barcelona és un territori totalment consolidat. Sí que es podria produir una millora de les construccions a través de la rehabilitació o transformació dels teixits existents però preveure aquests canvis a dia d'avui no és possible, i en part, les conclusions del capítol han d'ajudar a marcar quines haurien de ser les tendències d'aquestes transformacions i les prioritats. Com a conseqüència, les projeccions assumiran la població i la configuració urbana com una dada constant i no com a variable.

Les variables que tenen una major incertesa són les relacionades amb l'economia i la tecnologia, i és per això aquests factors es plantejaran com a constants, ja que no és l'objecte del capítol establir prediccions en relació a aquestes variables.

En el cas de l'economia, el fet de plantejar-ho com una constant es deu a la manca de projeccions fiables de variables econòmiques com el PIB. Tradicionalment semblava raonable assumir escenaris de creixement econòmic sostingut en el temps. Actualment ja no sembla ser el cas.

Les anàlisis d'organismes supranacionals de prestigi posen de manifest que l'assumpció de taxes de creixement relatiu positives (creixents o inclús constants) any rere any pot deixar de ser realista. Al gràfic següent s'observa com les projeccions econòmiques de l'FMI a nivell mundial han sobreestimat l'evolució real del creixement en els últims anys.

Gràfic 2: Projecció del creixement del PIB, 2010-2020



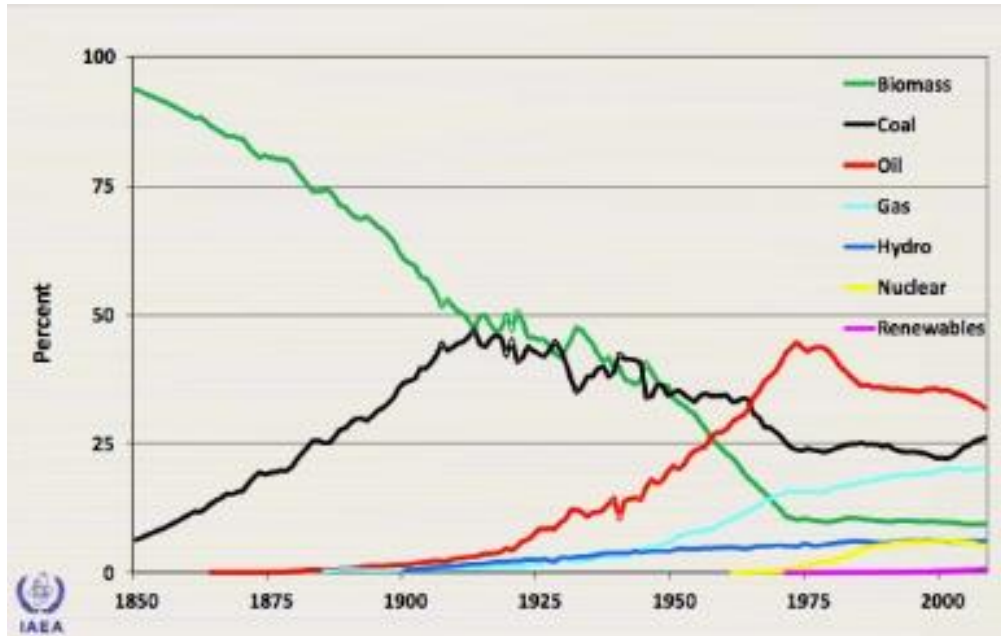
Font: Fons Monetari Internacional (FMI)

Aquest fet permet refermar la tesi que existeix un alt grau d'incertesa a l'hora d'efectuar projeccions econòmiques. Certament, si la predicció de curta durada ja no és acurada, s'espera que encara ho sigui menys si es pretén desenvolupar prediccions a llarg termini.

Pel que fa a les noves tecnologies, és possible que canviïn la manera en què obtenim i ens relacionem amb l'energia. La difusió de nous models de generació han de possibilitar la generació distribuïda i l'emergència de noves tecnologies d'emmagatzematge permetran que els consumidors puguin acumular energia i compartir-la transcendent el model actual de generació en grans centrals. Sistemes intel·ligents regularan l'ús de calefacció, ventilació, aire condicionat i il·luminació automàticament aprenent dels hàbits dels seus ocupants i optimitzant l'ús d'energia. Els canvis tecnològics que es provocaran són difícilment previsibles però certament són un factor que cal tenir en compte a l'hora de preveure com evolucionaran els fluxos energètics a futur.

Un recordatori històric pot ajudar a concebre la magnitud dels canvis que es poden esperar al sector energètic:

Gràfic 3: Evolució històrica del mix d'energia primària global



Font: International Atomic Energy Agency (IAEA)

La realitat és que tot just fa un segle la biomassa representava l'energia primària més utilitzada del món i l'ús d'energia es destinava gairebé exclusivament a calefacció que es proveïa mitjançant la crema de la matèria primera utilitzant tecnologies simples. Actualment, les fonts d'energia primària predominants són els combustibles fòssils i els processos i usos als quals es destina el consum s'han diversificat enormement. Els sistemes energètics han anat evolucionant a mesura que les noves tecnologies s'han anat desenvolupant portant-nos a un sistema energètic altament especialitzat.

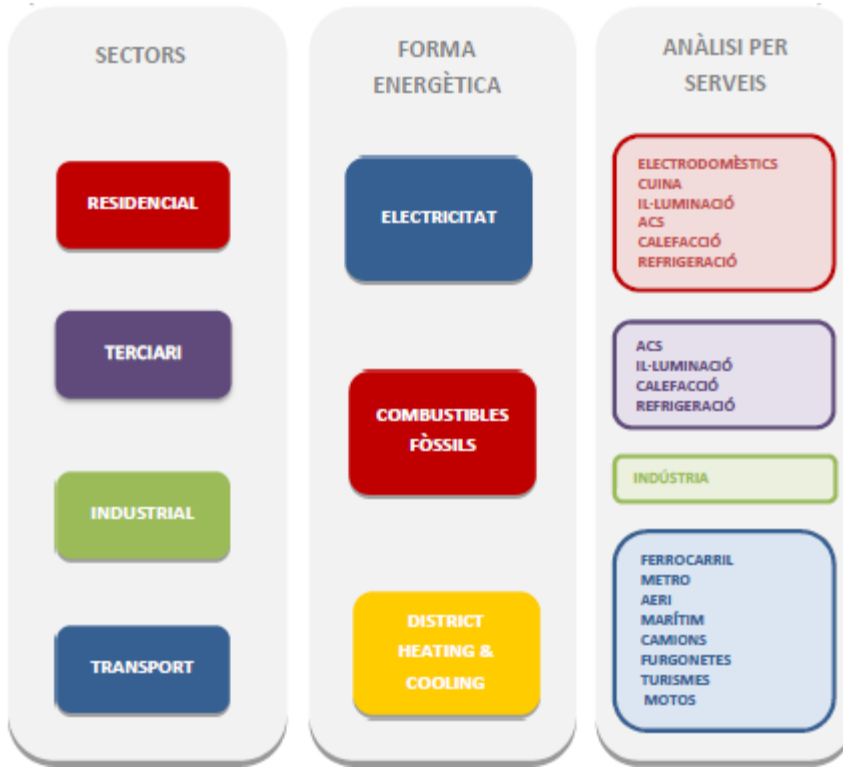
Ser conscients de la naturalesa dinàmica de la tecnologia i de la velocitat a la que evoluciona permet entendre la dificultat de pronosticar els canvis tecnològics que definiran el sistema energètic del futur. La impossibilitat de predir com s'esdevindran aquests canvis ha motivat que les projeccions dels fluxos energètics a futur que es desenvolupin en aquest capítol es facin considerant un escenari tecnològic que conservi l'*statu quo*.

Com a conseqüència, per quantificar els efectes d'un clima canviant sobre el consum s'ha considerat pertinent observar què passa amb aquest consum si les variables climàtiques es veuen modificades *ceteris paribus*. Aquest anàlisi llavors no ens permet comparar la incidència del canvi climàtic en front als altres factors.

Per tal de poder facilitar la presa de decisions i l'adaptació del sector energètic als potencials canvis del clima és precís radiografiar el **fluxos energètics** de la ciutat tant actuals com projectats (predicció per canvi climàtic).

L'anàlisi dels **fluxos energètics** té com a objectiu conèixer qui (anàlisi sectorial), en quina forma (anàlisi de tipologia energètica) i per a què (anàlisi per ús o per servei) es consumeix energia i com es pot veure modificat pel canvi climàtic.

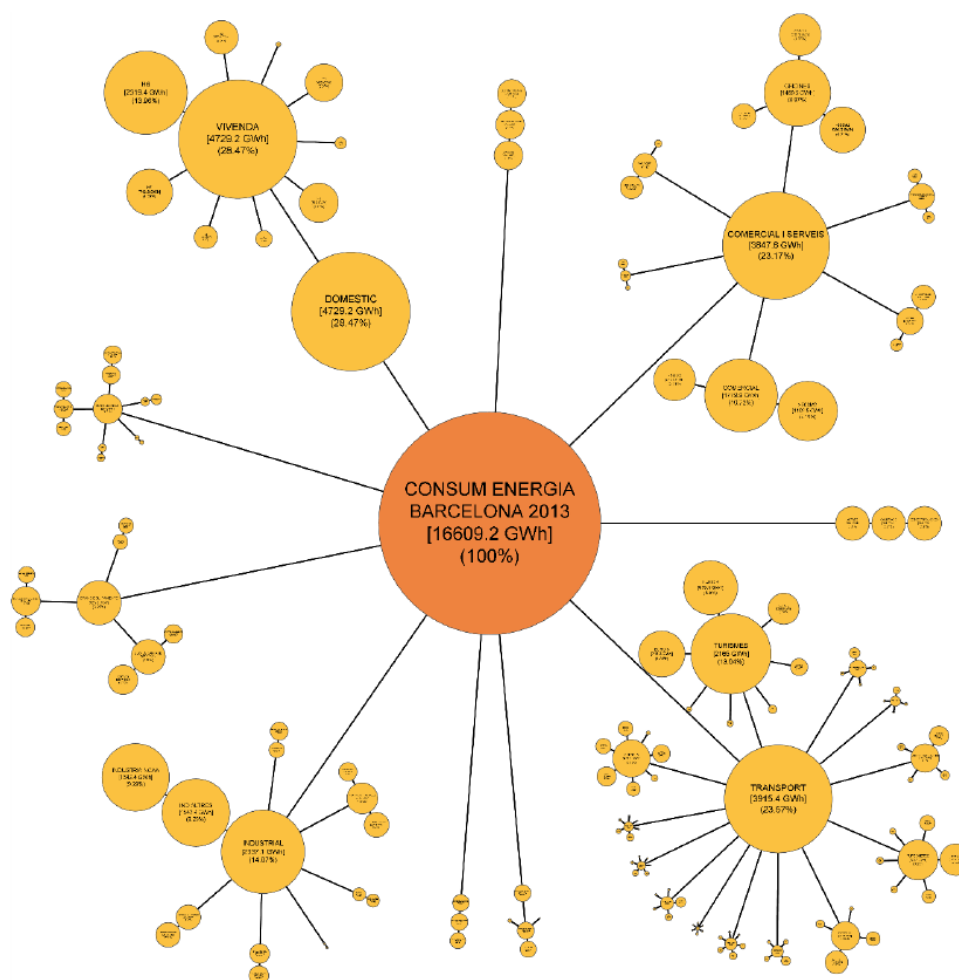
Imatge 1: Òptiques per l'anàlisi dels fluxos energètics



Font: Estudi sobre la Vulnerabilitat del subministrament energètic al Canvi Climàtic a l'AMB (PSAMB)

En el cas de Barcelona es disposa principalment informació per sector i per tipologia d'energia consumida, i pels usos o serveis hi ha algunes aproximacions realitzades en el marc del PECQ i els balanços energètics de ciutat. A la següent imatge es mostra el balanç desagregat pel 2013, i més endavant s'explicaran els fluxos energètics que es produeixen a la ciutat de Barcelona.

Imatge 2: Balanç energètic de Barcelona 2013 esquematitzat per sector i ús



Font: Estudi sobre la Vulnerabilitat del subministrament energètic al Canvi Climàtic a l'AMB (PSAMB)

1.2.1 Factors climàtics que incideixen sobre els fluxos energètics

Com s'ha esmentat, els factors climàtics tradicionalment no es consideren com factors que provoquen una tendència al creixement o reducció del consum energètic, sinó que simplement provoquen fluctuacions estacionals o interanuals, però en mitjana es consideraven estacionàries. La perspectiva del canvi climàtic, però, fa que es puguin preveure importants canvis que poden afectar als fluxos energètics.

L'IPCC (Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic) defineix el clima com la descripció estadística en termes de mitjana i variabilitat de les diferents variables climàtiques durant un determinat període de temps, tradicionalment 30 anys segons la WMO (Organització Meteorològica Mundial).

El clima és, per tant, el comportament mitjà de les variables climàtiques entre les que podem destacar:

- **Temperatura**
- **Velocitat del vent**
- **Precipitació**
- **Humitat.**

Les variables citades són precisament els factors climàtics que incideixen en la forma en què es genera i es transporta l'energia i en la quantitat d'energia que es consumeix i per tant les que condicionen els **fluxos energètics**.

Aquestes variables es poden relacionar amb altres factors meteorològics o hidrològics que també són d'interès per la seva relació amb l'energia. Entre ells es troben la nuvolositat, la radiació solar, el cabal dels rius, el comportament de l'onatge, la temperatura del subsòl, el nivell del mar o les estadístiques d'esdeveniments climàtics extrems (sequera, inundació, tempestes...).

A la vegada, aquestes variables climàtiques es poden veure fortament alterades com a conseqüència del canvi climàtic, i la profunditat d'aquestes modificacions vindran donades pels diferents escenaris d'emissions i concentracions de gasos d'efecte hivernacle.

A continuació s'aprofundeix en les relacions concretes entre variables climàtiques i fluxos energètics.

1.3 RELACIÓ ENTRE EL CLIMA I ELS FLUXOS ENERGÈTICS

Es pot entendre la relació entre clima i energia com un sistema complex de retroalimentació en què un determinat clima afecta als patrons de consum energètic i aquests patrons de consum provoquen, al seu torn, canvis sobre les variables climàtiques.

Imatge 3: Diagrames que mostren les relacions entre els fluxos energètics i el clima com a un cas particular de retroalimentació

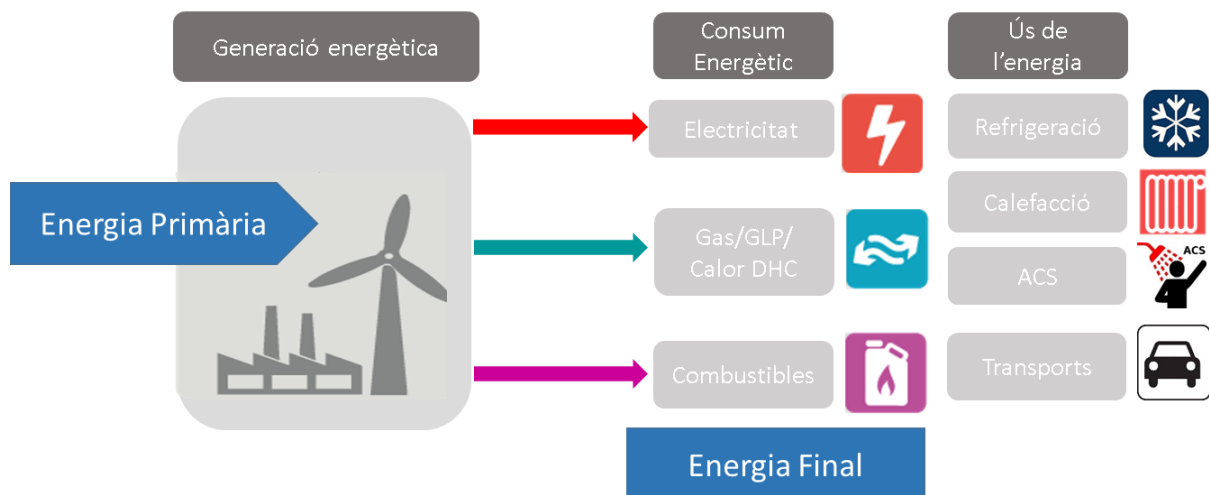


Font: Barcelona Regional i all-geo.org

Malgrat aquest document es centri principalment en avaluar com evolucionen els patrons de consum energètic com a conseqüència d'un clima canviant i pretén avaluar potencials vulnerabilitats que es puguin produir en aquest aspecte, l'acció antropogènica provoca indefugiblement efectes sobre el clima.

Entenent, però, que només s'analitza l'afectació del clima sobre l'energia és precís classificar les relacions clima-energia des del punt de vista la generació (oferta energètica) i des del punt de vista del consum (demanda).

Imatge 4: Diagrama de la cadena energètica.



Font: Barcelona Regional

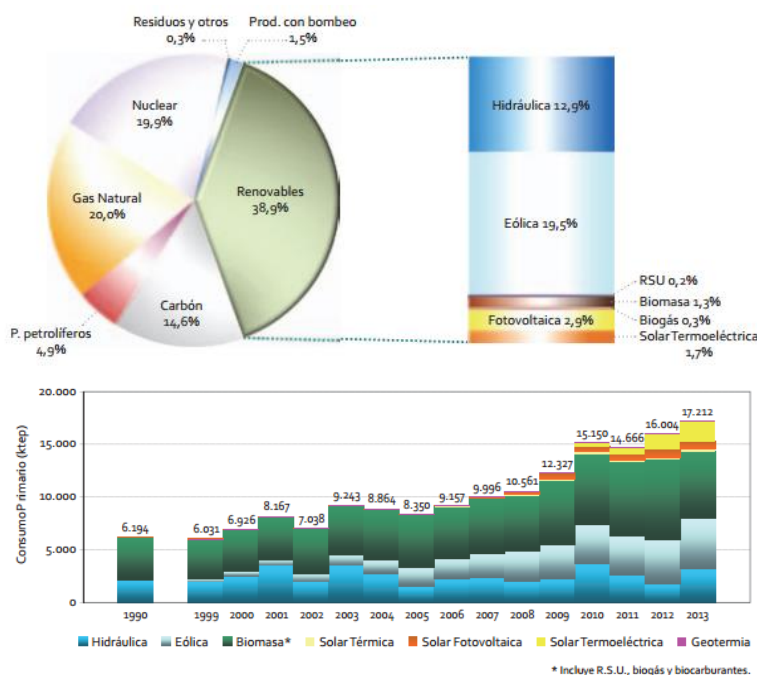
1.3.1 Clima i Generació/Distribució energètica

En un model energètic constituït amb energies convencionals basades en els combustibles fòssils i centralitzat en grans infraestructures de generació com són les centrals tèrmiques i nuclears actuals, el clima no esdevé un factor essencial a tenir en compte a l'hora de dur a terme la planificació energètica malgrat tingui una certa influència sobre l'eficiència en la generació, sobretot en el processos de refrigeració.

La gestió en la generació energètica en un model tradicional es focalitzen a garantir i maximitzar el subministrament energètic per satisfer la demanda de la societat i de la indústria i la variabilitat del clima no esdevé un factor que provoqui incertesa a l'hora de garantir el subministrament energètic.

L'èmfasi atribuït a la prevenció de potencials riscos provocats per efecte de la climatologia no esdevé un condicionant que motivi, en general, l'ús d'unes tecnologies enfront d'unes altres segons les tendències del clima donat que els sistemes energètics actuals són, en general, robustos a les potencials variacions del clima, però sí que pot provocar un major ús de sistemes basats en energies fòssils en front a les renovables en cas d'escassetat de recursos. Per exemple, en els anys secs la generació mitjançant energia hidràulica es veu minimitzada i la cobertura de la demanda s'ha de satisfer compensat amb recursos fòssils, i una cosa similar passa, i això ja més recent, amb l'aportació de l'energia eòlica i la seva dependència dels règims de vents. Les gràfiques següents posen de manifest que la hidràulica representava l'any 2013 un 12,9% de l'electricitat generada a l'estat espanyol mentre que l'eòlica en representava un 19,5%. Si bé l'evolució creixent de l'eòlica pot relacionar-se majoritàriament amb aspectes econòmics i tecnològics, les oscil·lacions de la hidràulica en els últims anys constaten les consideracions aquí realitzades.

Gràfic 4: (a) Estructura de generació elèctrica a l'estat espanyol l'any 2013 i (b) Evolució del consum primari d'energies renovables a Espanya



Font: MINETUTUR/ IDAE

La necessitat de reduir la dependència energètica exterior i les tendències a reduir i minimitzar les emissions de gasos d'efecte hivernacle ens hauria de conduir en els propers anys cap una transició energètica per la implantació d'un nou model energètic més sostenible amb l'aprofitament dels recursos locals al voltant de les energies renovables i residuals, l'eficiència energètica i la generació distribuïda. Aquesta transformació del sistema de generació energètic podria veure's més condicionat pel clima i caldrà avaluar quines són les tecnologies de generació més apropiades i com es pot garantir el subministrament energètic.

La tendència que es posa de manifest és que la generació energètica es veurà, mica en mica, més afectada pel comportament dels recursos renovables que, alhora, estan directament determinats pels paràmetres climàtics. Per tant, la relació entre clima i generació d'energia s'intensificarà i el sector energètic esdevindrà més susceptible al comportament de les variables climàtiques.

L'anàlisi de la vulnerabilitat del sector energètic front a potencials variacions del clima podrà condicionar l'estratègia energètica per garantir el subministrament energètic.

1.3.2 Clima i Consum energètic

El clima, a més de provocar canvis en la forma que es genera l'energia (centrals termoelèctriques, energies renovables...), també influencia en la quantitat d'energia que es consumeix així com en l'ús al que es destina aquesta energia.

Les relacions entre clima i energia també varien segons el sector considerat.

Sector Residencial

El sector residencial és un dels sectors energèticament més sensible al clima donat que bona part del consum energètic en aquest sector s'associa a usos tèrmics (ACS, calefacció i refrigeració).

L'ús final de l'energia es veu condicionat pel comportament de les variables climàtiques i, en particular, de la temperatura. Hiverns freds motiven un major consum d'energia per calefacció i un augment de la demanda de combustibles fòssils per assegurar el confort tèrmic als edificis.

Anàlogament, estius càlids provoquen un augment del consum d'energia elèctrica per refrigeració i provoquen majors demandes d'electricitat així com augments de vendes d'equips de refrigeració¹ que a la vegada suposaran majors consums energètics en els anys posteriors.

Pel que fa a l'ACS (Aigua Calenta Sanitària), es requereix menys energia per escalfar aigua calenta a l'estiu que a l'hivern donat que la temperatura de la xarxa de distribució d'aigua varia segons la temperatura ambient i, per tant, si fa fred es requereix consumir més energia per disposar d'un determinat volum d'aigua calenta. De la mateixa manera, una variació de la climatologia pot implicar un canvi en els requeriments dels usuaris, per exemple, la temperatura de l'aigua requerida (i per tant el volum emprat d'ACS) pot no ser el mateix a l'estiu que a l'hivern, havent una tendència a l'estiu a dutxes amb aigua freda o tèbia.

¹ Segons dades de l'Associació de Fabricants d'Equips de Climatització (AFEC)

En el cas de l'electricitat que es consumeix per a altres aplicacions (electrodomèstics, aparells electrònics, il·luminació,...) cal esmentar que el seu ús no es veu condicionat pel comportament de les variables climàtiques malgrat aquestes puguin influir en el comportament energètic dels aparells.

La manera en què el clima condiciona el consum elèctric és específica per cada aparell, i resulta difícil generalitzar-les.

A tall d'exemple, l'eficiència dels electrodomèstics varia segons el comportament de la temperatura així com també ho fa la dissipació tèrmica en aparells electrònics incidint aquests dos fenòmens sobre el consum. En general, un augment de la temperatura provoca eficiències menors i consums d'energia més elevats. De la mateixa manera, les necessitats de refrigeració dels circuits electrònics en aparells domèstics com l'ordinador o el televisor, requereixen d'una evacuació de la calor generada a causa del seu funcionament que s'efectua de manera menys eficient quan augmenta la temperatura.

Els exemples comentats posen de manifest que la relació entre clima i consum energètic, malgrat pot ésser caracteritzada qualitativament, no sempre pot ser analitzada quantitativament, especialment quan es pretén traslladar relacions que es manifesten a nivell micro a nivell macro.

Aquesta limitació provoca que existeixi un grau d'incertesa elevat a l'hora d'establir relacions numèriques entre una variació determinada de les variables climàtiques sobre el consum elèctric.

El que es pot concloure és que les relacions clima-consum energètic esdevenen **més intenses** i, per tant, **més fàcilment quantificables** quan es prenen en consideració els **usos tèrmics** - donat que el seu ús depèn directament del comportament de les variables climàtiques - i **més difuses** quan es tenen en compte els **usos elèctrics** - donat que el seu ús no es veu condicionat per les variables climàtiques encara que una modificació de les últimes faci variar l'eficiència dels aparells. Aquest resultat també aplica pel sector terciari que s'analitza a continuació.

Sector Terciari

Al sector terciari les distribucions d'usos energètics varien segons el subsector considerat (comercial, oficines, hotelier.). Malgrat tot, els usos a què es destina el consum energètic són essencialment calefacció, refrigeració, ACS i electricitat per il·luminació i altres aplicacions (usos típics del sector edificació).

La diferència principal entre terciari i residencial és que la fracció de consum per a usos tèrmics (ACS, Calefacció i Refrigeració) respecte del total d'usos disminueix considerablement en el terciari en relació amb el residencial.

La conseqüència d'aquest fet és que la sensibilitat del consum energètic al clima té un efecte diferent al terciari i, per tant, residencial i terciari no es poden tractar de la mateixa manera.

Es pot considerar que el consum energètic del terciari és , en general, més robust a variacions climàtiques que el residencial.

Sector Industrial

Quantificar les relacions entre clima i energia al sector industrial de forma genèrica és una tasca veritablement complexa. La gran heterogeneïtat d'activitats englobades dins la indústria no permet realitzar una anàlisi acurada i l'error d'intentar quantificar aquestes relacions pot ser considerable, sobretot tenint en compte la inexactitud de les dades de què es disposen.

Els processos industrials requereixen d'un ús intensiu d'energia per dur-se a terme però aquestes necessitats energètiques són específiques per a cada procés i difereixen segons la indústria considerada. Una part d'aquesta energia es consumeix en forma de fred i calor, i per tant, el consum energètic pot ser susceptible a les variacions de comportament de les variables climàtiques.

En general, però, l'ús d'energia a la indústria no resta condicionat a les condicions climàtiques donat que no és probable que una indústria deixi de produir o variï el seu ritme de producció a causa condicions climàtiques adverses que provoquin eficiències energètiques menors de la seva maquinària.

Per resumir, es pot concloure que la sensibilitat del clima a les variables climàtiques a la indústria depèn enormement del procés considerat i que, per tant, les generalitzacions que es puguin fer per explicar les relacions clima-energia al sector industrial seran indeterminades, inexactes i poc concloents i que l'ús de l'energia a la indústria no es veu condicionat pel comportament de les variables climàtiques malgrat el consum energètic pugui veure-se'n modificat si les primeres canvien.

Sector Transport

El sector transport es pot dividir principalment en transport rodat (camions, furgonetes, turismes, motocicletes i busos), aeri, ferroviari i marítim. L'efecte del clima sobre el consum al sector transport és complex de quantificar.

Els consums energètics al sector de transport rodat són sensibles a la variable temperatura ambient que pot modificar:

- el rendiment dels processos termodinàmics dels motors,
- l'ús i el rendiment del sistema de climatització del vehicle,
- la resistència aerodinàmica i la fricció de rodament dels vehicles.

Malgrat aquestes observacions, és difícil determinar la influència de la temperatura sobre el consum energètic ja que aquesta influència pot variar segons el disseny del vehicle, l'ús que se'n faci, les característiques de les vies per on circuli, etc.

A tall d'exemple, una major temperatura provoca menors densitats de l'aire disminuint la resistència aerodinàmica del vehicle i provocant consums menors. Com a contrapartida, el rendiment dels processos termodinàmics del motor disminueix provocant consums majors.

Si bé es poden establir relacions que ajudin a quantificar els efectes de la temperatura sobre el consum - la conclusió d'un estudi de l'ICAEN² establia una reducció del consum del 0,4%

² ICAEN (2009), Conducció eficient per a conductors de vehicles industrials.

per cada grau d'augment de la temperatura - es tracta d'estimacions parcials i específiques per un tipus de vehicle. A més caldria valorar si aquestes variacions es veurien compensades o clarament superades per les variacions de les demandes de climatització a l'interior dels vehicles.

La manca de dades i d'estudis en aquest camp limiten molt l'anàlisi. Nous estudis ajudaran a entendre de manera més clara les relacions clima-energia al sector del transport. De moment, s'ha considerat pertinent excloure el sector del transport de l'abast de l'estudi. Havent avaluat les relacions clima i energia als diferents sectors s'ha pogut determinar quins sectors es consideraran variables i quins constants de cara a l'anàlisi quantitativa.

El present estudi se centrarà a analitzar l'evolució dels **fluxos energètics** als **sectors residencial i terciari** mantenint constant el consum d'aquells sectors pels quals no es pot definir de manera clara en quina magnitud són afectats pel clima (sector transport i sector industrial). A banda, dins dels sectors residencial i terciari només es farà avaluació dels canvis que es puguin produir sobre les **demandes tèrmiques** (ACS, calefacció i refrigeració).

1.4 POSSIBLE IMPACTE DEL CANVI CLIMÀTIC SOBRE ELS FLUXOS ENERGÈTICS

1.4.1 Breu definició de canvi climàtic

El canvi climàtic es un fenomen que provoca una alteració de les variables climàtiques a la terra com a conseqüència d'una alteració de la composició de l'atmosfera i que origina canvis que s'afegeixen a la variabilitat natural del clima observada durant períodes de temps comparables.

1.4.2 Afectació del canvi climàtic sobre les variables climàtiques

Els informes de l'IPCC posen de manifest com l'actual tendència del canvi climàtic no té precedents en els registres històrics d'informació geològica. El canvi climàtic físic s'avalua tradicionalment en una escala temporal multi-dècada de forma que els canvis en els paràmetres estadístics per cada variable climàtica siguin estimables.

Com a conseqüència, les estimacions de la magnitud del canvi climàtic consisteixen en comparacions del clima actual present amb períodes futurs separats entre ells diverses dècades. Aquesta aproximació es veu limitada a horitzons temporals propers al temps present donat que tals prediccions només es poden basar en l'observació dels patrons climàtics en el passat recent.

La modelització i interpretació dels canvis sobre les variables climàtiques són complexos donat que una determinada variable climàtica - com la temperatura - pot modificar-se:

- Únicament en el seu valor mitjà o magnitud (més temperatura o menys)
- Únicament en la forma de la distribució (majors/menors valors extrems)
- Com una combinació de canvis en el valor mitjà i la forma.

Per tant, no existeix una única mesura estadística capaç d'indicar com una variable pot canviar. Per exemple, si la variabilitat de temperatura s'incrementa, no es pot generalitzar l'afectació d'aquesta modificació sobre, per exemple, la velocitat del vent.

Simultàniament, no tots els paràmetres climàtics tenen el mateix grau de variabilitat: Les temperatures mitjanes són més robustes que els valors de precipitació, per exemple.

Malgrat aquestes limitacions, existeixen una sèrie de tendències climàtiques que es poden extreure de l'anàlisi meteorològica-geogràfica i de la producció científica a nivell global:

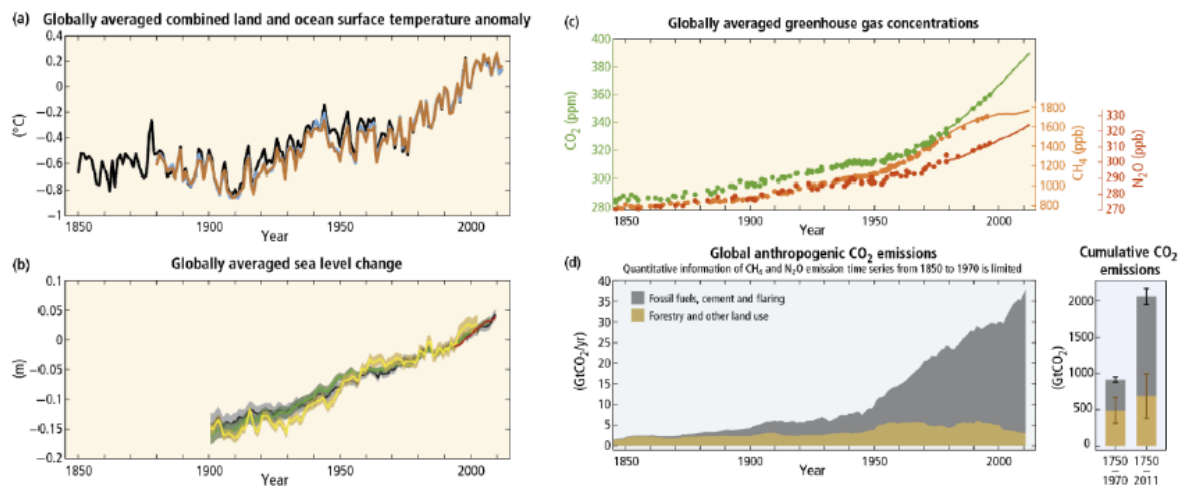
- En general, les temperatures augmentaran de forma generalitzada arreu però la variabilitat interanual continuarà existint i els esdeveniments de fred intens (onades de fred) no desapareixeran.
- És probable que el nombre de dies freds esdevinguin menys freqüents mentre que el nombre de dies i nits tòrrides i càlides esdevinguin més freqüents.
- Els sistemes naturals relacionats amb la neu i el gel es veuran afectats: la fusió de les capes de gel i els glaciers s'han anat accelerant provocant una pujada del nivell del mar.
- Tant sequeres com inundacions continuaran existint però la freqüència d'ocurrència i la intensitat d'aquests fenòmens va en augment des dels anys 50.

- L'augment de temperatures disminuirà la diferència tèrmica entre les regions polars i els tròpics provocant, alhora, decrements en la velocitat del vent.

Per poder avaluar la vulnerabilitat i els possibles impactes d'aquestes variacions de les variables climàtiques, però, és imprescindible regionalitzar les tendències globals a escala local donat que el comportament del canvi climàtic no és homogeni i està condicionat fortament per aspectes geogràfics.

Un anàlisi regionalitzat dels comportaments de les diferents variables climàtiques per efecte del canvi climàtic és imprescindible per poder quantificar posteriorment, les afectacions del canvi climàtic sobre l'energia.

Gràfic 5: Evolució temporal de (a) la temperatura, (b) el nivell del mar, (c) concentració de gasos amb efecte hivernacle i (d) emissions de CO₂ des de 1850



Font: Intergovernmental Panel on Climate Change. The Physical Science Basis, Fifth Assessment Report.

1.4.3 Implicacions del canvi climàtic sobre els fluxos energètics

El canvi climàtic pot suposar una alteració, intensificació i/o exageració de la relació Clima-Energia i per tant cal valorar quines variables tindran una major afectació, quines són les variacions que es poden esperar i com això podria afectar als fluxos energètics.

En primer lloc, és important conèixer quines són les variables climàtiques que més contribueixen a la variació del consum energètic i caracteritzar com es desenvolupa aquesta variació.

La temperatura és clarament la variable que més influència té sobre els fluxos energètics. Tanmateix, un augment dels valors mitjans de temperatura pot provocar un efecte diferent sobre el sistema energètic que un augment dels valors extrems. A continuació es presenten diferents tipus de variacions de la variable temperatura i com es relacionen amb les eventuais conseqüències que aquestes variacions provocarien sobre el sector energètic:

- **Canvis sostinguts en el temps:** Una variació de la temperatura durant un període sostingut pot provocar grans canvis en un determinat sistema energètic. Per exemple, un increment dels dies càlids i tòrrids pot augmentar la càrrega d'aire condicionat i, com a conseqüència, canviar tant la magnitud

de la càrrega (quanta energia es consumeix) com la seva distribució sectorial (qui la consumeix). Per tant tenen una afectació sobre el consum d'energia i sobre les necessitats o disseny de les infraestructures.

- **Canvis en els valors extrems:** Els pics de temperatura poden ser importants a l'hora d'estimar canvis en la demanda pic que es pot exigir als sistemes de distribució elèctrica. En una hora càlida d'un dia calorós es podria exigir una càrrega de refrigeració que sobrecarregués massa els transformadors i les línies de distribució elèctrica no fossin capaces de donar resposta a la demanda. En aquesta situació, a escala de transmissió es podria arribar a congestionar el sistema. La conclusió que s'extreu és un augment de les temperatures pic pot dur a una saturació o sobrecarrega de les infraestructures de generació, transport i distribució, però en canvi no suposen un canvi substancial en els consums energètics (en balanç anual).

- **Esdeveniments extrems (onades de calor)**

Una onada de calor posa la xarxa elèctrica en condicions d'alta càrrega durant períodes temporals majors que un pic de temperatura. Aquests esdeveniments tenen més probabilitat de saturar les infraestructures permetent que els pics es produeixin simultàniament a través d'una àrea geogràfica àmplia i que es puguin provocar una major saturació dels sistemes de transport i distribució.

A més de la temperatura, existeixen múltiples factors climàtics que poden provocar una afectació sobre el sector energètic i, en particular, sobre la generació, la transmissió i la distribució elèctrica. Entre ells n'hi ha que són sistèmics i que poden afectar en el model energètic, per exemple, un període de sequera associat a una conca determinada, i per tant no depèn d'un impacte local del canvi climàtic, pot afectar a la generació hidroelèctrica i de retruc alterar la resta de sistemes de producció, i d'altres més específics i locals, com, per exemple, els potencials impactes d'esdeveniments climàtics extrems, com inundacions fluvials que puguin afectar entre altres a les infraestructures energètiques.

El punt de partida per arribar a una comprensió profunda entre les relacions Clima-Energia en escenaris de canvi climàtic es basa en poder caracteritzar quina és la sensibilitat de les diferents tecnologies de generació, transport i distribució energètica, així com l'afectació sobre les demandes energètiques respecte als paràmetres climàtics fixada una determinada regió geogràfica.

En aquest sentit és cabdal **avaluar** els efectes que es plantegen de forma qualitativa a la següent taula per guiar l'estratègia energètica considerant que el clima esdevindrà un condicionant clau en la tria de les tecnologies i tipologies de les infraestructures energètiques del futur.

Un aspecte que cal tenir en compte en aquesta valoració és la llarga vida útil de les infraestructures energètiques (15-40 anys per centrals de producció elèctrica i 40-75 anys per sistemes de transport i distribució).

Taula 1: Variables climàtiques i potencial afectació sobre les infraestructures energètiques i el seu ús o demanda

Variable Climàtica	Afectació de la variable sobre l'ús energètic
Temperatura de l'aire	Eficiència de turbines en la generació elèctrica
	Potencial de generació de fred i calor amb bomba de calor aerotèrmica i eficiència
	Eficiència de panells fotovoltaics
	Eficiència panells solar tèrmics
Precipitacions	Variació en les demandes de calefacció, refrigeració i ACS
	Potencial i eficiència de la generació hidroelèctrica
Velocitat del Vent	Producció de biomassa
	Potencial de generació eòlica
Nuvolositat	Eficiència tecnologia eòlica
	Potencial de generació energia solar: tèrmica i fotovoltaica
Cabal dels rius	Potencial i eficiència de la generació hidroelèctrica.
	Canvi en els models de generació hidroelèctrica (control de preses etc.)
Freqüència i alçada de l'onatge	Potencial de generació mareomotriu
	Modificacions en el disseny de la infraestructura per generació eòlica <i>off-shore</i>
Estadístiques d'inundacions	Protecció i disseny de les infraestructures
Temperatura del subsòl	Potencial de generació geotèrmica
Estadístiques de sequera	Potencial de generació hidroelèctrica
	Potencial biomassa
Estadístiques de tempesta (vent fort, precipitacions intenses, calamarsa...)	Protecció i disseny de les infraestructures de generació, transport i distribució
	Operacions <i>off-shore</i>
Nivell del mar	Protecció de la infraestructura energètica a la costa
	Instal·lacions de refrigeració de sistemes de producció energètica

Font: Barcelona Regional

Malgrat la generació elèctrica actual ja utilitza la monitorització d'informació climàtica per planificar els pics de càrrega en la generació i donar resposta a esdeveniments climàtics extrems, la vulnerabilitat energètica a les variacions del temps no està ben determinada inclús quan s'obvien els potencials efectes del canvi climàtic.

En essència, encara existeixen problemes per avaluar la variabilitat del temps meteorològic en termes quantitius per gestionar problemes de caràcter immediat.

Un exemple d'això el trobem durant l'onada de calor a Europa el 2003, excepcionalment intensa i duradora. A França, juntament amb l'onada de calor es van trobar amb la disminució del cabal dels rius i l'augment de la temperatura de l'aigua, causada per la variabilitat de temperatura intranual, i això va provocar unes necessitats extremes de refrigeració dels reactors nuclears que va provocar que EDF (Electricité De France) hagués de demanar una exempció excepcional dels requeriments legals sobre la temperatura de l'aigua retornada al riu utilitzada per refrigerar les unitats de generació. La demanda nacional d'electricitat va augmentar respecte les condicions 'normals' d'estiu a causa de les

necessitats extremes d'electricitat per aire condicionat i refrigeradors i es va registrar un 50% de disminució en l'exportació d'energia provocant costos estimats en 330 M€ (Dubus, 2010).

Si bé no es pot afirmar que episodis d'onada de calor com el descrit anteriorment siguin provocats per la variabilitat climàtica que es pot atribuir al canvi climàtic, la proliferació de fenòmens extrems d'aquestes característiques seran més probables en escenaris de clima canviant.

Un augment de la variabilitat climàtica provocarà, en general, un augment dels costos d'operació i el manteniment dels sistemes de subministrament energètic i probablement d'una sèrie d'efectes que hauran de poder ser previstos i avaluats de forma quantitativa. La quantificació d'aquests efectes hauria d'ajudar a la presa de decisions estratègiques orientades a adaptar el sistema energètic a futur.

1.4.4 Estudis de referència del canvi climàtic en el nostre territori

Existeixen una sèrie d'estudis de referència en matèria de canvi climàtic que fan èmfasi en les relacions clima i energia al nostre territori.

El Tercer informe sobre Canvi Climàtic a Catalunya (2017) dedica el seu capítol 14 a les relacions energia-clima. L'anàlisi que s'hi realitza es centra principalment a fer una avaluació de l'evolució de l'ús de l'energia els últims anys i les emissions de GEH que se'n deriven i les compara amb la previsió d'objectius marcats per la UE. Per tant, es tracta d'un document centrat en la mitigació del CC. El document revisa si els objectius de mitigació contemplats al PECAC (Pla de l'Energia i Canvi Climàtic de Catalunya 2012-2020) i altres programes com el 20-20-20 europeu³ s'estan complint o no i defineix una sèrie d'accions a dur a terme per assolir-los.

Pel que fa la diagnosi del moment actual compara:

- L'evolució real de la potència elèctrica instal·lada (real vs objectius PECAC) entre 2009 i 2015 conclouent que encara cal fer esforços per augmentar la potència instal·lada d'energia renovable.
- L'evolució del consum d'energia primària i final conclouent-se una disminució del consum d'electricitat i carburants atribuïble a la conjuntura de crisi econòmica més que no pas a mesures d'estalvi.
- L'evolució de les emissions de GEH (2005-2012 segons el Protocol de Kyoto) sobre les quals conclou que *'Catalunya ha complert amb escriu la part de limitació de l'increment de les emissions establerta a l'estat espanyol'* malgrat posa de manifest que els descensos de consum i emissions podrien ser causats en major mesura per la crisi econòmica que per les mesures preses. Destaca que el processament de l'energia provoca el 75% de les emissions de GEH i l'identifica com el sector amb més potencials d'estalvi.

Pel que fa a les accions correctores que proposa s'hi troben:

³ El programa 'Europe 2020' Strategy 20-20-20 té l'objectiu de reduir l'emissió de GEH en un 20% comparant als valors de 1990; reduir el consum d'energia final un 20% comparat amb el consum de 2005 i augmentar el percentatge d'energia renovable al total del mix energètic fins a un mínim del 20% abans del 2020.

- Un augment de la potència instal·lada de renovables orientat a canviar radicalment el mix energètic *'amb una participació decidida de les energies renovables'*.
- L'aposta per impulsar l'estalvi i la millora de l'eficiència per complir amb els objectius d'emissions. S'identifiquen com a sectors amb major potencial d'estalvi el domèstic i serveis i es fa èmfasi en la importància de complir la Directiva europea sobre eficiència energètica a l'edificació. S'adverteix que la represa de l'activitat econòmica podria fer augmentar el consum total d'energia i les emissions per sobre de les previsions del PECAC.
- L'aposta per inversions destinades a reduir la dependència de Catalunya a la importació d'hidrocarburs pel transport que resulta ser *'clarament deficitària'*.

I en relació als requeriments necessaris per fer possible l'acompliment d'aquestes mesures correctores especifica que cal:

- Que el Govern català disposi de la capacitat suficient per complir els compromisos de descarbonització mitjançant legislació pròpia.
- Que s'incentivi la inversió pública i privada per construir una nova indústria de l'energia constituïda al voltant dels nous avenços tecnològics
- Que s'impulsi la recerca i innovació en camps de l'energia com la fotovoltaica, l'emmagatzematge d'energia, la conversió de CO₂ en materials i/o combustibles, en noves solucions al voltant de l'hidrogen, en *smart grids* (xarxes intel·ligents), nous combustibles etc.

L'anàlisi que s'hi realitza no té en compte possibles estratègies d'adaptació aplicables al territori català i, per tant, el precedent que genera no és d'utilitat a l'objecte d'aquest estudi.

Per fer front al canvi climàtic existeixen 2 grans estratègies que es poden aplicar: mitigació i adaptació. La mitigació s'adreça a les causes fonamentals del fenomen i pren mesures orientades a disminuir les emissions de GEH (gasos d'efecte hivernacle) mentre que l'adaptació busca reduir els riscos associats a les conseqüències de possibles canvis de les variables climàtiques.

El concepte d'adaptació al canvi climàtic emergeix quan els experts prenen consciència que inclús en escenaris d'alta mitigació, on les emissions decreixessin significativament en els propers anys, l'adaptació seria encara necessària com a mesura per adreçar les conseqüències de l'acció antropogènica acumulada durant l'època post industrial. Tradicionalment, les mesures que s'han pres en matèria de canvi climàtic han anat orientades principalment a mitigar els seus efectes. L'adaptació, objecte d'aquest document, ajuda a identificar la vulnerabilitat dels territoris i les afectacions o modificacions que es poden produir pels canvis a les variables climàtiques. Les estratègies d'adaptació, per tant, pretenen definir quines accions es poden prendre per adaptar-se a les noves condicions climàtiques assumint que els efectes del canvi climàtic són irreversibles.

L'aclariment entre els conceptes de mitigació i adaptació és important perquè ajuda a classificar els estudis de referència en matèria de canvi climàtic al nostre territori segons si s'orienten a mitigar els efectes del canvi climàtic o a adaptar-s'hi. La revisió dels estudis precedents fa palès que, a Catalunya, s'ha dedicat més atenció a la mitigació que a l'adaptació i que, per tant, calen majors esforços per adreçar l'adaptació del sector energètic al clima.

Si bé l'anàlisi de les relacions clima-energia del *Tercer informe sobre Canvi Climàtic a Catalunya (TICCC) (2017)* s'orienten majoritàriament a la mitigació, l'informe inclou altres estudis que poden ser d'interès per obtenir l'evolució de les variables climàtiques en escenaris de clima canviant que permetin quantificar amb major precisió la magnitud dels esforços d'adaptació, en matèria energètica, que es poden esperar al territori català. El capítol 4: *Evolució recent de la temperatura, la precipitació i altres variables climàtiques a Catalunya* presenta noves constatacions sobre l'evolució temporal de les variables climàtiques entre les que es troben:

- Un increment anual mitjà de 0,23°C/decenni de la temperatura de l'aire per al conjunt de Catalunya en el període 1950-2014. Les màximes anuals han augmentat a raó de +0,28°C/decenni i les mínimes +0,17/decenni. L'increment de temperatures té una tendència més marcada a l'estiu on el augment són de +0,33 °C.
- Una tendència de les precipitacions lleugerament negativa -1,2%/dècada que, tanmateix, no resulta ser estadísticament significativa.
- Una variació dels extrems climàtics amb un increment dels dies d'estiu, les nits càlides (+0,7-2,0% /decenni) i els dies càlids (+1,1-3,0% /decenni i una disminució dels dies freds (-0,5-1,8% /decenni) i les nits fredes (-0,5-1,5%/decenni).

Al capítol 5, *Projeccions climàtiques i escenaris de futur*, presenta resultats que preveuen:

- Un '*senyal molt robust d'augment de temperatura...en totes les estacions de l'any i en totes les àrees geogràfiques*'. Amb augments de temperatura de +0,8 °C en aquest decenni i que arribarien a un +1,4°C al 2050 en escenaris moderats.
- Una tendència de les precipitacions a la baixa (al voltant del -7% al 2050) que, no obstant, roman sotmesa a un major grau d'incertesa.
- Una alteració dels fenòmens extrems de temperatura i precipitació amb '*un increment significatiu de mesos càlids, una disminució de les nits de glaçada, principalment al Pirineu, un augment de les nits tropicals a la façana litoral, l'augment de la probabilitat d'ocurrència dels episodis de precipitació diària molt abundant (> 200 mm en 24 h) i l'augment de la longitud dels períodes secs, amb una ocurrència i gravetat més gran de les sequeres.*'

Taula 2: Resum dels resultats de les projeccions regionalitzades per al període 2031-2050 respecte de les mitjanes del període 1971-200

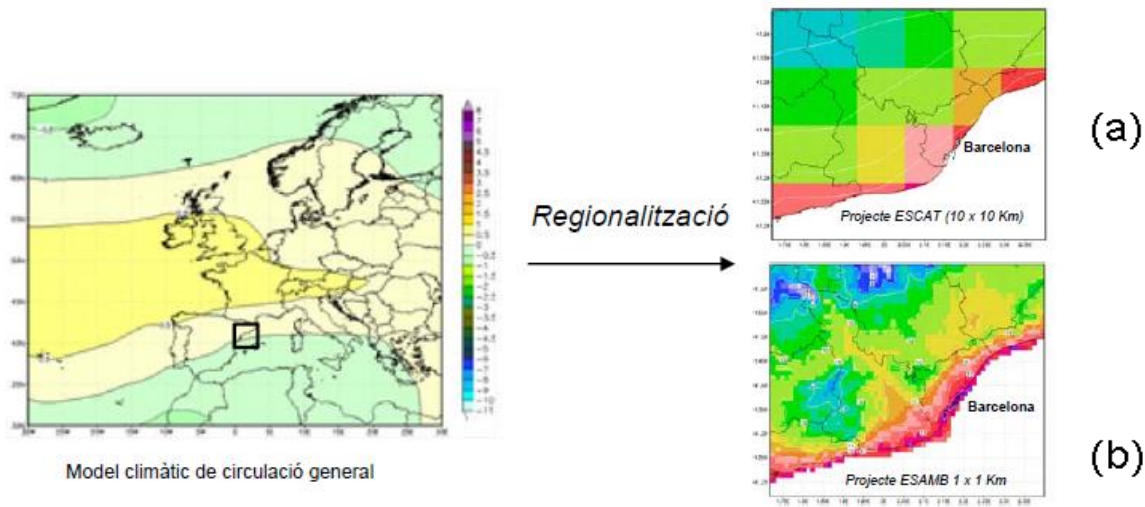
		Hivern	Primavera	Estiu	Tardor	Anual
Litoral/ Preitoral	ΔT (°C)	1,2 (0,8/1,9)	1,2 (0,5/2,2)	1,8 (0,7/2,5)	1,7 (0,6/2,1)	1,4 (0,9/2,0)
	ΔPPT (%)	-6,0 (-40,2/35,7)	-12,0 (-37,5/6,9)	-11,7 (-33,8/11,7)	-9,1 (-30,2/11,5)	-8,3 (-27,1/2,3)
Interior	ΔT (°C)	1,2 (0,8/1,9)	1,2 (0,4/2,3)	1,9 (0,7/2,7)	1,7 (0,8/2,2)	1,4 (0,9/2,1)
	ΔPPT (%)	-1,1 (-30,9/42,0)	-11,5 (-32,2/6,4)	-9,9 (-28,1/11,5)	-8,9 (-27,5/11,0)	-6,5 (-23,7/1,4)
Pirineu	ΔT (°C)	1,4 (0,9/2,1)	1,4 (0,6/2,5)	1,9 (0,6/2,8)	1,8 (0,8/2,3)	1,6 (0,9/2,2)
	ΔPPT (%)	-1,8 (-11,0/22,5)	-8,4 (-24,4/5,8)	-9,0 (-24,3/8,2)	-9,3 (-25,4/0,7)	-5,3 (-16,1/-1,2)
Catalunya	ΔT (°C)	1,3 (0,8/2,1)	1,2 (0,5/2,4)	1,8 (0,7/2,6)	1,7 (0,7/2,2)	1,4 (0,9/2,0)
	ΔPPT (%)	-3,8 (-28,2/20,7)	-10,7 (-31,4/4,0)	-10,2 (-28,1/9,8)	-9,4 (-27,5/4,7)	-6,8 (-22,0/-0,7)

Font: Tercer Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya

Per estimar els potencials impactes del canvi climàtic sobre el sector energètic és imprescindible conèixer l'evolució futura del clima a nivell regional o local. Les projeccions del clima a escala planetària es determinen a partir de models de circulació general climàtics (en anglès: general circulation model, GCM) que, en general, no proporcionen una resolució adequada per realitzar anàlisis a nivell local. Per aquest motiu és precís utilitzar tècniques de regionalització (o downscaling) que permeten augmentar la resolució que proporcionen els GCM.

Entre els estudis de regionalització que s'han dut a terme a Catalunya destaquen els del **projecte ESCAT** "Generació d'escenaris climàtics a alta resolució per a Catalunya" sol·licitat per l'Oficina Catalana de Canvi Climàtic i elaborat pel Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), en col·laboració amb el Barcelona Supercomputing Center (BSC) que tenia com a objectiu obtenir projeccions climàtiques a Catalunya per al període 2001-2050 a una resolució horitzontal de 10 km per a ser utilitzades per l'elaboració de l'informe "Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic 2013-2020" (ESCACC).

Imatge 5: Model climàtic de circulació general (esquerra) i models climàtics regionalitzats (dreta) a diferents resolucions (a) Catalunya (b) Barcelona



Font: Barcelona Regional amb imatges del projecte ESCAT (SMC) i ESAMB (AMB, SMC i BR)

En el marc del Pla de Sostenibilitat Ambiental de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (PSAMB, 2014), l'SMC va dur a terme un estudi de regionalització climàtica a escala metropolitana coordinat per Barcelona Regional: *Escenaris climàtics regionalitzats a l'Àrea Metropolitana de Barcelona (Projecte ESAMB), 2016* a una resolució de 1x1 km. Els resultats de l'informe es detallen àmpliament en un dels treballs inclosos en la diagnosi del *Pla de resiliència i adaptació al canvi climàtic de Barcelona* però aquí es vol remarcar la importància d'aquests estudis previs sense els quals no hagués estat possible dur a terme totes les projeccions quant a consum energètic que es poden esperar a futur.

Els resultats d'aquest estudi destaquen una augment de la temperatura mitjana anual al voltant d'1 °C entre 2011 i 2040, entre 1,2 i 2 entre 2041 i 2070 i entre 1,2 i 3°C entre 2071 i 2100. Pel que fa a les precipitacions es manifesta una tendència a la baixa entre el -6 i el -7% entre 2011-2040; entre el 0 i el -14% entre 2041-2070 i entre el 0 i el -26% l'any 2100. En tractar-se de la informació base per elaborar aquest estudi, se'n detallen els resultats de manera més exhaustiva a l'apartat 2.2.1.

Els resultats de la regionalització per l'AMB i els resultats específics pel municipi de Barcelona esdevenen la informació de base emprades en aquest capítol per estimar, a partir de la projecció climàtica, el consum energètic que se'n pot derivar segons diferents escenaris de canvi climàtic i elaborar propostes d'adaptació. També en aquest capítol s'han utilitzat estimacions específiques per l'evolució de la temperatura d'una any tipus en els diferents projeccions de futur que l'SMC ha elaborat.

L'Estratègia Catalana d'adaptació al Canvi Climàtic (ESCACC) impulsada per la Secretaria de Medi Ambient i Sostenibilitat de la Generalitat identifica 2 mesures per assolir una estratègia d'adaptació efectiva:

- Generació i transferència del coneixement sobre l'adaptació (diagnosi).
- Augment de la capacitat adaptativa (determinació de propostes concretes).

Pel sector energètic en particular, identifica la necessitat d'elaborar diagnòstics que determinin el grau de vulnerabilitat al canvi climàtic de les infraestructures energètiques de Catalunya (centrals nuclears, elèctriques, hidroelèctriques, eòliques...).

La publicació *'Seguiment i avaluació de l'estratègia catalana d'adaptació al canvi climàtic'* de Febrer de 2017 treu a la llum alguns dels impactes del canvi climàtic sobre el sector energètic. Entre ells hi destaquen la davallada del 12% del volum útil d'aigua per a la generació que ha provocat un descens de la producció hidroelèctrica un -15,4% segons la companyia Endesa l'any 2015 provocant una generació més participada per la nuclear o les tèrmiques. Altres publicacions com el capítol 24: *Implicacions del canvi climàtic sobre la disponibilitat d'aigua en el sector industrial. Situació i perspectives en el sector energètic* de l'estudi *Aigua i canvi climàtic Diagnòstic dels impactes previstos a Catalunya, 2009* afegeixen evidència a aquesta tendència.

L'informe de la Secretaria de Medi Ambient i Sostenibilitat també fa menció a potencials *'impactes en el rendiment de les línies elèctriques i d'estacions transformadores per les altes temperatures'* i a *'l'increment de la demanda de fred per a climatització d'habitatges, serveis, oficines, sector industrial, especialment en els episodis d'onades de calor'* però no dona dades que ajudin a quantificar aquests impactes.

Pel que fa a les mesures d'adaptació per al sector energètic i les accions associades a aquestes mesures cita la diagnòstic realitzada a *'Estudi sobre la vulnerabilitat al canvi climàtic de l'abastament energètic envers al canvi climàtic a l'AMB'* encarregat per l'AMB en el marc del PSAMB, coordinat per Barcelona Regional i elaborat per Esteyco.

Aquest últim document identifica diferents variables que tenen una afectació sobre el sector energètic (clima, creixement econòmic, demanda d'energia, eficiència energètica, teixit urbà i model de generació) i diferents factors de risc (inundabilitat, variació de la precipitació, augment de la temperatura, augment del nivell del mar, sequeres i risc d'incendi i variació de la velocitat del vent) i analitza com aquests factors de risc, en diferents contextos climàtics i econòmics poden tenir una afectació sobre les infraestructures energètiques.

Per l'elaboració d'aquest estudi encara es prenen de referència les dades del *Segon informe sobre Canvi Climàtic a Catalunya* (2010) on encara es feien servir els escenaris climàtics anteriors (SRES) definits al Quart Informe d'avaluació de l'IPCC (2007).

La nova recerca en matèria de canvi climàtic posa de manifest que, contrari a la formulació d'escenaris de canvi climàtic basats en balanços d'emissions globals (escenaris SRES), cal centrar l'atenció en les emissions acumulades a l'hora d'establir objectius climàtics (escenaris RCP). Mentre els escenaris SRES eren escenaris definits per l'evolució d'aspectes demogràfics, econòmics i tecnològics associats a una gran incertesa al futur, els escenaris RCP es fixen en la concentració de gasos hivernacle total acumulada a l'atmosfera. Cal recordar que les emissions no causen directament el canvi climàtic. Les emissions augmenten la concentració de GEH, i aquests GEH són causants del canvi climàtic perquè canvien el balanç energètic de la terra. L'energia que entra a la terra hauria d'equilibrar-se amb l'energia que en marxa però gasos com el CO₂ retenen una fracció d'aquesta energia que, d'altra manera, escaparia, augmentant així la temperatura del planeta. Els GEH tenen un determinat grau de perturbació sobre el balanç energètic (de radiació) i, per tant, els nous escenaris RCP (*representative concentration pathways*) es classifiquen segons el nivell de perturbació sobre el balanç radiatiu que es pot esperar a

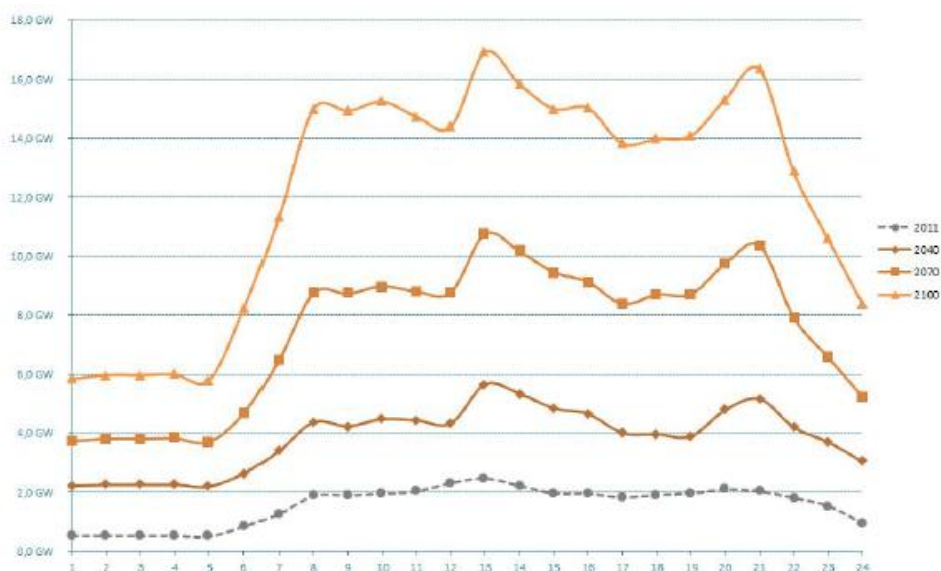
partir de les concentracions estipulades en cadascun d'ells. En aquest sentit, els escenaris RCP plantegen de forma més clara els canvis del clima com a resultat de variacions en la concentració de GEH. Aquests nous escenaris s'han utilitzat tant a l'AR5 (*Fifth Assessment Report* de l'IPCC) com en el *Tercer informe del canvi climàtic a Catalunya* i, per tant, la seva utilització en el present capítol motivarà un marc metodològic alineat amb les publicacions de referència.

L'altra limitació de l'estudi de l'AMB fa referència a la qualitat de la projecció de dades climàtiques utilitzades basades en projeccions de les variacions mitjanes pel tot el territori català i les regionalització per la zona del litoral i pre-litoral, en contrast amb la informació detallada que disposem per l'elaboració del present capítol.

L'anàlisi es centra en estudiar l'impacte del canvi climàtic sobre les infraestructures energètiques en diferents horitzons temporals i des de 4 òptiques complementàries:

- **Capacitat:** es realitza una projecció dels consums d'energia final tant pel que fa a l'energia com a la potència procurant estimar les variacions que es deriven del canvi climàtic però també per altres factors com el creixement econòmic i l'evolució tecnològica. Com a primera conclusió s'extreu que el factor econòmic és el que major influència es preveu que tingui en la futura demanda energètica, i per contra el canvi climàtic implica una variació força reduïda. En aquest sentit, en escenaris d'alt creixement econòmic el consum d'energia final l'any 2100 ascendiria a 190.545 GWh a l'AMB que contrasten amb els 48.206 GWh de l'any de referència de manera que el consum d'energia final es podria arribar a doblar cada 30 anys.

Gràfic 6: Puntetes de consum elèctric diari dels diferents sectors de l'AMB. Projecció per escenari climàtic A2 i PIB màxim



Font: Estudi sobre la vulnerabilitat al canvi climàtic de l'abastament energètic envers al canvi climàtic a l'AMB, Esteyco

Per altra banda el tipus d'energia final consumida progressivament tendirà a una electrificació de la societat, impulsada principalment per la mobilitat elèctrica però

també per una tendència a implementar més equips elèctrics als sectors residencial i terciari i per un increment dels dispositius emprats a les llars. Si a l'escenari de referència (2011) la repartició modal entre energia elèctrica (EE) i combustibles fòssils (CF) era del 32% en EE i del 68% en CF, les projeccions de l'estudi destaquen un intercanvi d'aquests valors segons els quals l'any 2100, l'energia elèctrica representaria, segons l'escenari considerat, entre un 66% i un 70% i els combustibles fòssils entre un 33% i un 31%. Cal aclarir que l'estudi no especifica l'origen de l'energia elèctrica i, per tant, es limita a analitzar eventuais evolucions pel que fa a energia final. Tot i que l'ús de combustibles fòssils es redueixi a la meitat en valor relatiu, augmenta significativament en valor absolut saltant d'un valor de 32.876 GWh a l'escenari de referència a 58.895 GWh en un escenari de creixement econòmic elevat i disminuint, ara sí, a 20.880 GWh a l'escenari de creixement econòmic moderat.

Gràfic 7: Repartiment modal del consum energètic pels diferents escenaris temporals

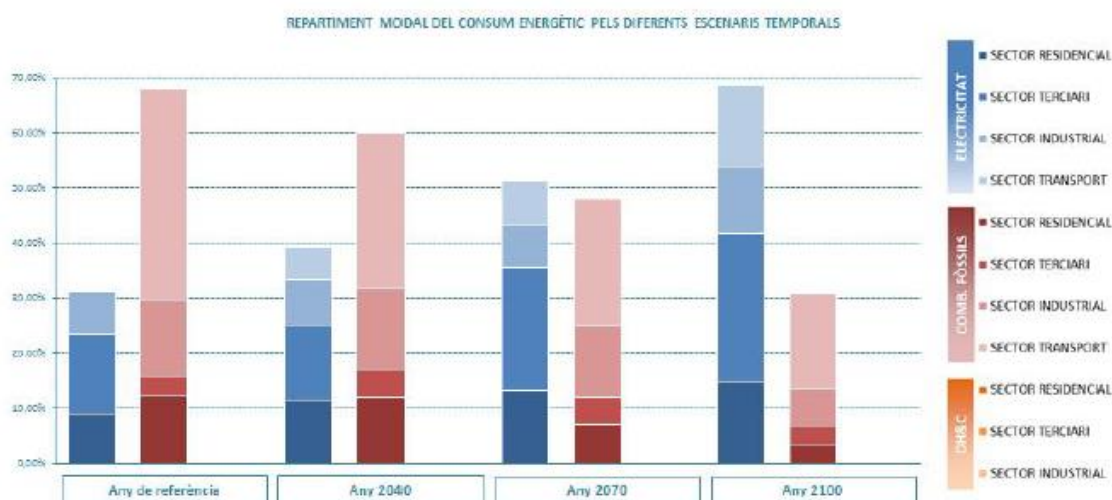


Figura 59. Comparativa [%] entre escenaris 2040-2070-2100. Escenari Climàtic A2, creixement econòmic elevat.
[Font: Elaboració pròpia]

Font: Estudi sobre la vulnerabilitat al canvi climàtic de l'abastament energètic envers al canvi climàtic a l'AMB, Esteyco

- Vulnerabilitat física: remarca que les infraestructures energètiques a l'àrea metropolitana de Barcelona 'no es veuran afectades per variacions climàtiques originades pel canvi climàtic, ja que la majoria estan soterrades o es troben cobertes dins d'edificis' i identifica la humitat com a principal causant d'un deteriorament de la infraestructura. La següent taula pot ajudar a identificar quins efectes es poden esperar. En general, les línies aèries, els elements de suport i les subestacions a l'aire lliure patirien els majors impactes pel que fa a la distribució elèctrica mentre que les infraestructures associades als combustibles fòssils no es veurien alterades quant a la distribució però sí quant a l'emmagatzematge.

Taula 3: Matriu d'impactes del canvi climàtic sobre les infraestructures energètiques

	AUGMENT TEMPERATURA	AUGMENT HUMITAT	PRECIPITACIONS INTENSES	DISMINUCIÓ VELOCITAT MITJA DEL VENT	AUGMENT RÀFEGUES DE VENT FORT	TEMPORALS MARÍTIMS
LÍNIES AÈRIES	○	○	○	○	○	○
LÍNIES SOTERRADES	○	○	○	○	○	○
GASODUCTES	○	○	○	○	○	○
OLEODUCTES	○	○	○	○	○	○
ELEMENTS DE SUPORT	○	○	○	○	○	○
SUBESTACIÓ ELÈCTRICA A L'AIRE LLIURE	○	○	○	○	○	○
S.E. EN EDIFICIS SOBRE RASANT	○	○	○	○	○	○
S.E. EN EDIFICIS SOTA RASANT	○	○	○	○	○	○
CENTRALS GENERACIÓ ELÈCTRICA	○	○	○	○	○	○
CENTRALS CLIMATITZACIÓ CENTRALITZADA	○	○	○	○	○	○
DIPOSITIS D'EMMAGATZEMATGE D'HIDROCARBURS I GAS	○	○	○	○	○	○
BENZINERES	○	○	○	○	○	○

○ Impacte positiu ○ Impacte neutre ○ Impacte negatiu

Font: Estudi sobre la vulnerabilitat al canvi climàtic de l'abastament energètic envers al canvi climàtic a l'AMB, Esteyco

Les variacions climàtiques que es preveuen queden dins dels marges de disseny que fixen les normatives actuals, tot i que algunes d'aquestes s'haurien de revisar per incloure les variacions que es puguin derivar del canvi climàtic.

- Vulnerabilitat territorial: A partir dels mapes de perill d'inundació fluvial i incendis actuals s'avalua l'afectació de les infraestructures energètiques actuals, però no es disposa ni es fa cap predicció del perill en el futur amb els escenaris de canvi climàtic. Amb aquesta informació es conclou que les infraestructures energètiques es 'podrien veure afectades principalment pel risc d'inundabilitat derivat de la crecuda dels rius' i fa palès que existeix un risc T=500⁴ (baix) per algunes de les infraestructures actuals que, no obstant, podria augmentar amb el canvi climàtic. També destaca que part de la infraestructura energètica existent discorre per zones d'alta combustibilitat i inflamabilitat i que caldrà tenir en compte aquest fet a futur.
- Envel·liment i capacitat d'absorció: determina que l'augment de demanda podrà assegurar-se mitjançant successives intervencions i explicita que, tanmateix, les xarxes de distribució seran les principals afectades d'aquests augments donat que hauran d'adaptar-se a les dinàmiques de transformació i generació dels futurs teixits

⁴ En enginyeria hidràulica el període de retorn (T) és el temps esperat entre 2 esdeveniments de baixa probabilitat. Per exemple, una zona es pot considerar inundable si s'espera que sigui coberta, estadísticament, per aigües de tempesta una vegada cada 500 anys (T=500). Períodes de retorn menors s'associen a vulnerabilitat major.

urbans. Les infraestructures energètiques podran renovar-se de forma natural atenent a nous criteris imposats pels futurs paisatges urbans.

Altres conclusions de caire més generalista inclouen:

- La necessitat de treballar per reduir la dependència energètica de l'exterior, la contaminació atmosfèrica i les emissions a l'AMB
- La constatació d'un augment de l'electrificació en els propers 80 anys.
- La necessitat d'impulsar la recopilació sistemàtica de dades energètiques actualitzades a l'AMB
- La constatació del baix impacte del canvi climàtic en l'evolució de les infraestructures en relació a altres variables com la població, els nivells de renda o increments de l'eficiència que determinaran el futur de les xarxes.

Cal esmentar que aquest estudi planteja escenaris de creixement econòmic sostingut i a la vegada manté la vinculació entre aquest creixement i l'increment del consum energètic, però caldrà veure si en el futur aquesta relació directa es veu frenada per una banda per una tendència a un menor creixement econòmic i per altra per una saturació en l'increment del consum energètic.

Per altra banda, la teòrica minimització de l'efecte del canvi climàtica es veu accentuada pel tractament global de la demanda energètica, on creixements en refrigeració es poden veure compensats reduccions en la demanda de calefacció. En aquest sentit, l'impacte del canvi climàtic pot ser molt superior si es desagreguen aquests conceptes.

En aquest sentit, i com ja s'ha especificat a l'inici del present capítol, aquest estudi s'ha orientat a quantificar de forma detallada els impactes del canvi climàtic únicament prescindint de la incidència de tots els altres factors evitant-se així projeccions esbiaixades per altres elements que tenen un alt grau d'incertesa.

L'anàlisi de la bibliografia existent a Catalunya ajuda a determinar què s'ha fet, per evitar eventuais duplicitats identificar què es pot aportar de nou i quines línies d'investigació caldrà seguir al futur.

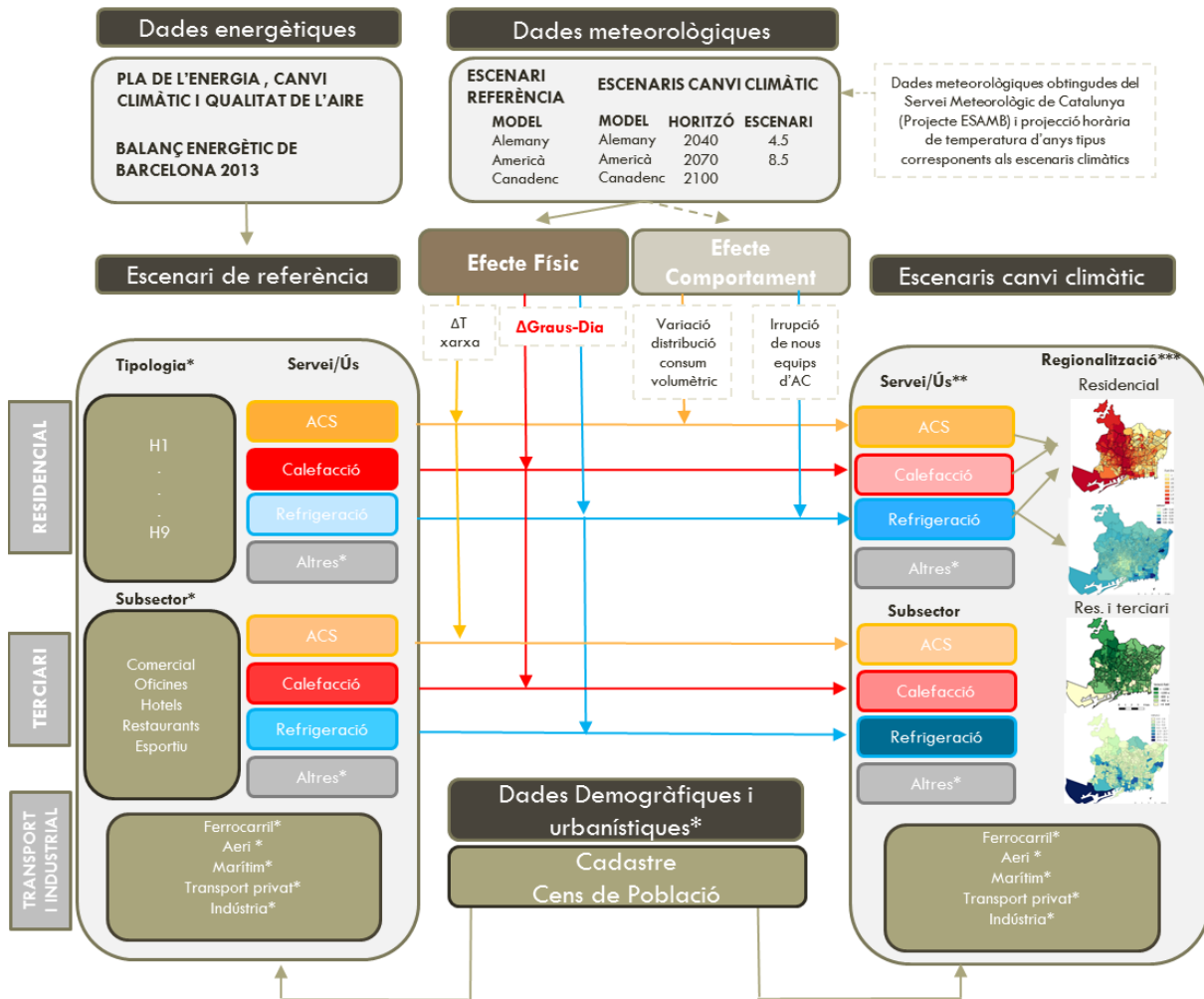
1.4.5 Proposta metodològica

Per tal de facilitar el seguiment dels apartats que segueixen s'inclou un petit diagrama que il·lustra la metodologia que s'ha utilitzat per desenvolupar el capítol. Al llarg del treball aquesta metodologia s'anirà explicant de forma més detallada.

A l'apartat 2.1 s'analitzarà el balanç energètic de Barcelona en l'escenari de referència (a l'esquerra del diagrama) i es comentaran breument les dades demogràfiques i urbanístiques de base que s'han utilitzat.

A l'apartat 2.2 es presentaran les dades meteorològiques de partida segons tots els escenaris de canvi climàtic analitzats, així com els estudis complementaris que han permès realitzar una projecció de les variacions sobre els consums energètics que es poden produir com a conseqüència de les alteracions climàtiques.

Imatge 6: Esquema de la metodologia emprada per avaluar l'impacte del canvi climàtic sobre els consums energètics de la ciutat



Font: Barcelona Regional

2. ANÀLISI I DIAGNOSI

2.1. Balanç energètic actual de Barcelona

2.2. Impacte del canvi climàtic sobre els fluxos energètics a Barcelona



2.1 BALANÇ ENERGÈTIC ACTUAL DE BARCELONA

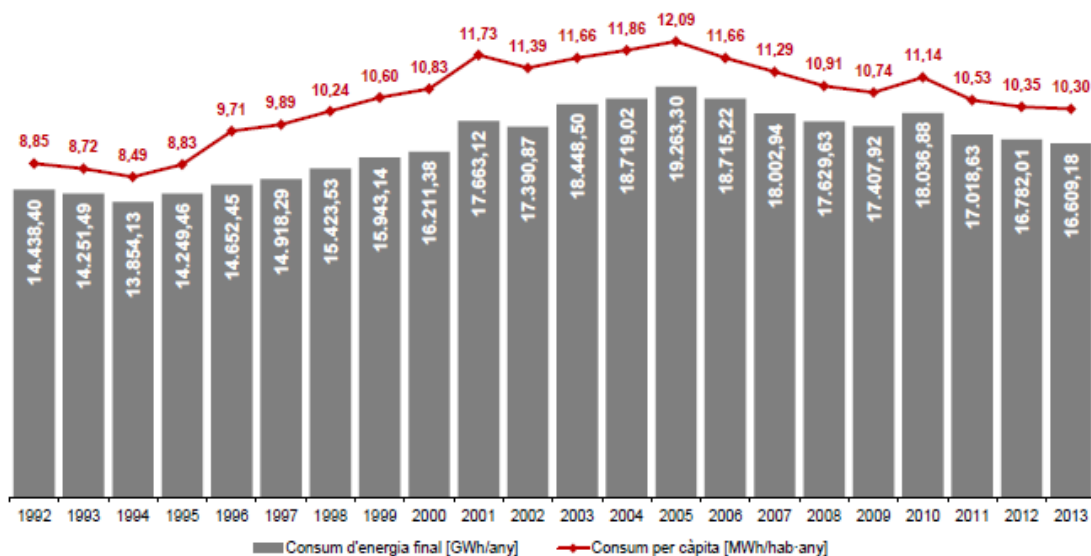
La ciutat de Barcelona va aprovar i publicar al 2002 el primer Pla de Millora Energètica de Barcelona 2002-2010 (PMEB) i al 2012 va desenvolupar el Pla de l'Energia, Canvi Climàtic i Qualitat de l'Aire 2012-2020 (PECQ), i durant tots aquests anys ha dut a terme un seguiment i anàlisi dels fluxos energètics de la ciutat.

Del darrer balanç energètic publicat (2013⁵) es desprèn que el consum d'energia final a la ciutat es situa al voltant de 16.609 GWh.

Una anàlisi de l'evolució històrica posa de manifest que el consum d'energia final a Barcelona va incrementar-se des de l'any 1992 fins l'any 2005, a una taxa de creixement anual del 2,25% i a partir de l'any 2005 ha passat a reduir-se a una taxa anual del -1,84%.

Respecte al consum energètic per habitant s'observa també un creixement des de l'any 1992 fins al 2005, on s'assoleix el màxim històric des de que es tenen dades, amb 12,09 MWh/habitant. A partir del 2005 hi ha una reducció mitjana anual de -2%, assolint els 10,30 MWh/habitant l'any 2013.

Gràfic 8: Evolució del consum d'energia final a Barcelona 1992-2013



Font: Balanç energètic de Barcelona 2013, Ajuntament de Barcelona

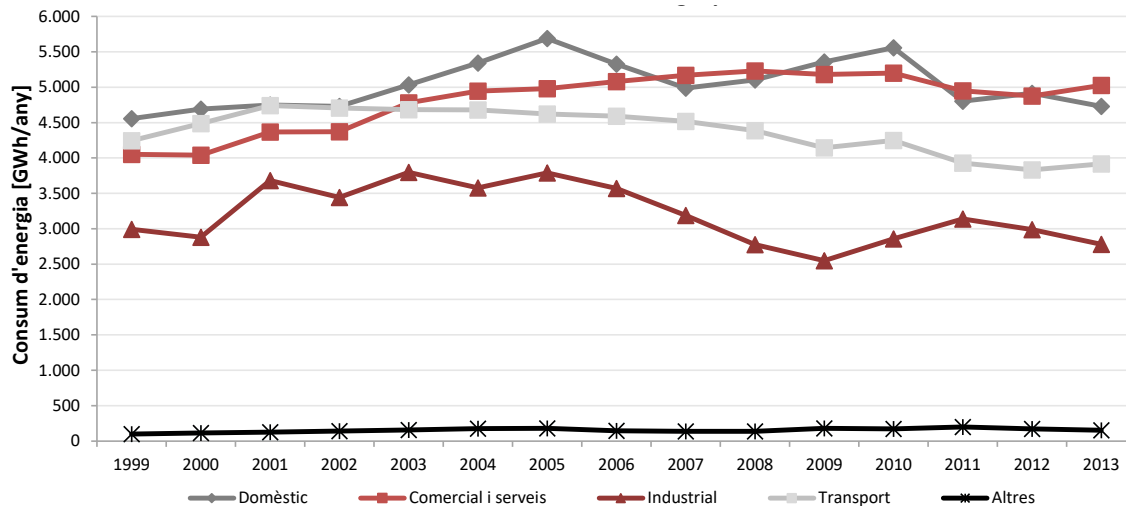
Com ja s'ha posat de manifest a l'apartat introductori, l'evolució de la població i de l'activitat econòmica condicionen fortament el comportament del consum energètic (veure gràfic 9) i, per tant, per a la interpretació de l'evolució del consum energètic cal tenir en compte com evolucionen aquestes variables socioeconòmiques.

La disminució del consum observada pot atribuir-se principalment a l'aturada de l'activitat econòmica, a un estancament de la població i a la millora de l'eficiència energètica que ha anat augmentant progressivament.

⁵ Al tractar-se de les dades més recents es considerarà l'any 2013 l'any de referència i el que servirà de base per les estimacions de futur.

La desagregació per sectors fa palès que les tendències observades varien segons el sector considerat. El domèstic i l'industrial són els sectors sotmesos a majors oscil·lacions mentre que el transport i el terciari segueixen una evolució amb una tendència més marcada, ja sigui a l'alça o a la baixa.

Gràfic 9: Evolució del consum d'energia per sectors a Barcelona



Font: Balanç energètic de Barcelona 2013, Ajuntament de Barcelona

En el cas del sector domèstic destaca el creixement de consum en el període 1999 – 2005, amb una taxa d'increment anual del 3,77% i la forta baixada entre 2005 i el 2007 que es recupera de nou al 2010. L'augment es pot atribuir al creixement de la densitat de població a la ciutat i l'augment de tecnologia dins les llars.

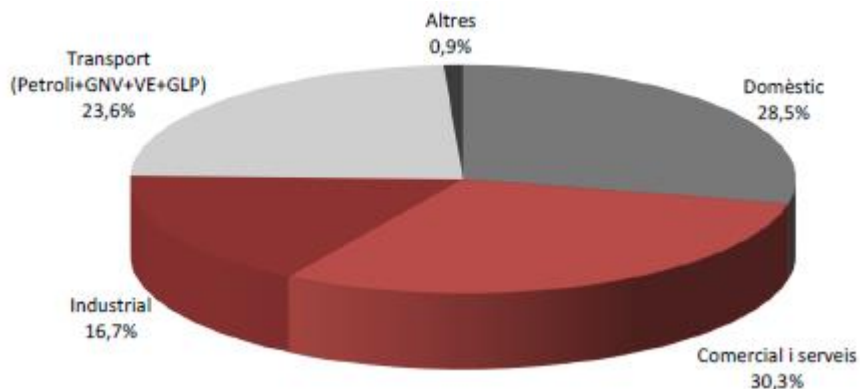
El sector industrial pateix un fort augment del consum d'energia anual del 10,9% fins al 2001, any a partir del qual el consum comença a disminuir progressivament. El consum de gas natural pel sector industrial roman força constant però el d'electricitat baixa. Es pot atribuir aquest descens a una millora de l'eficiència elèctrica del sector, a una optimització dels processos i a la davallada de l'activitat econòmica.

El sector terciari o serveis mostra un creixement de consum continuat fins l'any 2008 a partir del qual el consum disminueix progressivament fins l'any 2012. L'any 2013 s'experimenta un lleuger canvi de tendència a l'alça.

El sector del transport ha mantingut una tendència a la baixa en els últims anys que es pot atribuir a una incentivació del transport públic per part de l'administració, a fluctuacions del preu del combustible que havien tendit a l'alça durant molts anys i a una millora de generalitzada de l'eficiència del parc de vehicles, així com a una reducció de la mobilitat com a conseqüència de la crisi econòmica.

La distribució per sectors d'aquest consum s'adjunta a continuació. Es posa de manifest que l'energia es consumeix a parts iguals entre el residencial i el terciari (28,5% i 30,3%, respectivament) seguits del transport (23,6%) de la indústria (16,7%) i de la resta de sectors (primari, energètic, construcció i obres públiques).

Gràfic 10: Distribució del consum d'energia per sectors a Barcelona [16.609 GWh]

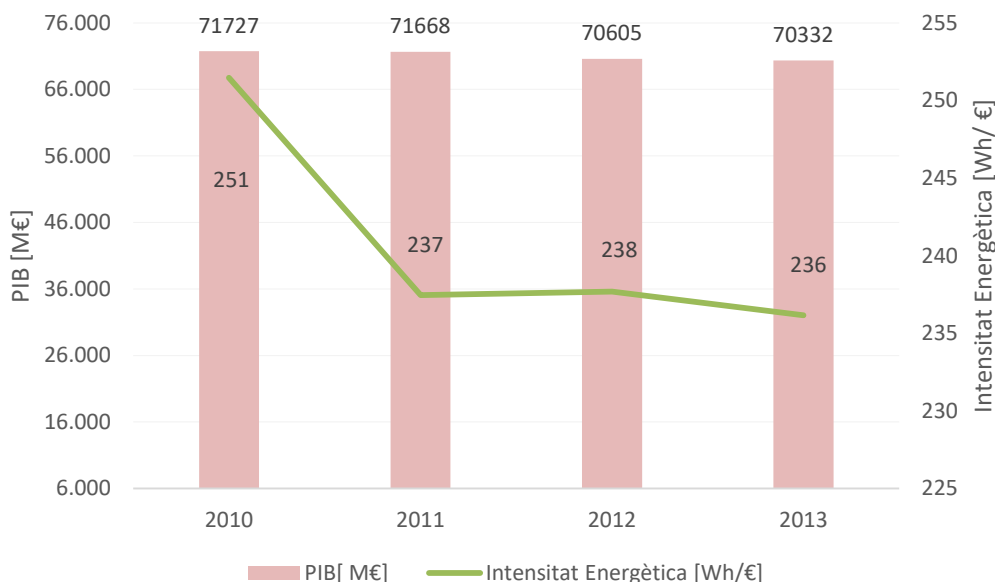


Font: Balanç energètic de Barcelona 2013, Ajuntament de Barcelona

La intensitat energètica és un altre indicador que ajuda a caracteritzar l'eficiència d'una economia i, en particular, la de Barcelona. Aquest indicador s'obté a partir de la relació entre el consum energètic i el producte interior brut i indica la quantitat d'energia necessària per generar una unitat de riquesa. Intensitats energètiques elevades s'associen a economies energèticament ineficients mentre que una disminució d'aquesta variable pot indicar economies capaces de generar riquesa consumint poca energia.

La intensitat energètica a Barcelona ha anat disminuint des de l'any 2003 però s'ha estancat en el període entre 2011 i 2013. En aquests períodes tant PIB com consum energètic s'han mantingut pràcticament invariants.

Gràfic 11: Evolució del PIB i de la intensitat energètica a Barcelona



Font: Barcelona Regional amb dades d'Estadística BCN i ICAEN

Com s'ha esmentat en els apartats anteriors es difícil establir la relació Clima-Energia en alguns consums energètics, com per exemple en el sector industrial i el transport. És per això que en aquest estudi ens centrarem en els que fan referència al sector residencial i terciari i en especial aquells que tenen a veure amb les demandes tèrmiques ja que són amb els que es poden establir unes relacions més directes amb els paràmetres climàtics,

especialment la temperatura, i sobre els que es podran realitzar projeccions de futur en funció dels escenaris climàtics que es preveuen pel canvi climàtic.

Si a l'apartat 1.2 es parlava dels factors que condicionen el consum energètic en genèric, sembla interessant particularitzar aquí alguns dels factors que condicionen el consum energètic en els sectors d'estudi: residencial i terciari.

El balanços energètics en els sectors residencial i terciari es determinen per efecte d'un conjunt de factors que es poden agrupar en 3 categories principals:

- **Estructura:** Com s'estructura la societat? Quina és la morfologia de les construccions que habitem? Quina és la seva dimensió? Amb quines tècniques constructives i amb quins materials s'han construït els nostres edificis?
- **Tecnologia:** Amb quines màquines complementem l'estructura? Quines són les seves funcions i la seva qualitat?
- **Consumidor:** Com utilitza l'ésser humà la tecnologia? Quins són els seus hàbits, normes i actituds enfront del consum energètic?

Com a punt de partida de qualsevol balanç energètic és necessari tenir caracteritzats amb detall els factors concrets que determinen el consum energètic.

Per tal d'analitzar com es distribueix el consum a la ciutat cal conèixer **el comportament energètic del edificis** i poder caracteritzar cada edifici d'acord amb la seva demanda tèrmica que es relaciona directament amb les característiques de la seva envolupant⁶. A l'apartat 2.1.1.1 es profunditzarà en les característiques energètiques del parc d'habitatges i edificis per altres usos de Barcelona.

També és precís conèixer **la tecnologia que utilitzen els edificis** de la ciutat. Els edificis es complementen amb tecnologies i equips que garanteixen l'accés als diferents serveis energètics. Si bé es pot assumir que la majoria dels edificis tenen instal·lat un sistema d'aigua calenta i calefacció, actualment són una minoria els que compten amb sistemes de refrigeració. Conèixer la irrupció tecnològica de certes tecnologies és clau per caracteritzar correctament els fluxos energètics. Conèixer l'eficiència dels equips que complementen la pell esdevé també un element clau.

Un altre factor important és **la tipologia de l'energia final** que s'utilitza perquè un mateix servei energètic pot proporcionar-se mitjançant sistemes que empen un vector energètic o un altre. Per exemple, la calefacció pot ser elèctrica, de gas o solar mentre que la refrigeració és fonamentalment elèctrica. Conèixer la distribució de tecnologies de cada tipus també és fonamental per quantificar l'origen de l'energia que es consumeix a la ciutat.

Les **normatives i la legislació** són elements clau que poden condicionar el consum de la ciutat. Les directives europees (*EPBD: Energy Performance of Buildings Directive*) manifesten una aposta per la contenció d'emissions de GEH, el consum energètic, l'eficiència i la generació d'energia a partir de fonts renovables.

⁶ L'envolupant tèrmica d'un edifici conté tots els espais interiors habitables d'un edifici i els separa de l'ambient exterior. Es compon dels tancaments opacs, horitzontals i verticals, els forats i dels ponts tèrmics.

A nivell de l'estat espanyol el CTE (Codi tècnic de l'edificació), el RITE (*Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*) transposen parcialment aquesta directiva⁷.

A nivell català, el Decret d'ecoeficiència (21/2006) i el Decret d'Habitabilitat (55/2009) inclouen alguns criteris en relació a sistemes constructius, adopció de criteris de sostenibilitat i estalvi energètic.

A nivell municipal, Barcelona ha mantingut un compromís amb el medi ambient i amb la sostenibilitat. Prova d'això és, per exemple, l'ordenança municipal Solar Tèrmica de 2002 i posteriors actualitzacions, on ha estat pionera.

Una part significativa del consum té a veure amb el **comportament social** dels usuaris vers l'ús de l'energia. En el marc del PECQ (2008) (capítol 12.8) es classificava els ciutadans de Barcelona en diferents categories segons els seus nivells de consum i la seva conscienciació mediambiental posant-se de manifest que menys del 30% dels ciutadans estan compromesos amb controlar els seus patrons de consum. En el marc del TICCC (capítol 23.3.1) i segons dades del Departament de Territori i sostenibilitat català es posava de manifest que només el 14% de la població catalana prenia mesures d'estalvi d'energia l'octubre de 2014 malgrat aquest valor fos del 23% el desembre de 2011. Malgrat aquestes dades, que posen de manifest que cal incentivar la conscienciació dels consumidors d'energia, noves iniciatives de col·laboració entre administració i ciutadania a nivell de ciutat com El Compromís Ciutadà per la Sostenibilitat (2012-2022) plasmen l'objectiu comú de fer de Barcelona una ciutat eficient, productiva i d'emissions 0 (objectiu 4), que fa un ús racional dels recursos (objectiu 5) i que pren responsabilitat planetària (objectiu 10).

Finalment l'elevada dependència energètica vers l'exterior genera que **el preu de l'energia** resti molt condicionat a incerteses geopolítiques derivades de la disponibilitat decreixent dels recursos fòssils dels quals a dia d'avui depèn el subministrament energètic de la ciutat. Aquesta dependència provoca que, en escenaris de reactivació econòmica, no es pugui garantir un subministrament energètic sensible a la pobresa energètica.

El balanç energètic queda definit com a conseqüència de les interrelacions que tenen lloc entre els factors enumerats. S'ha decidit desagregar el balanç per sectors per tal poder entendre amb major claredat els resultats globals obtinguts.

2.1.1 Balanç energètic al sector residencial

El sector residencial va consumir el 2013 4.731 GWh d'energia final, de la qual 2.061 GWh d'electricitat (44%), 2.516 GWh de gas natural (53%) i la resta de GLP.

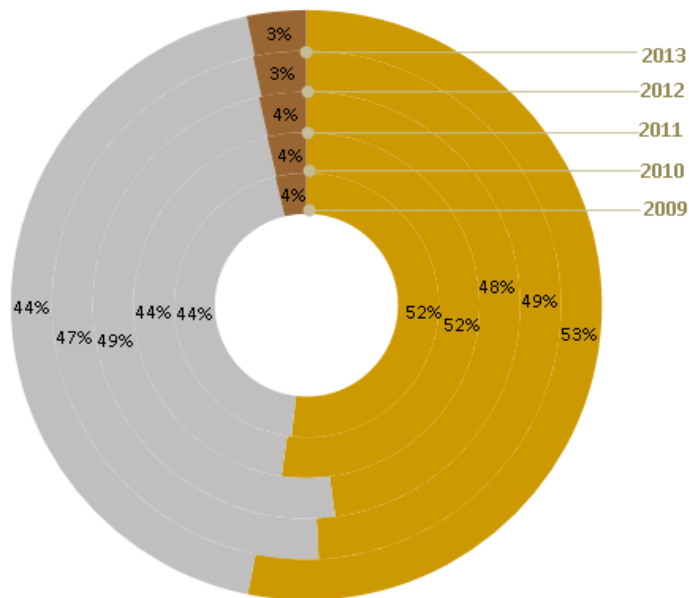
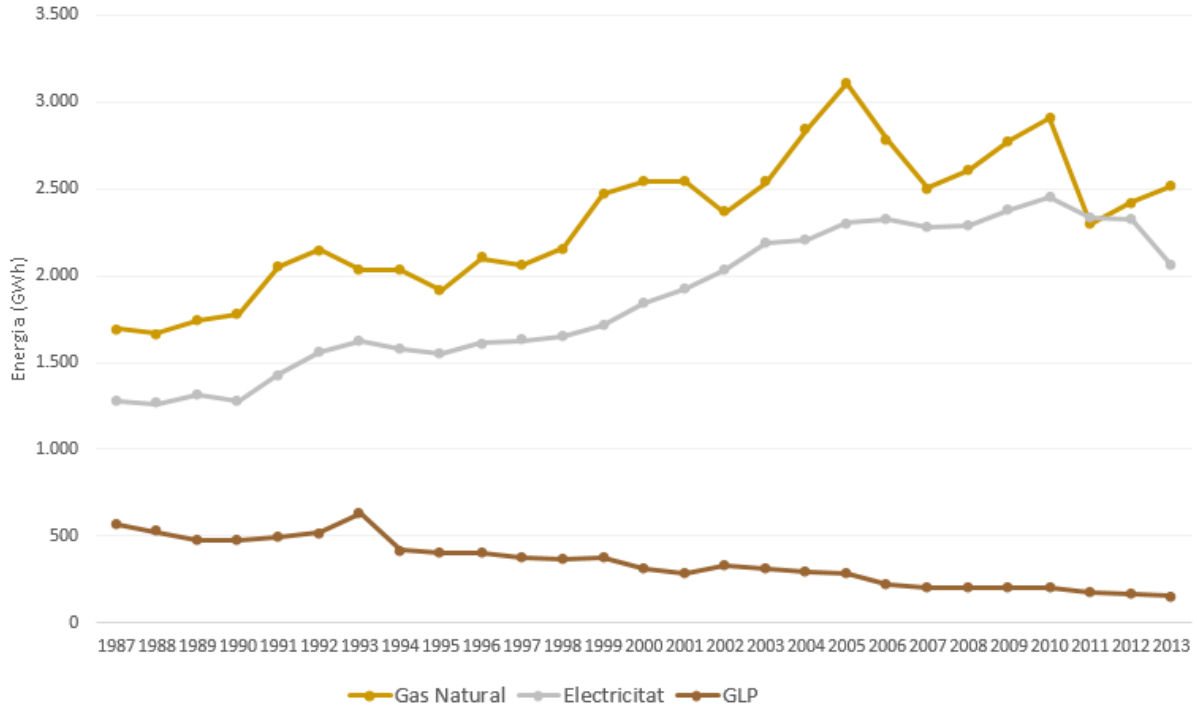
L'evolució del consum mostra una tendència a l'alça tant quant a consum de gas com d'electricitat i una tendència a la baixa pel que fa al consum de GLP. La fluctuació del consum de gas pot trobar la seva explicació en factors econòmics. El pic de 2010, no obstant, pot atribuir-se una any climàticament dur amb un hivern fred.

Pel que fa als valors relatius també és posa de manifest un descens del GLP mentre que la tendència de l'electricitat i del gas natural és més ambigua si es considera el període 2009-2013 (gràfic 12). Si s'agafa un abast temporal més ampli es verifica que l'any 2000 el pes

⁷ Encara queden pendent de fer algunes transposicions que haurien de garantir els objectius fixats pel 2018 i 2020 a la directiva europea.

del gas era del 54% mentre que el de l'electricitat era de 39%. El contrast amb les dades de 2013 posa de manifest una subtil tendència a l'electrificació del sistema energètic.

Gràfic 12: Evolució del consum energètic per font energètica al Sector Residencial



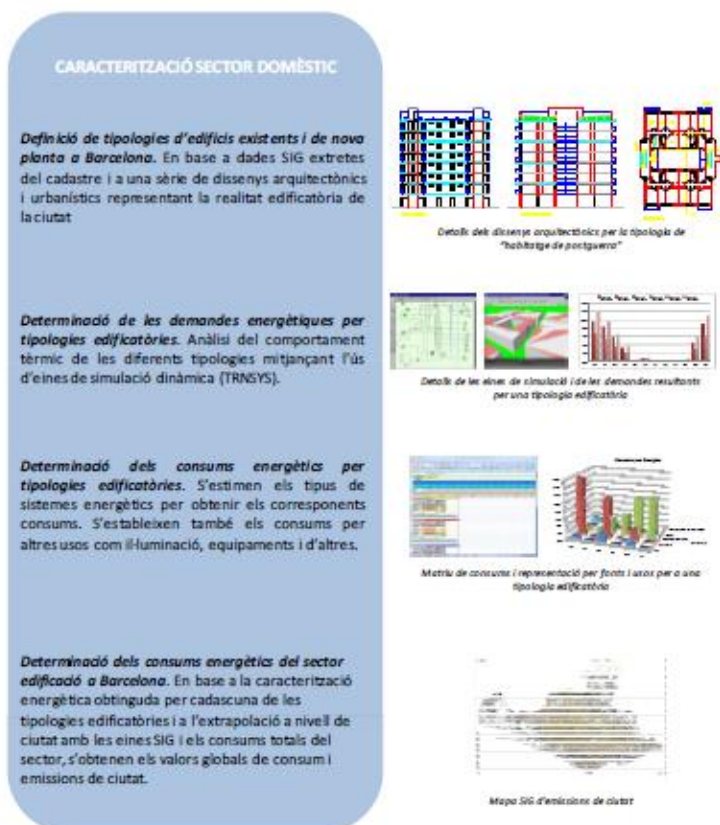
Font: Balanç energètic de Barcelona 2013, Ajuntament de Barcelona

Aquests consums energètics es desprenen de les dades facilitades per les companyies subministradores i per tant són valors reals, però aquests consums estan destinats a cobrir demandes energètiques per usos d'ACS, calefacció, refrigeració, il·luminació i altres. Però com es distribueixen aquests consums?

Al PMEB es va desenvolupar una metodologia que permetia realitzar una estimació d'aquests usos en funció de diferents paràmetres. Aquesta metodologia es va consolidar i

ampliar en el marc del PECQ i serveix de base pels diferents balanços que desenvolupa l'Observatori de l'Energia. A la següent imatge es mostra una síntesi d'aquesta metodologia.

Imatge 7: Metodologia per caracteritzar el consum energètic del sector residencial a Barcelona



Font: Pla de l'Energia, Canvi Climàtic i Qualitat de l'Aire (PECQ) de Barcelona, Ajuntament de Barcelona

En síntesi consisteix en la identificació d'unes tipologies edificatòries que es puguin assignar a la majoria dels edificis de la ciutat, desenvolupar una simulació energètica que determini el comportament tèrmic i energètic dels edificis de Barcelona per poder estimar quina és la seva demanda energètica. Aquesta demanda teòrica es corregeix a partir de diferents paràmetres com poden ser el grau de cobertura⁸ la tecnologia emprada per cobrir aquesta necessitat⁹ i s'obté el consum teòric que s'estima per ús. Finalment aquests consums es calibren per quadrar amb el balanç global de ciutat per cada tipus d'energia (electricitat, gas, etc.).

2.1.1.1 Caracterització del parc d'habitatges

La caracterització energètica dels habitatges de la ciutat es va realitzar en el marc del PMEB i ampliada amb el PECQ i va requerir d'una anàlisi històrica que expliqués l'evolució de les construccions a la ciutat i que ajudés a la seva classificació. Es van establir 5 períodes històrics que es configuraven com a punt de partida d'un estudi posterior que va permetre

⁸ Grau de cobertura: Factor que relaciona les necessitats energètiques teòriques (demanda) amb les necessitats energètiques reals (consum). Es determina a partir de variables com hores d'ocupació dels habitatges, els seus usos i el percentatge de superfície total construïda climatitzada

⁹ Tecnologia emprada: Indica el percentatge d'habitatges que han adoptat una determinada tecnologia.

una classificació en tipologies edificatòries. A continuació s'expliquen les principals característiques que destaquen a cadascun d'aquests períodes.

Primer Període (fins a mitjan s.XIX)

Al casc antic de la ciutat, una trama viària irregular de carrers estrets va generar edificacions de poca façana i gran profunditat. Construccions erigides a partir de murs de càrrega de fang i maçoneria irregular en origen, i de totxo massís a partir del segle XIX, els edificis del primer període tenen un comportament energètic deficient que no assegura una bona ventilació ni garanteix il·luminació natural abundant.

Tèrmicament, aquests habitatges són freds a l'hivern a causa de la manca de sol i aïllaments i fusteries de baixa qualitat.

Segon Període (mitjan s.XIX, Guerra Civil)

L'aprovació del Pla Cerdà provoca l'obertura de nous carrers de 20 metres d'amplada i la reparcel·lació dels terrenys agrícoles del Pla de Barcelona deriva en solars més grans que permeten construccions de major qualitat. Prolifera els habitatges amb doble orientació, provocant, al seu torn, millor ventilació i un assolellament alternatiu de les estances malgrat els mètodes constructius (murs de càrrega de totxo i bigues de fusta) no es modifiquin de forma significativa

El Pla Cerdà original aportava un element diferencial des del punt de vista energètic amb l'espai verd als interiors d'illa que podia proporcionar un microclima favorable durant les èpoques caloroses. Malauradament aquests espais s'han perdut a causa de la pressió urbanística.

Pel que fa al comportament energètic, l'amplitud dels carrers permet un bon assolellament i il·luminació de les estàncies en primera crugia. Els habitatges són temperats a l'hivern donat que sempre hi toca el sol a una de les dues façanes malgrat la manca d'aïllament específic pot ser causa de façanes fredes. A l'estiu, són habitatges frescos gràcies a l'efectiva ventilació i les proteccions solars. Els sostres alts, permeten l'estratificació tèrmica¹⁰ que millora l'habitabilitat a l'estiu malgrat dificultin la calefacció a l'hivern.

Tercer Període (postguerra- anys 70)

Urbanísticament, apareix la figura del polígon com a actuació i això provoca construccions en massa d'habitatges econòmics, petits i senzills. Es consolida l'estructura de formigó que substitueix mica en mica els murs de càrrega i s'alleugereixen els tancaments mitjançant la cambra d'aire. Es substitueixen els cels rasos per revoltos prefabricats.

Els habitatges esdevenen més petits i es constitueixen blocs de 4 habitatges per planta abandonant la doble orientació típica dels habitatges del segon període, impossibilitant-se així la ventilació creuada. Els patis no són prou amplis per assegurar la ventilació i l'orientació esdevé una variable molt més crítica a l'hora de determinar el comportament tèrmic dels habitatges. L'amplada dels carrers permet una il·luminació natural de les plantes

¹⁰ Estratificació Tèrmica: Fa referència al fenomen segons el qual l'aire de densitat variable segons la seva temperatura es distribueix del terra al sostre d'una estança. Les parts inferiors són les més fredes i les superiors les més càlides. Aquest fenomen ajuda a entendre per què els sostres alts són més comuns en construccions en climes càlids.

altes però els patis no són prou grans per assegurar-ne la de de les plantes inferiors. La manca d'aïllaments i una major superfície d'obertures motiva habitatges freds a l'hivern, excepte els que es mantenen ben assolellats. La mala ventilació, manca d'aïllament i la baixa efectivitat de les proteccions solars provoca habitatges calorosos a l'estiu.

Quart Període (1970-2000)

L'entrada en vigor d'un nou Pla general a mitjans dels 70 disminueix la densificació de la ciutat rebaixant les alçades reguladores, prohibint les remuntes, augmentant la grandària dels patis de parcel·la, limitant la profunditat edificatòria.

En aquest període apareix la primera norma tèrmica estatal (NBE-CT-79) que es centra únicament a promoure l'estalvi energètic respecte el consum de calefacció però les seves baixes exigències provoquen comportaments tèrmics minsos malgrat existeixi una creixent adopció de tecnologia constructiva (millors aïllaments i millors fusteries) que milloren l'habitabilitat dels habitatges.

A mitjan anys 80 les grans transformacions urbanes (obertura de les Rondes, el front marítim, el Poblenou i la Vila Olímpica) són causa d'adopció de nous paradigmes edificatius. S'estén la crugia petita, la doble orientació sense pati, la separació mitjançant envans de cartró-guix...

Tendències Actuals i Futures

Canvis sociològics donen lloc a transformacions en la morfologia dels habitatges i provoquen una demanda heterogènia d'habitatges tipològicament més diferenciats.

La creixent preocupació envers un ús racional de l'energia s'ha materialitzat a partir d'una sèrie de normatives europees (200/91CE), estatals (Codi Tècnic de l'Edificació, Reial Decret 314/2006), autonòmiques (Decret d'ecoeficiència 21/2006) i municipals (Ordenança Solar tèrmica) orientades a assegurar l'estalvi i l'eficiència energètica. Algunes de les mesures que s'hi contemplen s'orienten a regular les exigències de qualitat que han de complir els edificis, millorar les característiques constructives i aconseguir edificis que garanteixin un major aprofitament de l'energia ja sigui a través de la rehabilitació de l'envolupant (millora d'aïllaments, fusteries, control d'infiltracions) o bé mitjançant la millora i substitució dels equips tèrmics (eficiència de calderes, producció de ACS mitjançant solar tèrmica).

L'anàlisi de l'evolució constructiva dels edificis a la ciutat i altres paràmetres considerats permet classificar el parc d'habitatges en 9 tipologies.

Taula 4: Taula Resum de les tipologies edificatòries a Barcelona

TIPOLOGIA	Breu descripció	Època de construcció
H1 i H2	Habitatge en casc antic	Sobretot fins a final del segle ^{xx} , tot i que se'n poden trobar de més recents, a zones on la parcel·lació ho afavoria.
H3 i H4	Habitatge de pre-guerra (eixample)	Des del començament de l'expansió de Barcelona a l'eixample (mitjan segle ^{xx}) fins als anys 30.
H5 i H6	Habitatge de postguerra (desenvolupament i expansió en pol·lgons)	Des del període de reconstrucció de la postguerra (1940) fins al Tardo-Desarrollismo (1979)
H7	Habitatge post normes tèrmiques	Habitatge post normes tèrmiques
H8	Habitatge tendències anys 2000	Anys 2000-2007
H9	Habitatge post codi tècnic edificació	Edificis construïts segons normativa CTE

Font: Pla de l'Energia, Canvi Climàtic i Qualitat de l'Aire (PECQ) de Barcelona, Ajuntament de Barcelona

La superfície construïda residencial de Barcelona (63.833.034 m², 2014) es classifica per tipologies segons les seves característiques constructives.

L'anàlisi del PECQ distribuïa en tipologies un 89,4% del sostre residencial de la ciutat (56.133.904 m²) i deixava un 10,6% de superfície construïda residencial sense assignar ja que no es corresponia a cap de les tipologies definides. En el cas del balanç de ciutat aquesta no assignació no suposa cap problema ja que esdevé un factor que permet ajustar la calibració del model, i en el balanç final de ciutat queden inclosos.

El present estudi donat que l'interès no és tan obtenir un valor absolut de consum energètic sinó quina és la possible variació relativa respecte a la situació actual s'ha decidit assignar *tipologies* al conjunt dels habitatges utilitzant criteris basats en la informació cadastral considerant bàsicament l'any de construcció i d'una anàlisi estadística de la distribució de les tipologies a cada barri.

El resultat d'aquestes assignacions s'adjunta a la taula 5 i no provoca canvis substancials en relació a la distribució obtinguda al PECQ. La tipologia H6 és predominant a la ciutat i constitueix el 45% de la superfície residencial.

Taula 5: Distribució de tipologies edificatòries al Sector Residencial

TIPOLOGIA	m ² HABITATGES	% m ² HABITATGES
H1	6.561.807	10%
H2	896.606	1%
H3	8.421.168	13%
H4	320.014	1%
H5	5.683.697	9%
H6	28.747.268	45%
H7	8.156.783	13%
H8	3.218.049	5%
H9	1.827.642	3%
TOTAL	63.833.034	100%

Font: Barcelona Regional

2.1.1.2 Determinació de consums i demandes tipus

La modelització de les demandes i els consums tèrmics tipus per a cada tipologia constructiva i una posterior calibració a partir dels consums reals de la ciutat permet caracteritzar el consum per usos al sector residencial.

Per aquest estudi s'aprofita la caracterització energètica per tipologies duta a terme pel PECQ i es prenen les dades dels ratis de consum específic com a punt de partida.

Pel PECQ es van simular dinàmicament “edificis tipus” per a cadascuna de les tipologies edificatòries (tenint en compte diferents orientacions) i es van definir uns ratis de demanda tèrmica per tipologia. Amb aquesta dada es van poder determinar els consums específics.

Donat que les demandes energètiques dels habitatges sorgeixen d'un càlcul teòric, cal definir uns paràmetres que permetin transformar aquestes necessitats energètiques teòriques (demanda) en consum energètic.

A la introducció d'aquest apartat es determinaven els fluxos energètics a partir de tres elements: l'estructura o envolupant tèrmica, caracteritzada per la tipologia edificatòria; la tecnologia i l'usuari.

La demanda s'associa a la tipologia i l'ús (funcionalitat) però per obtenir el consum cal tenir en compte el paper de la tecnologia i del consumidor.

La transformació de la demanda en consum resta condicionada a 3 factors que cal caracteritzar adequadament dels quals els 2 primers es relacionen amb l'element tecnologia i l'últim amb l'element usuari. Els factors a caracteritzar són:

- **Els tipus de tecnologia:** principalment determina el tipus d'energia final que s'empra per cobrir les necessitats.
- **La qualitat de la tecnologia:** complementari al punt anterior i en aquest es fixa l'eficiència mitjana dels equips.
- **El grau de cobertura:** relació consum-demanda causada pel comportament dels usuaris amb la tecnologia disponible.

Tipus d'energia consumida segons tecnologia emprada

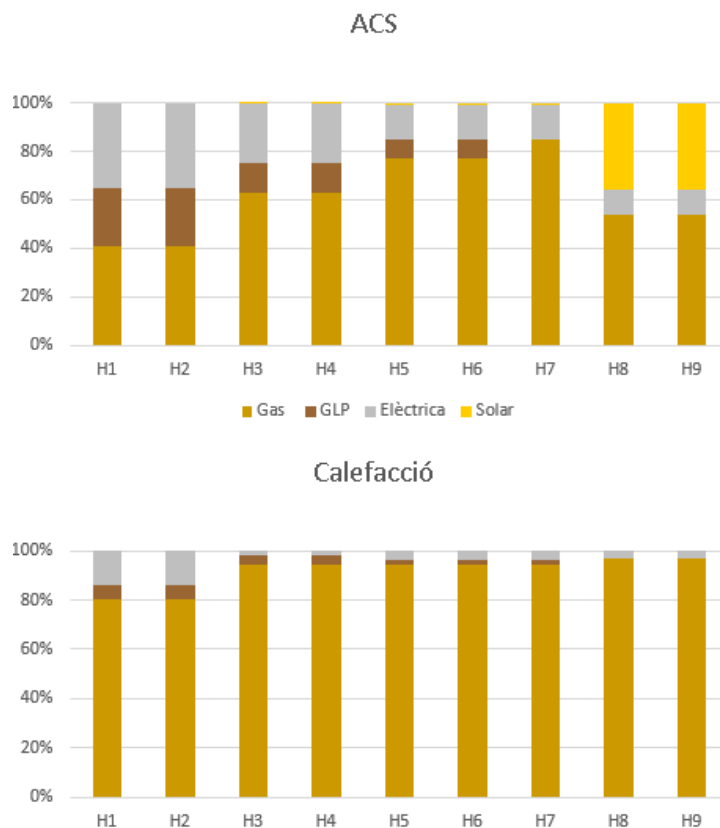
Per cobrir cada servei energètic, existeixen diferents tipus d'equips que es distribueixen en proporcions estimades en el marc del PECQ. Cada tecnologia pot tenir una certa variabilitat pel que fa a la seva penetració que es va actualitzant a cada balanç anual en funció de les tendències del mercat i dels consums que es produeixen al global de la ciutat. En aquest cas s'utilitza l'estandardització desenvolupada en el marc del balanç energètic de 2013.

Per l'ACS el balanç defineix 4 tipus d'equips: calderes de gas, calderes de GLP, escalfadors elèctrics i solar tèrmica. Anàlogament, els equips per serveis de calefacció s'han classificat en 3 tipus: calefacció de gas, de GLP i elèctrica.

Pel que fa a la refrigeració s'assumeix que tota es cobreix mitjançant tecnologia elèctrica. Només es considera la refrigeració associada a equips d'aire condicionat.

A continuació es presenten els valors referents a la distribució de cada tipus de tecnologia a la ciutat quant a l'ús energètic d'ACS i calefacció¹¹ que s'han utilitzat:

Gràfic 13: Distribució de tecnologies de calefacció i ACS per a cada tipologia edificatòria



Font: Balanç energètic de Barcelona 2013, Ajuntament de Barcelona

S'observa que tant per cobrir la demanda d'ACS com de calefacció s'utilitzen equips que funcionen amb gas natural. La proporció d'ACS i calefacció elèctrica és major a les

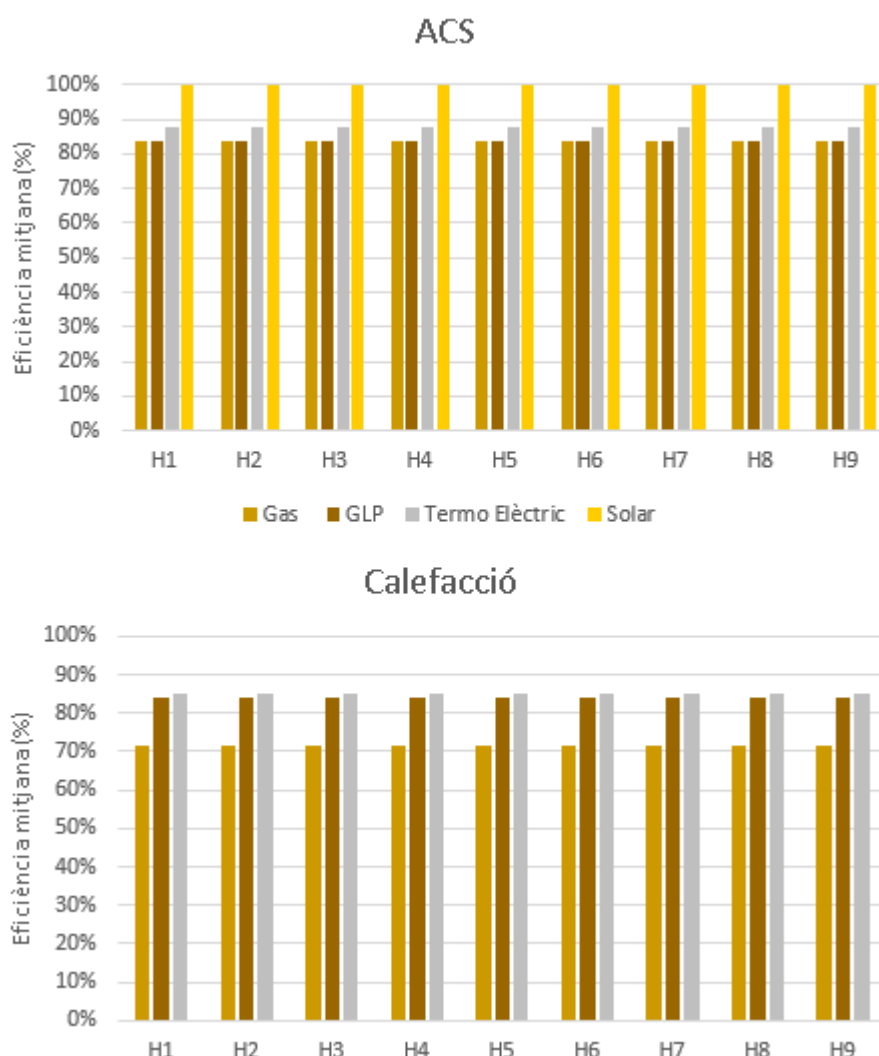
¹¹ El de refrigeració s'omet donat que s'assumeix tota la refrigeració elèctrica independentment de la tipologia utilitzada.

tipologies antigues. Pel que fa a la solar, l'ordenança solar tèrmica de 2006 provoca majors fraccions d'irrupció de la solar tèrmica a les tipologies noves.

Eficiència

L'eficiència de cadascuna de les tecnologies esdevé un factor cabdal per transformar la demanda teòrica coberta en consum real. A la realitat hi ha molta variabilitat d'eficiència per una mateixa família de tecnologies, i a banda l'eficiència pot variar en un mateix equip en funció del règim de funcionament. Per resoldre aquesta variabilitat s'estableixen uns valors mitjos estacionals per a cadascuna de les tipologies considerades. El gràfic següent conté els valors utilitzats d'eficiències considerades per a de cada tecnologia i per cada ús, i que corresponen als establerts al PECQ.

Gràfic 14: Eficiència de les tecnologies per ús i tipologia



Font: Balanç Energètic de Barcelona 2013, Ajuntament de Barcelona

Com s'aprecia a les gràfiques anteriors, les dades del balanç determinen una eficiència tipus que resulta ser específica segons ús i servei però independent de la tipologia edificatòria considerada.

Grau de cobertura

El **grau de cobertura** és un factor de correcció de la demanda orientat al comportament de l'usuari. Els consumidors decideixen adoptar la tecnologia que els ofereix certes comoditats i un cop tenen aquesta tecnologia en fan un ús més o menys intensiu.

Quan hom climatitza un habitatge, potser no ho fa a totes les seves estances i no tots durant les mateixes hores i els consumidors d'energia utilitzen la seva caldera/equip d'AC de la mateixa manera, o potser, no tots els habitatges disposen d'equips per garantir aquesta demanda. A un habitatge on l'usuari estableixi un nivell de confort alt és possible que s'encengui la calefacció més sovint que a un habitatge on aquests comportaments siguin menys exigents¹² malgrat la demanda tèrmica sigui la mateixa. Els habitatges no s'ocupen de la mateixa manera i, per tant, hi ha hores durant les quals, malgrat existeixi demanda per assegurar les condicions de confort, no hi ha consum donat que no s'utilitza energia per satisfer aquesta demanda.

Un bon punt de partida per determinar el grau de cobertura dels edificis de la ciutat pot ser l'anàlisi de la irrupció de les diferents tecnologies energètiques als habitatges.

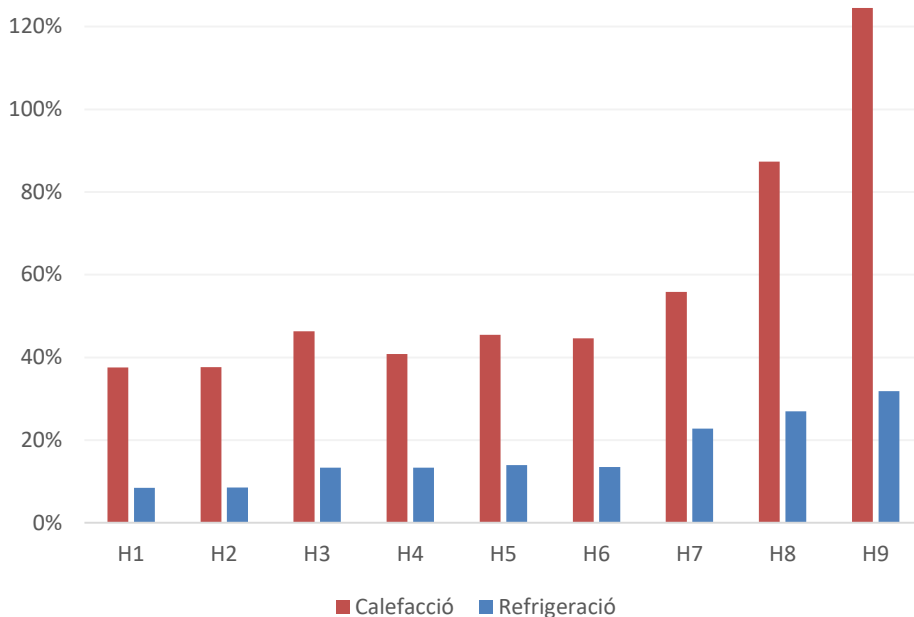
En el cas de l'ACS i la calefacció es pot assumir, no lliures d'error, que la majoria dels habitatges compten tant amb equips d'ACS (caldera, escalfador elèctric o instal·lació de solar tèrmica) com amb equips per calefacció (caldera o calefacció elèctrica...) mentre que pel cas d'aire condicionat el grau d'implantació és substancialment inferior al 100%.

Existeixen poques dades relatives a la quantitat d'equips d'aire condicionat a la ciutat. El cens de 2011 ja no inclou dades referents a equips d'aire condicionat i les últimes dades de què es disposa s'obtenen del cens de 2001 del qual se n'extreu que de 594.452 habitatges l'any 2001, 123.547 comptaven amb un equip de refrigeració constituint aquests un 26% del total. A efectes de millorar la precisió dels càlculs en el futur caldrà garantir que es monitoritza l'evolució del parc d'equips d'aire condicionat a la ciutat. Malgrat aquestes constatacions l'anàlisi del simulador del balanç energètic de la ciutat elaborat pel PECQ estima uns valors de grau de cobertura específics per ús i per tipologia que s'utilitzaran com a base per aquest estudi. Els valors de grau de cobertura s'expressen en percentatge i indiquen quina proporció de la demanda teòrica es cobreix, és a dir, es transforma en consum.

D'aquesta manera, un percentatge inferior al 100% indica que les necessitats teòriques de confort no es cobreixen mentre que un valor superior al 100% indica que el consum real excedeix les necessitats teòriques de l'edifici. El gràfics següents contenen la relació de graus de cobertura per als usos de calefacció i refrigeració que s'han utilitzat per al càlcul:

¹² En aquest factor també entren en joc aspectes com la renda i la disponibilitat de recursos per fer front a les factures energètiques. Poden haver habitatges que no cobreixin uns nivells mínims de confort.

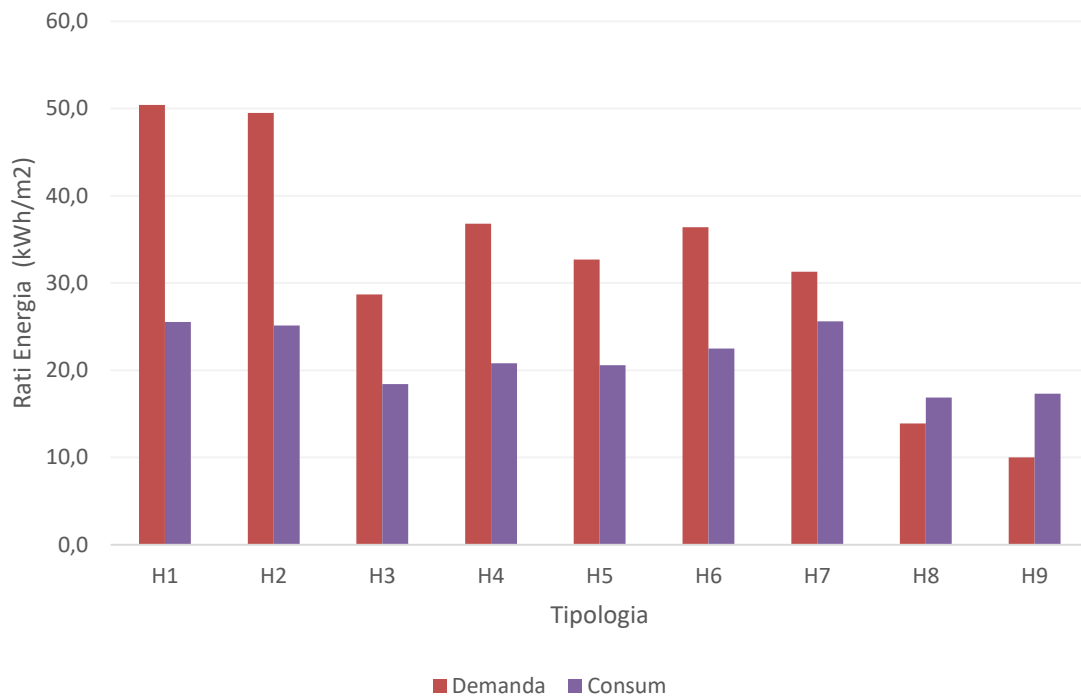
Gràfic 15: Grau de cobertura de calefacció i de refrigeració segons tipologia edificatòria



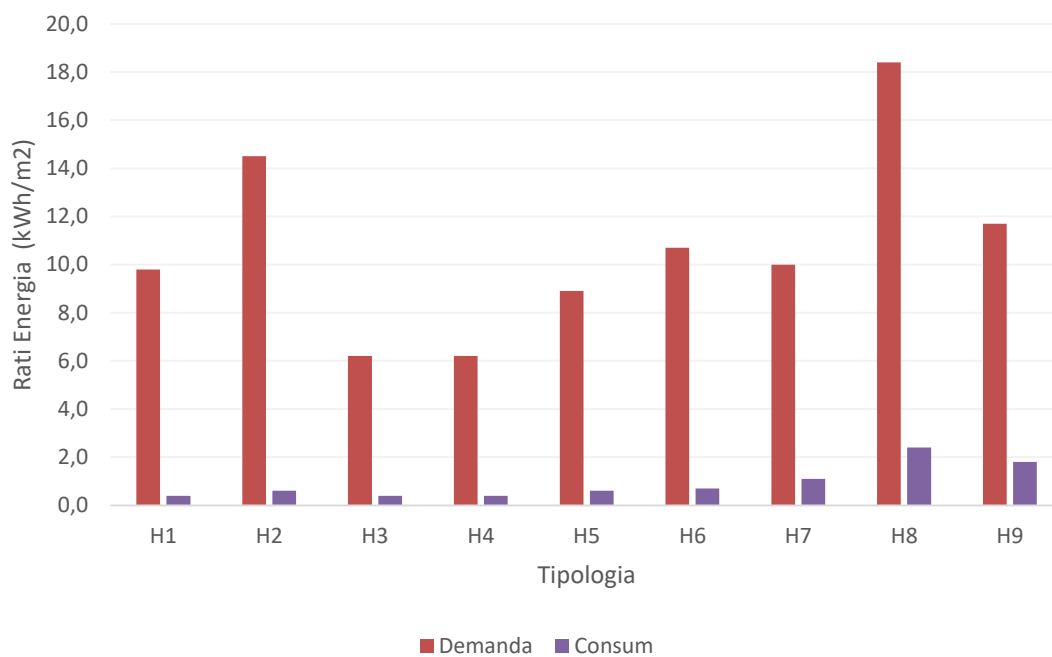
Font: Barcelona Regional a partir de les dades del Balanç Energètic del PECQ, Ajuntament de Barcelona

De la taula anterior es verifica que els edificis de tipologia antiga tenen graus de cobertura inferiors que els de tipologia nova i que els factors de cobertura són majors pel servei de calefacció.

La combinació dels tres factors presentats anteriorment (distribució tecnològica, eficiència i grau de cobertura) permeten corregir la demanda i transformar-la en consum. Un cop definits i caracteritzats els factors que determinen aquesta conversió es presenten els ratis específics per ús i tipologia base que s'han utilitzat per al càlcul. Els valors utilitzats pels diferents usos (calefacció, refrigeració i ACS) s'expressen en unitats d'energia per unitat de superfície construïda residencial (kWh/m²) i s'annexen a les gràfiques següents:

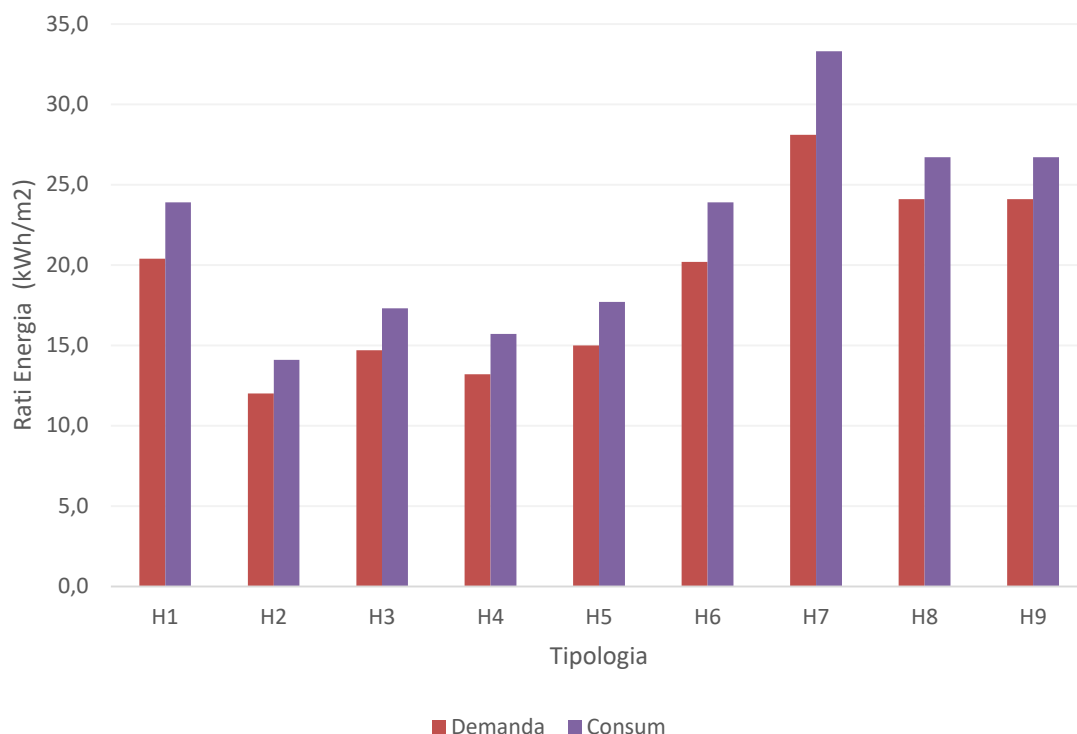
Gràfic 16: Ratis de demanda i consum energètic per calefacció (kWh/m²) per tipologia edificatòria

Font: Balanç Energètic de Barcelona 2013, Ajuntament de Barcelona

Gràfic 17: Ratis de demanda i consum energètic per refrigeració (kWh/m²) per tipologia edificatòria

Font: Balanç Energètic de Barcelona 2013, Ajuntament de Barcelona

Gràfic 18: Ratis de Consum energètic per ACS (kWh/m²) per tipologia edificatòria



Font: Balanç Energètic de Barcelona 2013, Ajuntament de Barcelona

Els valors de referència que s'utilitzen s'extreuen del PECQ però en el cas de l'ACS, a més de conèixer els ratis de consum expressats en kWh/m², interessa poder donar una equivalència en volum d'aigua calenta a aquests ratis. Aquesta equivalència és important perquè permet incorporar la influència que la temperatura de la xarxa de distribució d'aigua i de l'ambient tenen sobre el consum d'energia per aigua calenta.

Per fer-ho s'ha partit del rati d'ACS que determina el PECQ i el balanç energètic de Barcelona 2013 que s'ha transformat¹³ a uns valors equivalents de volum d'aigua per càpita que ha resultat ser de 39 litres per persona i dia.

El volum d'aigua permet dur a terme estimacions que contemplin les diferències de comportament dels habitants de Barcelona quant a l'ús d'aigua calenta a l'estiu i a l'hivern.

Diversos estudis¹⁴ han intentat quantificar la influència de l'època de l'any sobre el consum d'ACS a diferents àrees geogràfiques i els seus resultats han conclòs, a grans trets, que com es podria esperar la demanda i el consum d'ACS no són uniformes al cap de l'any i que durant els mesos estivals es tendeix a una menor demanda d'ACS.

L'evolució anual del consum d'ACS residencial a la ciutat estimada s'adjunta a la següent taula:

¹³ A partir de correlacions entre Temperatura ambient i Consum d'ACS amb dades d'un cas pràctic de monitorització de consum d'ACS residencial durant 18 mesos per una mostra d'habitatges a Alcalá de Henares obtingut de l'estudi *A New System to Estimate and Reduce Electrical Energy Consumption of Domestic Hot Water in Spain (2014)*

¹⁴ Parker,2003; Gerin et al.,2014; Papakostas et al.,1995; Gutiérrez-Escolar, 2014

Taula 6: Desviació mensual del Consum d'ACS en relació a la mitjana anual

Mes	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Des
Distribució Consum ACS	126%	124%	113%	103%	92%	83%	78%	77%	83%	91%	108%	122%

Font: Barcelona Regional

Una vegada coneguda la distribució mensual de la demanda volumètrica, es pot tornar a transformar a valors d'energia a partir de la temperatura de xarxa d'aigua.

Per les temperatures ambient s'han utilitzat les dades obtingudes de l'estudi del Servei Meteorològic de Catalunya **Generació d'escenaris climàtics regionalitzats a molt alta resolució per a l'AMB, ESAMB Fase II** del que ja s'ha parlat anteriorment corresponents al període 1971-2000.

Pel que fa a la temperatura de la xarxa, la manca d'accés a dades de companyia ha provocat que s'utilitzessin dades incloses a l'Ordenança Solar Tèrmica de Barcelona (OST, Gener 2006), on s'adjuntava una taula corresponent a les temperatures de xarxa d'aigua.

Les dades que s'han utilitzat es relacionen a la següent taula:

Taula 7: Temperatura ambient mitjana i Temperatura mitjana de xarxa d'aigua a Barcelona

Mes	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Des
T _{ambient}	10,7	10,9	13	15,2	18	23	25	25	22,3	19	14,1	11,2
T _{xarxa}	10,3	10,7	12,4	14,2	17	19	21	22	21,5	19	15	11,7

Font: SMC, OST Barcelona

2.1.1.3 Determinació de consums i demandes agregades del sector residencial a la ciutat

La caracterització energètica obtinguda per a cadascuna de les tipologies edificatòries conjuntament amb la distribució de les tipologies a la ciutat permeten extrapolar, amb ajuda d'eines SIG (Sistemes d'Informació Geogràfica) les demandes i consums totals del sector residencial a nivell ciutat.

Els resultats de l'aproximació territorial es realitzen gràcies a les dades que s'extreuen dels balanços d'energia de ciutat i les bases de dades de cadastre que permeten distribuir aquestes dades energètiques sobre el territori.

El resultat d'aquesta extrapolar a nivell ciutat eleva el consum del sector residencial a la ciutat pels usos d'ACS, calefacció i refrigeració a un valor de 2.848 GWh.

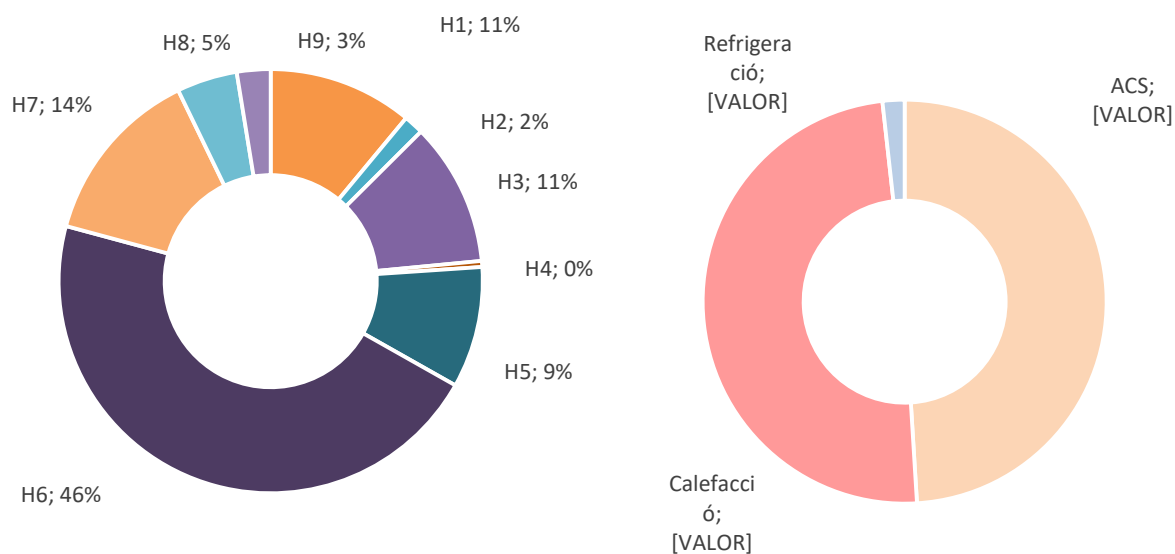
La distribució del consum es concentra principalment en la tipologia H6 (que és també la majoritària en superfície) amb un 46% del total seguida, amb un valor significativament inferior, de l'H7 (14%). Les tipologies H2 i H4 són minoritàries amb un pes sobre el consum d'un 1,5% i 0,5% respectivament.

La distribució per usos posa de manifest que l'energia per usos tèrmic s'utilitza aproximadament a parts iguals per calefacció i ACS constituint aquests 2 usos el 98% del total. La fracció de consum destinada a ús de refrigeració és molt petita en relació als usos majoritaris i constitueix aproximadament un 2% del total. Malgrat tot, la tendència que es

verifica és que per les tipologies noves, la proporció de l'edificació que incorpora equips de refrigeració és major que per les tipologies velles¹⁵. Una ullada al grau de cobertura de refrigeració que s'observa a la gràfica 15 remarca, d'igual manera, que les tipologies noves (H8 i H9) tenen una cobertura de refrigeració substancialment més gran que les antigues.

Pel que fa a la calefacció, també sembla que les noves tipologies tenen un major grau de cobertura que en el cas com manifesta al gràfic 15 que en el cas de les tipologies H8 i H9 supera la demanda teòrica per cobrir les seves necessitats de calefacció.

Gràfic 19: Distribució del consum energètic del sector residencial per tipologia i per ús (2.848 GWh)

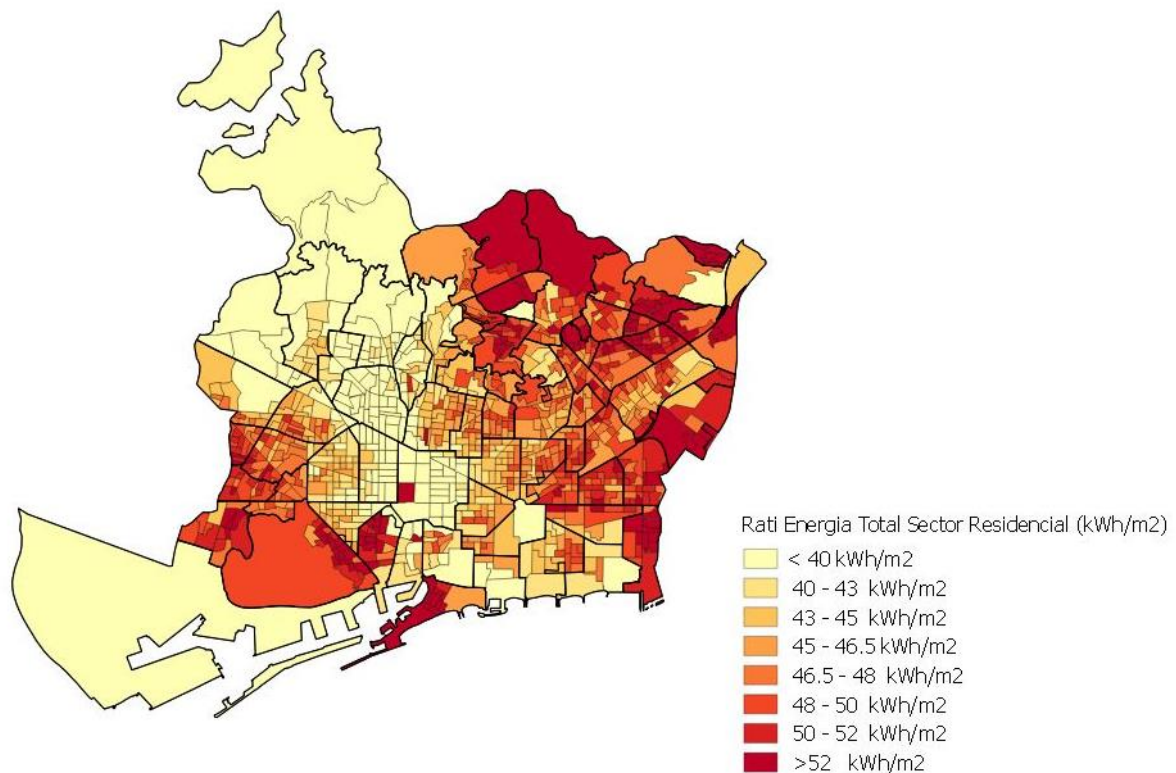


Font: Barcelona Regional

L'anàlisi regionalitzada a Barcelona s'ha dut a terme a resolució de secció censal. Les seccions censals es representen amb un gruix de línia més estret mentre que les delimitacions marcades en negre gruixut representen els barris. Per fer més entenedor l'anàlisi, s'intenten extreure conclusions per barris. Els mapes es representen a les imatges 8 i 9.

¹⁵ Segons l'estudi Estudi de caracterització del parc existent d'edificis d'habitatge de Catalunya. Definició de les tipologies més representatives, així com els paquets de mesures òptimes per a la millora de l'eficiència energètica amb la seva avaluació econòmica, (AHC i ERF, 2014- Projecte MARIE) la proporció d'habitatges amb aire condicionat construïts després de 1991 doblaria la proporció d'aquells construïts abans de 1950 a nivell català.

Imatge 8: Distribució del rati de consum energètic per unitat de superfície del sector residencial per secció censal (2.848 GWh)



Font: Barcelona Regional

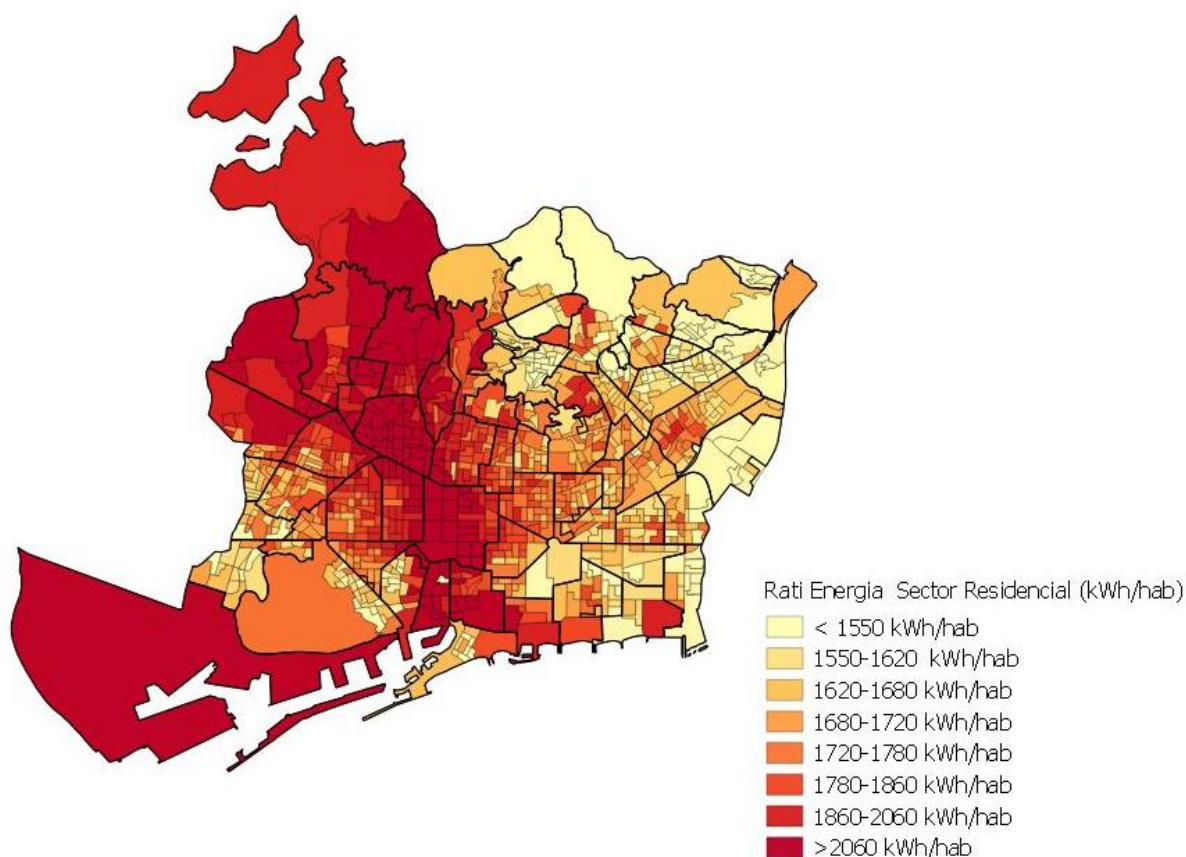
La distribució del consum energètic per m² construït residencial a la ciutat oscil·la entre uns 30 kWh/m² i uns 70 kWh/m² segons la secció censal considerada. S'observa que els barris del districte de Sarrià (Sarrià, Tres Torres, Sant Gervasi, El Putxet, Vallvidrera i Tibidabo), La Marina del Prat Vermell a Sants- Montjuïc i certes àrees de l'Eixample (Dreta de l'eixample) tenen, en general, ratis per m² baixos.

A barris com el Bon Pastor a Sant Andreu; el Verdum, Les Roquetes, la Trinitat nova, Can Peguera i el Turó de la Peira a Nou Barris; el Carmel, la Vall d'Hebrón i algunes zones d'Horta i Montbau a Horta-Guinardó i La Verneda i la Pau, el Besòs a Sant Martí els ratis energètics són molt elevats.

Altres barris on es poden trobar zones amb ratis grans són la Bordeta, Badal, el Poble Sec, el Raval o la Barceloneta.

El mapa posa de manifest que els valors més extrems s'identifiquen al barri de Besòs i Maresme, en particular a les seccions censals que es troben a la zona de Besòs Mar.

Imatge 9: Distribució del rati de consum energètic per habitant del sector residencial per secció censal (2.848 GWh)



Font: Barcelona Regional

Pel que fa als ratis per habitant s'observa un canvi important en els resultats en relació als obtinguts per m². El rang de les dades de consum per habitant és molt ampli i oscil·la entre uns 1.300 kWh/habitant fins als 3.500 kWh segons la secció censal considerada. Aquesta diferència és força important donat que indica que hi ha seccions censals on els habitants consumeixen de l'ordre de dues vegades i mitja més que a altres seccions censals.

Els ratis energètics més grans es troben a barris com Pedralbes a les Corts, Sant Gervasi, el Putxet i Tres Torres a Sarrià, a la dreta i l'esquerra de l'Eixample i al Gòtic a Ciutat Vella.

Els resultats més extrems s'obtenen per certes zones de Pedralbes i els entorns de Plaça Catalunya posant-se de manifest una possible correlació entre nivell de renda i consum d'energia.

Com a conclusió dels anàlisis per separat es pot concloure que els resultats consum per m² estan penalitzant aquelles zones on s'hi manifesta una alta densitat poblacional i concentració de tipologies constructives amb un pitjor comportament energètic, provocant ratis majors en aquestes zones.

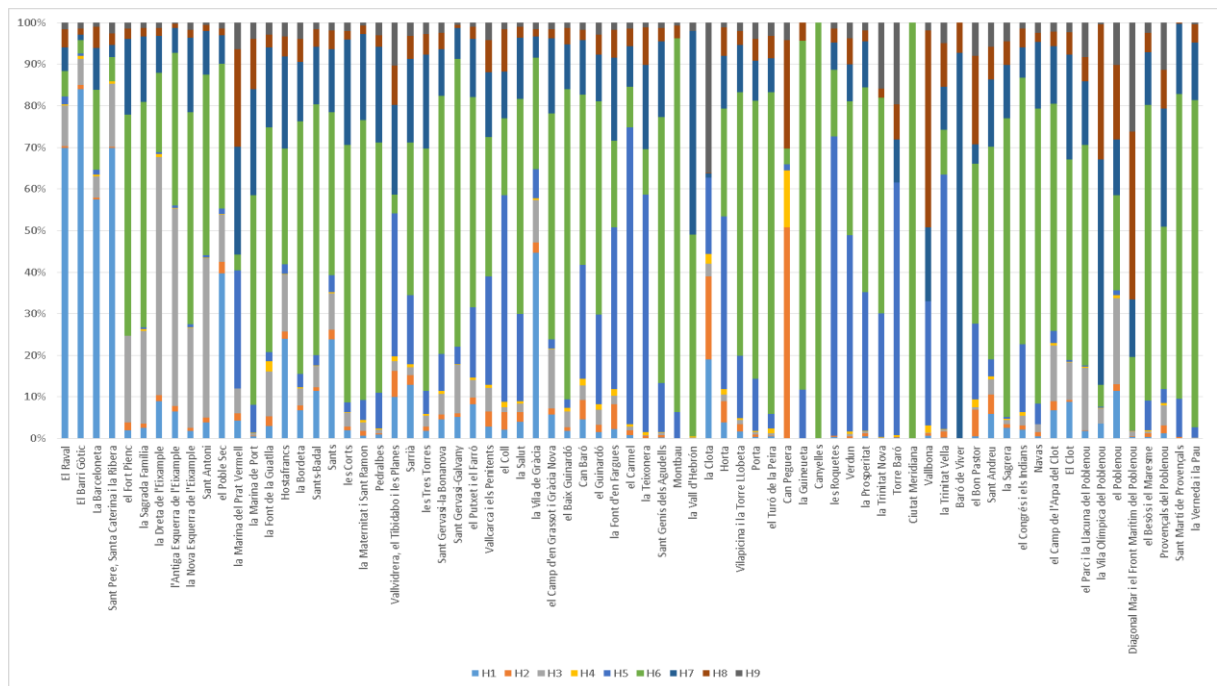
L'anàlisi de consum energètic per habitant, d'altra banda, posa de manifest que els valors més extrems s'obtenen a zones on l'ocupació per m² d'habitatge és baixa i on la renda és alta.

Les dades de partida, el ratis per tipologia constructiva no permeten valorar aspectes relacionats amb el comportament dels ciutadans i les possibles diferències ja que el resultat és homogeni per a cada tipologia independentment de la ubicació i dels aspectes socio-econòmics.

Per tant, l'origen de les diferències entre barris i seccions censals s'explica sobretot com a conseqüència dels valors que prenen certes variables urbanístiques com l'ocupació per m² d'habitatge, la dimensió mitjana per habitatge i la distribució geogràfica de les diferents tipologies constructives.

Com a anàlisi complementari, s'adjunta, a continuació, la distribució del consum energètic segons tipologia constructiva i barri a la ciutat. Els resultats resten força condicionats a la configuració dels teixits urbans, és a dir, que el % de consum associable a una determinada tipologia correspon aproximadament al % de superfície d'aquella tipologia respecte del total de superfície residencial del barri.

Gràfic 20: Distribució del consum energètic del sector residencial per tipologia i barri (2.848 GWh)



Font: Barcelona Regional

2.1.2 Balanç energètic al sector terciari

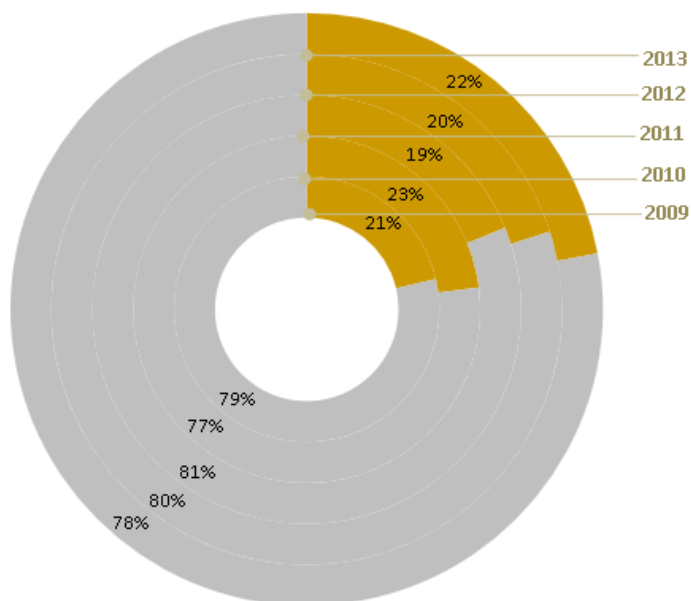
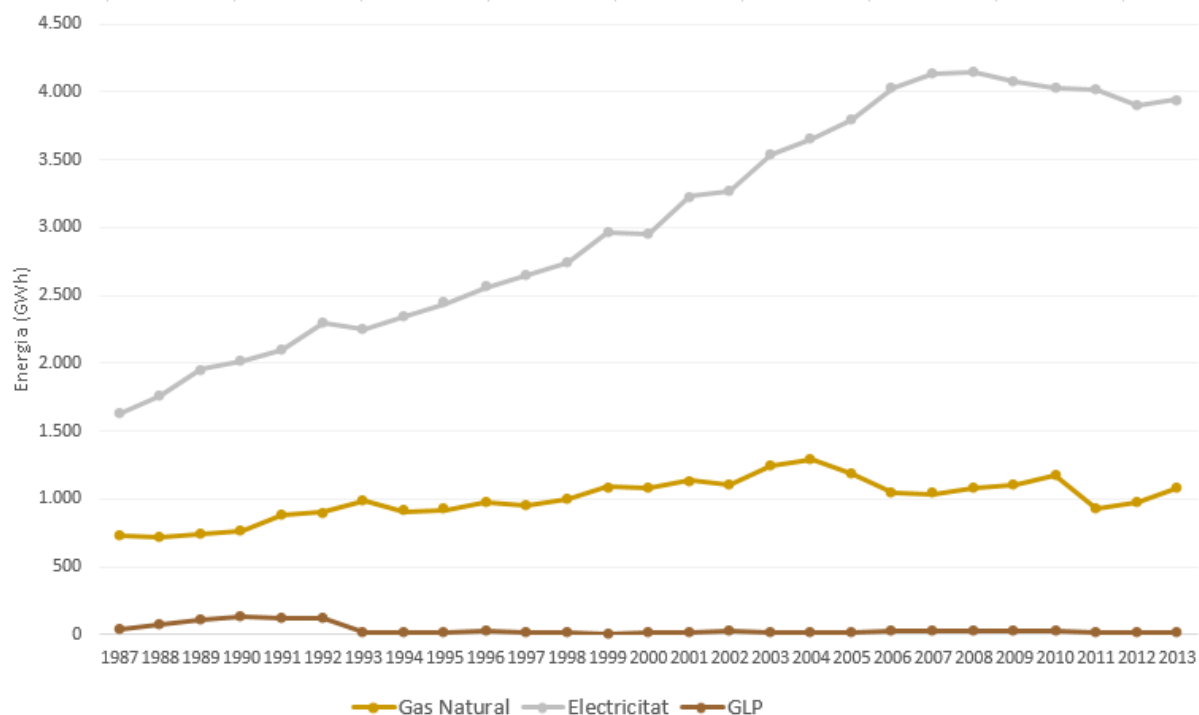
El sector terciari va consumir el 2013 5.026 GWh d'energia final, de la qual 3.943 GWh d'electricitat (78%), 1.083 GWh de gas natural (21,5 %) i la resta de GLP.

L'evolució del consum mostra una tendència a l'alça sostinguda en el consum d'electricitat entre l'any 1987 i 2008 que s'ha invertit en els últims anys (2008-2013) on es manifesta una tendència a la baixa probablement a causa de l'aturada de l'activitat econòmica. Pel que fa al consum de gas, es pot corroborar una evolució oscil·lant des de 1987 malgrat es

manifesta una lleugera tendència a l'alça en els últims anys (2011-2013). El consum de de GLP és pràcticament nul.

Pel que fa als valors relatius, els últims anys s'ha mantingut un relació fluctuant al voltant d'una repartició modal de 80% en electricitat i del 20% de gas natural. La tendència entre 2011 i 2013 és d'un lleuger increment de la fracció del vector energètic de gas.

Gràfic 21: Evolució del consum energètic per font energètica al sector terciari



Font: Barcelona Regional amb dades del balanç energètic de Barcelona de 2013, Ajuntament de Barcelona

El sector terciari es constitueix de tot un seguit de subsectors: oficines, comerços, edificis municipals, museus, hotels, restaurants, centres de salut i hospitals, equipaments esportius

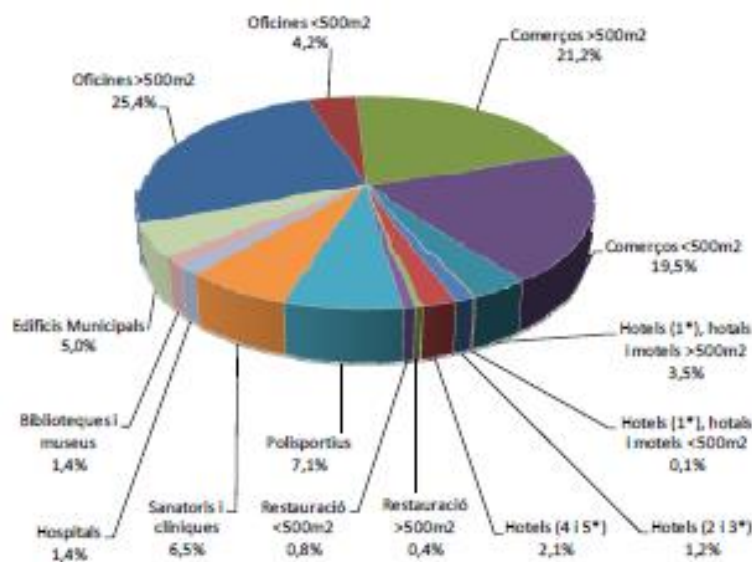
etc. dels quals cal comptar amb dades desagregades per tal de radiografiar els fluxos energètics per cadascun d'ells.

Per manca de disponibilitat de dades més desagregades no s'han pogut estudiar, en el present estudi, la totalitat de subsectors del terciari de la ciutat. En particular, no es disposava de dades relatives al consum tipus dels grans equipaments: biblioteques, museus, hospitals i edificis municipals. El coneixement d'aquestes dades permetria dur a terme noves estimacions tenint en compte la totalitat dels subsectors terciaris de la ciutat.

2.1.2.1 Caracterització del sostre terciari

El sostre terciari l'any 2007 es distribuïa segons la gràfic 22:

Gràfic 22: Distribució d'usos de la superfície de sostre al sector terciari l'any 2007 (20.141.305 m²)



Font: Pla de l'Energia, Canvi Climàtic i Qualitat de l'Aire (PECQ) de Barcelona, Ajuntament de Barcelona

Assumint una distribució per subsectors com la de l'any 2007, el percentatge de sostre terciari no contemplat al present capítol és d'un 14,3% desagregat en edificis municipals (5%), Hospitals (1,4%), Sanatoris i Clíniques (6,5%) i biblioteques i museus (1,4%).

Per aquest treball es tindran en compte el sector comercial (**CO**), el sector d'oficines (**OF**), el sector hotelier (**HO**), el sector restauració (**RE**) i el sector esportiu (**ES**) que representen el 85,7% de la superfície de sostre terciari de la ciutat.

La superfície de terciari considerada al PECQ s'ha actualitzat en base a la informació cadastral de 2013, i pels sectors considerats. Els resultats obtinguts es presenten a la següent taula.

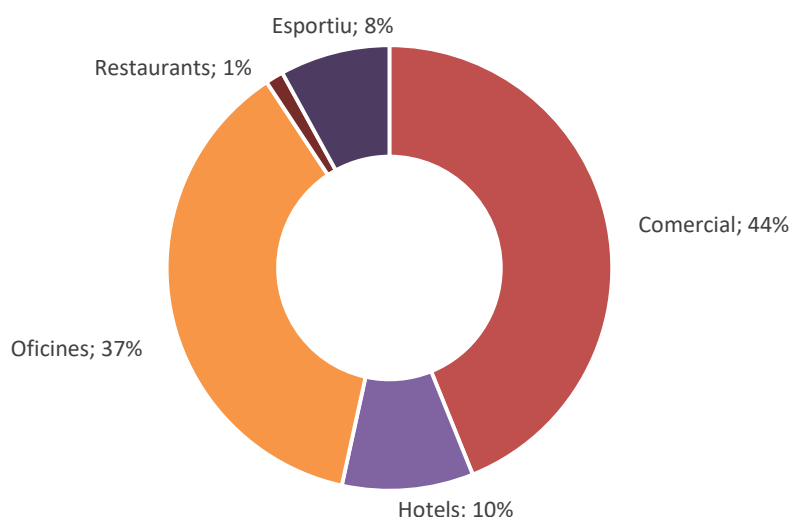
Taula 8: Distribució de superfície de sostre terciari per usos comercial, hotels, oficines, restauració i instal·lacions esportives al 2013 segons Cadastre

2013	
Comercial	8.214.257
Hotels	1.785.011
Oficines	6.974.315
Restaurants	243.604
Esportiu	1.495.966
TOTAL	18.713.153

Font: Barcelona Regional amb dades del Cadastre

Així, la distribució de superfície de sostre construïda de terciari, considerada en aquest estudi, es distribueix percentualment en els diferents subsectors com mostra la gràfic 23.

Gràfic 23: Distribució d'usos de la superfície de sostre al sector terciari l'any 2013 (18.713.153 m²)



Font: Barcelona Regional a partir de les dades del Cadastre 2013

2.1.2.2 Caracterització de consums tipus

La diferència entre la metodologia presentada pel sector residencial i la que s'utilitzarà aquí, és que pel sector terciari no es parteix de la demanda teòrica i es transforma en consum sinó que s'estimen directament ratis de consum específic segons el subsector considerat.

El primer motiu per justificar aquesta diferència metodològica té a veure amb les dades disponibles. Pel PECQ no es van dur a terme simulacions dinàmiques per obtenir les demandes 'tipus' per a edificis estàndard de cada subsector com sí que es va fer pel sector residencial.

El segon motiu es relaciona amb la pròpia naturalesa del sector terciari on el confort del consumidor/usuari esdevé en general una prioritat i una necessitat. L'aproximació

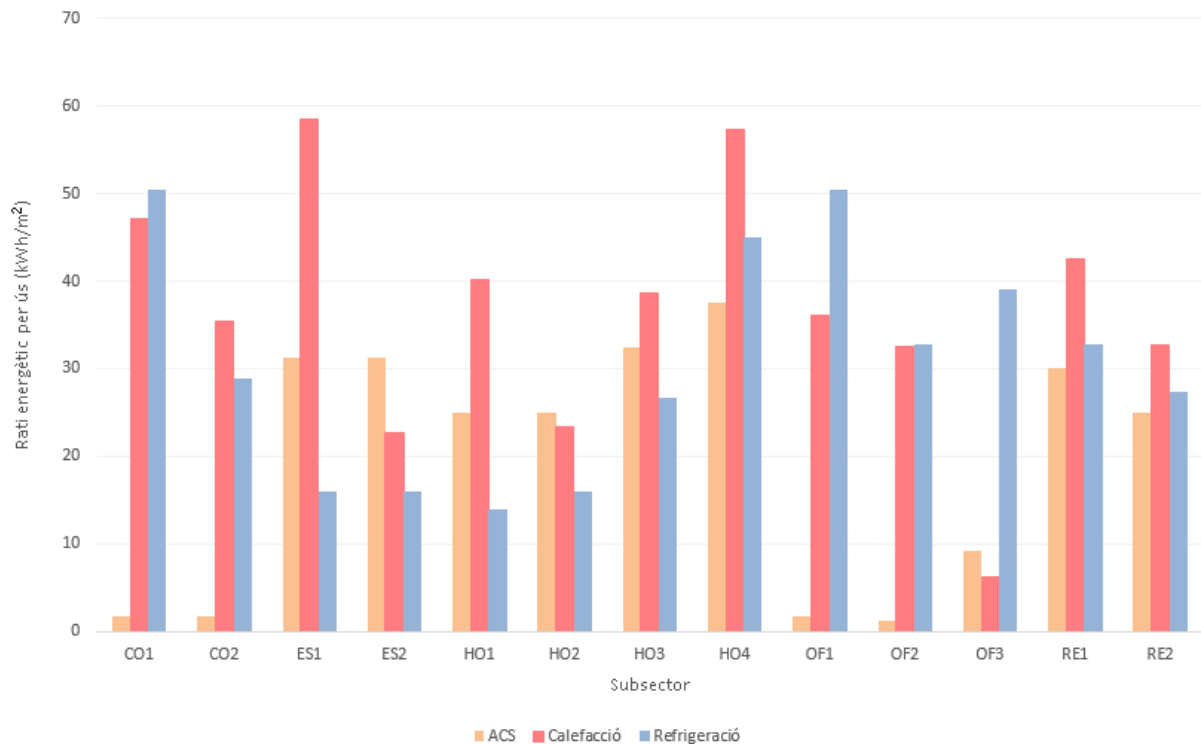
metodològica pel terciari parteix del consum i no permet tenir en compte diferències en funció de les diferències derivades dels les diferents qualitats constructives dels edificis i, per tant, és una forma d'anàlisi més limitada.

Dur a terme simulacions dinàmiques per a cada edifici 'tipus' a cada subsector terciari, ajudaria a fer una caracterització energètica més acurada que l'actual i permetria avaluar l'efecte d'una eventual millora de l'edificació i els equips sobre el consum energètic del sector terciari.

Al no disposar d'aquestes simulacions es fa necessari utilitzar els ratis de consum energètic específics per subsector emprats al PECQ i als diferents balanços de ciutat, i que passen a ser el punt de partida per la caracterització energètica del terciari.

A cada subsector se li associa un comportament típic per cada ús energètic atenent a l'ús que fan de l'energia. La relació de ratis que s'han utilitzat es mostren al següent gràfic:

Gràfic 24: Relació de ratis energètics al sector terciari per subsector



Font: Pla de l'Energia, Canvi Climàtic i Qualitat de l'Aire (PECQ) de Barcelona i Balanços de ciutat, Ajuntament de Barcelona

Els ratis posen de manifest consums energètics que varien segons el subsector considerat malgrat el subsector no sigui l'únic factor a tenir en compte. Pel sector comercial -com pel d'oficines i el de restauració- es defineixen ratis diferenciats segons les dimensions del local.

En el cas del sector hotelier existeix una diferenciació dels ratis que es relaciona amb la categoria de l'hotel. Així existeixen ratis diferenciats segons si és una pensió o un hotel d'una estrella o bé hotels de 2 i 3 estrelles o els de 4 i 5. En el cas de les instal·lacions

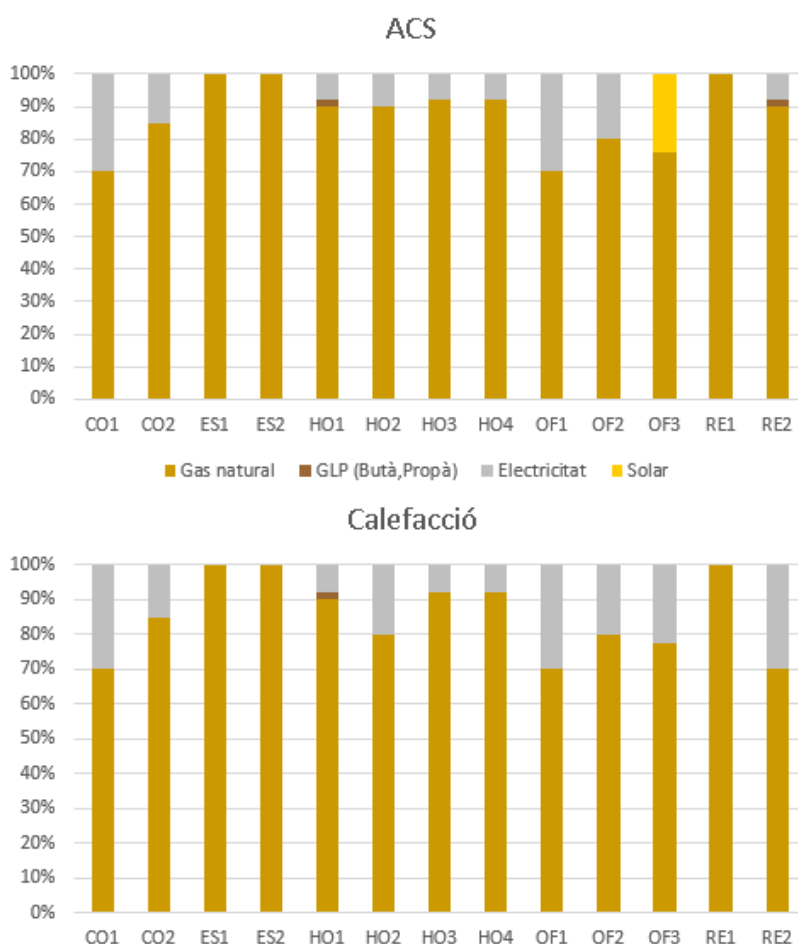
esportives, el factor de diferenciació en el rati és una variable categòrica que determina si la instal·lació compta amb piscina o no.

Com a l'apartat 2.1.1.2, i prenent de base la informació disponible al PECQ i l'últim balanç energètic de ciutat, es defineixen per a cada subsector la distribució de tecnologies i per tant el tipus d'energia emprat. En aquest cas no s'escau determinar les eficiències ni el grau de cobertura ja que no es parteix de la demanda sinó directament es parla de consum energètic final.

Tipus d'energia consumida segons tecnologia emprada

Pel que fa a la tipologia dels equips, s'utilitzen les classificacions del PECQ pel sector terciari i s'obté la seva distribució partir d'un tractament de dades obtingudes del balanç energètic de Barcelona 2013.

Gràfic 25: Distribució dels equips d'ACS per Font Energètica al sector terciari per subsector



Font: Barcelona Regional amb dades del simulador de Balanç Energètic del 2013, Ajuntament de Barcelona

S'observa que l'ACS es proporciona majoritàriament a partir de gas. L'ús d'escalfadors elèctrics representa el 30% als comerços i edificis d'oficines grans (CO1 i OF1) mentre que el consum de GLP és ínfim. La tecnologia solar només representa una petita fracció de la cobertura les oficines noves (post-CTE).

La calefacció es proporciona majoritàriament de gas amb fraccions elèctriques oscil·lants entre 0 i el 30% segons el subsector considerat .

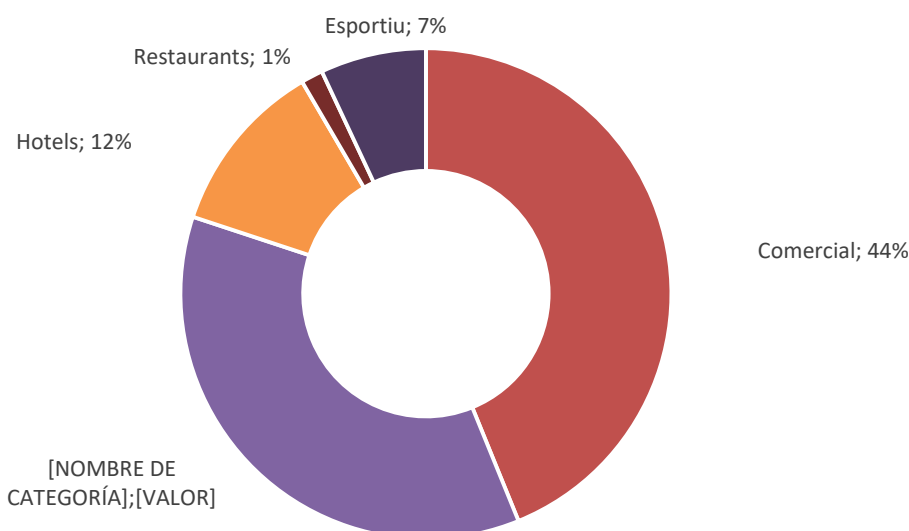
2.1.2.3 Determinació de consums del sector terciari a la ciutat

Les agregacions a nivell ciutat s'efectuen a partir de la informació relacionada anteriorment obtenint-se un consum energètic de **1.559 GWh**. Cal recordar que aquest agregat només pren en consideració el consum energètic per usos tèrmics i exclou tot el consum elèctric destinat a usos alternatius a la refrigeració.

El resultat agregat obtingut contrasta amb el valor de consum energètic (5.084 GWh) del terciari segons el PECQ que hagués estat de **1.503 GWh** si s'hagués acotat l'abast del PECQ a usos energètics exclusivament tèrmics.

La variació entre el resultat que s'hagués obtingut a partir de dades PECQ (1.503 GWh) i el resultat obtingut en aquest treball (1.559 GWh) pot atribuir-se a l'augment de sostre de terciari experimentat a la ciutat entre els anys 2007 i 2013 i a causa de l'aparició d'una nova tipologia del sector oficines, que no existia quan es va elaborar el PECQ i que assigna uns ratis energètics diferents als d'una oficina 'clàssica' a aquelles oficines construïdes a partir de 2007 que compleixen la normativa del CTE (Codi Tècnic de l'Edificació).

Gràfic 26: Distribució del consum energètic al sector terciari per subsector (1.559 GWh)



Font: Barcelona Regional amb dades de cadastre i ratis de consum del PECQ

L'anàlisi dels resultats desagregats per subsector posen de manifest que el major consum s'atribueix al subsector comercial (44% del total) seguit pel subsector oficines (36%).

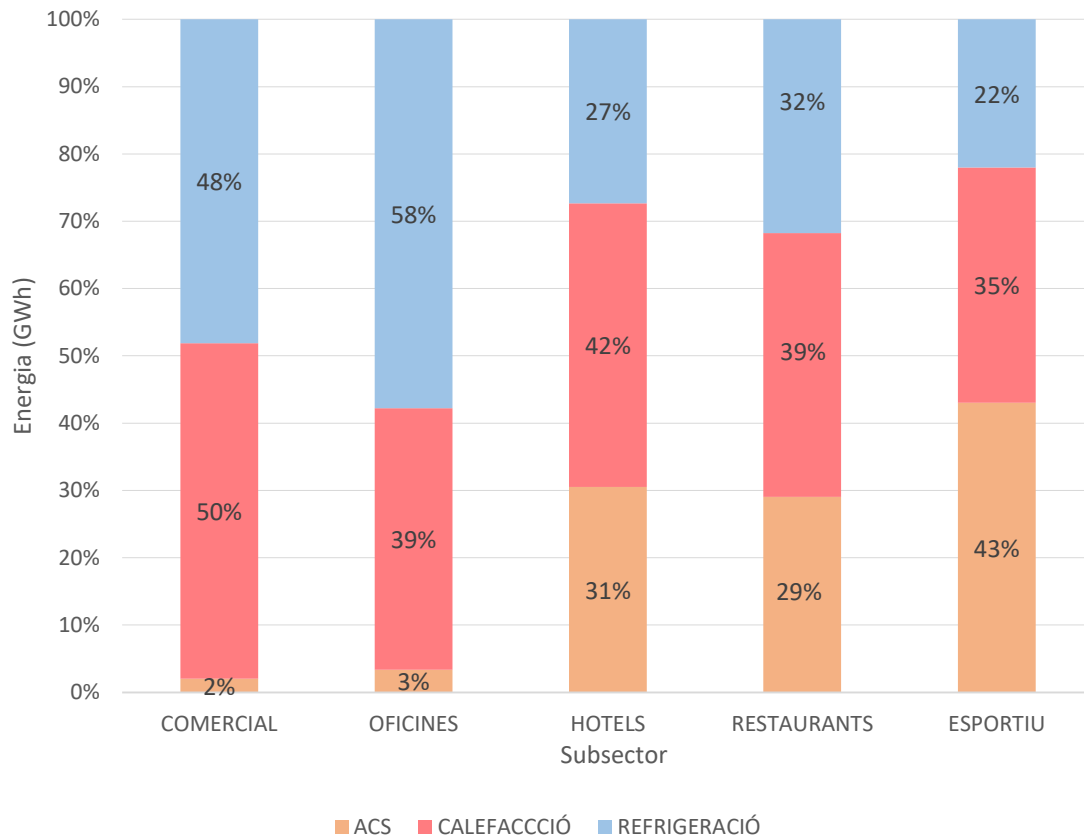
Pel que fa a l'anàlisi per usos, el consum es destina principalment a climatització representant aquest ús un 91% del total pel terciari (47% a refrigeració i 44% a calefacció). Aquests resultats contrasten amb els resultats obtinguts pel sector residencial en el qual la climatització representava un 51%.

La refrigeració esdevé ús predominant en el subsector oficines i gairebé al comercial (ambdós predominants tant en superfície com en consum total) provocant, com ja s'ha dit, que la refrigeració sigui l'ús predominant al total de sector.

La calefacció té un pes força important en tots els subsectors, esdevenint l'ús predominant la majoria d'ells.

L'ús d'ACS al sector és minoritari (9%) malgrat té un pes relativament important en els sectors esportiu, hotelier i restauració.(43%, 31% i 29 %, respectivament).

Gràfic 27: Distribució del Consum Energètic al sector terciari per usos per subsector



Font: Barcelona Regional amb dades de Cadastre i del PECQ

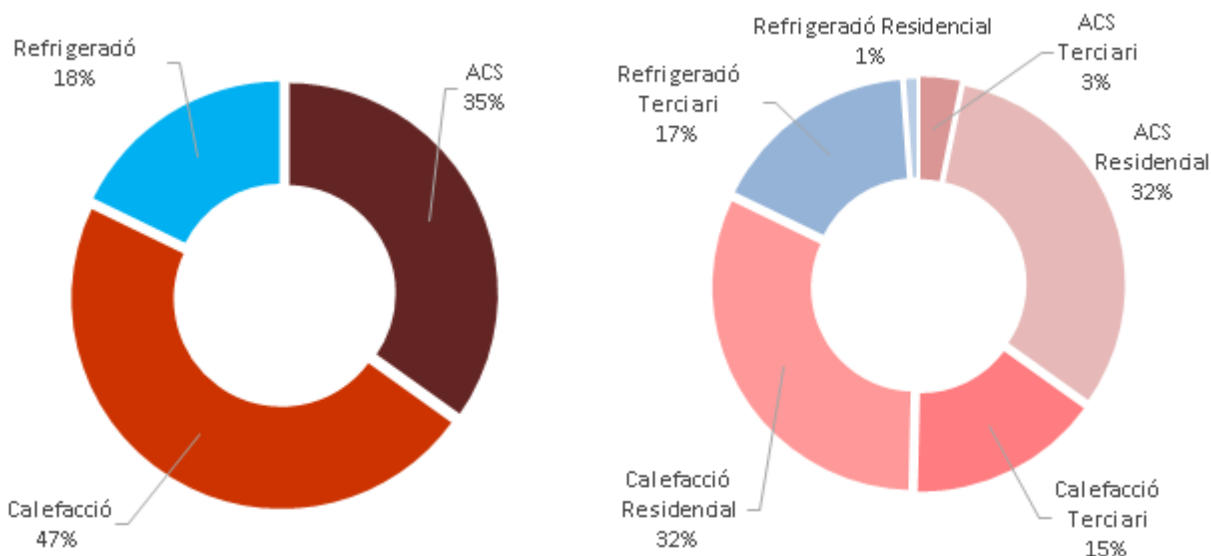
2.1.3 Escenari de referència

L'escenari de referència permet caracteritzar com es distribueix el consum energètic en les condicions climàtiques actuals. La caracterització s'ha dut a terme partint de dades de l'any 2013 donat que és l'últim any del qual es disposa de dades energètiques correctament caracteritzades. El consum energètic agregat per usos tèrmics dels sectors residencial i terciari ascendeix a 4.407 GWh.¹⁶

S'observa que l'ús que més energia consumeix és la calefacció suposant gairebé la meitat dels consums tèrmics que es produeixen en aquests sectors de la ciutat (47%). L'ACS es consumeix majoritàriament al sector residencial mentre que la refrigeració -ús energètic menys significatiu -s'atribueix majoritàriament al terciari. Es verifica, com ja s'ha vist a l'anàlisi desagregat per sectors, que al sector residencial la calefacció té un ús molt més intensiu que la refrigeració (32% i 1%) mentre que en el terciari el consum de refrigeració supera el de calefacció (17% i 15% del total respectivament).

¹⁶ Només es tenen en compte els consums dels sectors residencial i terciari únicament els que fan referència als usos tèrmics i no elèctrics tal i com s'ha exposat en apartats anteriors.

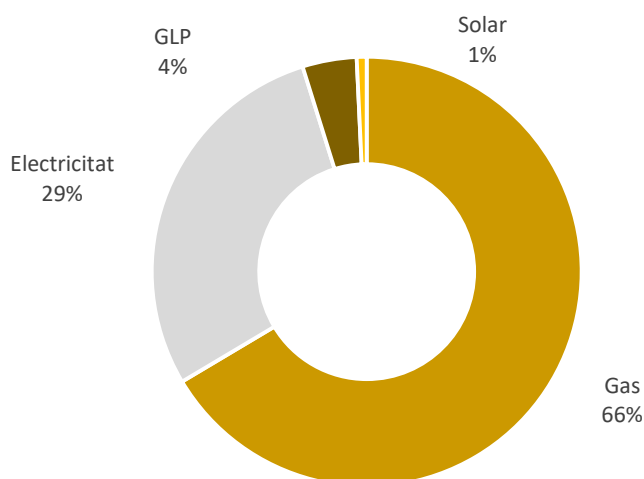
Gràfic 28: Distribució del consum energètic per usos tèrmics a Barcelona als sectors residencial i terciari (4.407 GWh)



Font: Barcelona Regional amb dades dels Balanços Energètics de ciutat i del PECQ, Ajuntament de Barcelona

L'anàlisi per font energètica posa de manifest la preponderància del gas com a font energètica predominant a la ciutat pels usos tèrmics dels sectors residencial i terciari. La irrupció de la font solar (sobretot emprada per la producció d'ACS) és encara reduïda (0,75%) malgrat la tendència és que creixi en els propers anys. D'altra banda, el GLP, com ja s'ha vist en l'anàlisi desagregada, ha manifestat als últims anys una sostinguda tendència a la baixa sobretot al sector terciari on és ja pràcticament inexistent.

Gràfic 29: Distribució del consum energètic per usos tèrmics per font energètica a Barcelona (4.407 GWh)

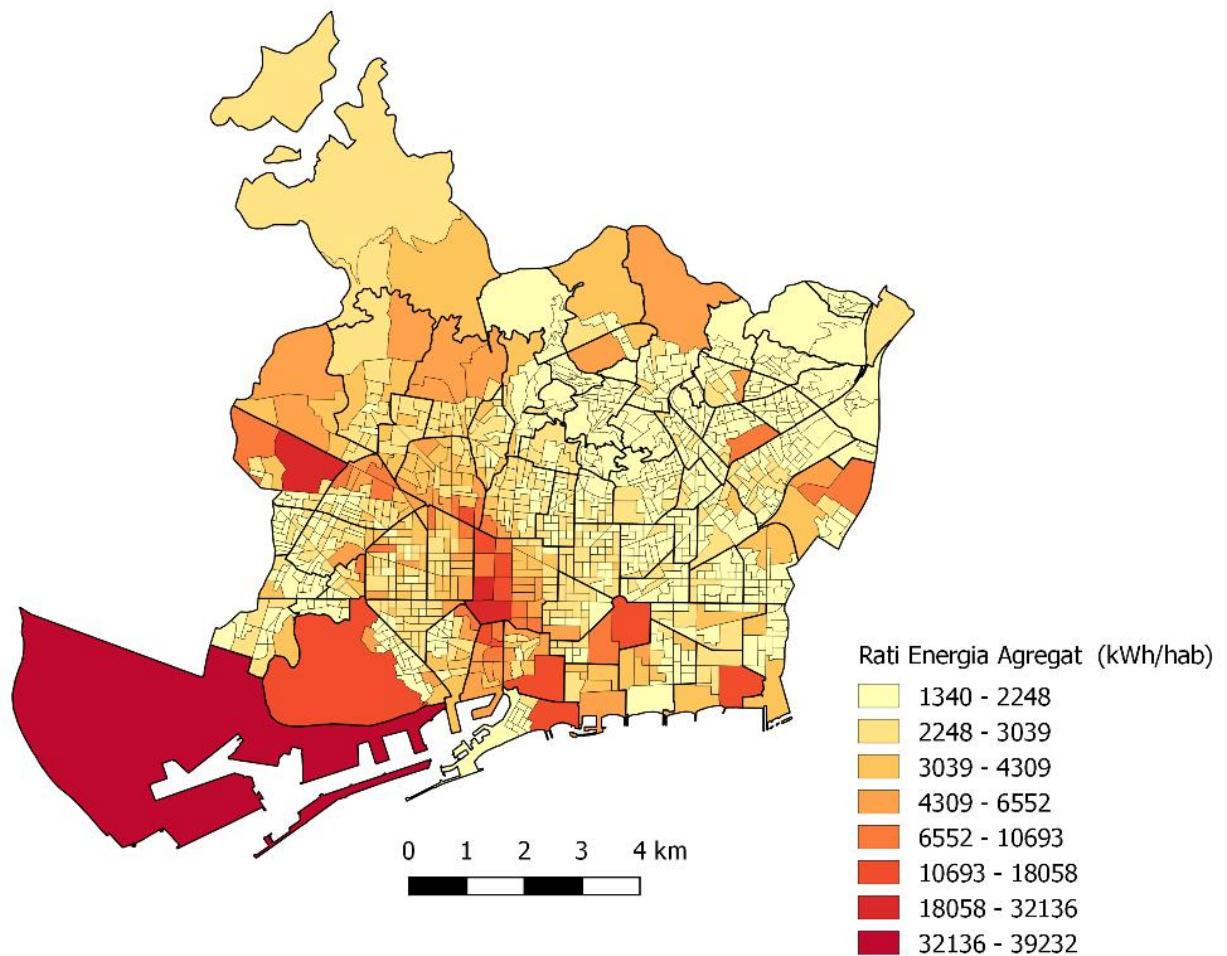


Font: Barcelona Regional amb dades dels Balanços Energètics de ciutat i del PECQ, Ajuntament de Barcelona

Territorialment fem l'anàlisi per cadascuna de les seccions censals uniformitzant per habitant i per superfície construïda. Els consums energètics per habitant per usos tèrmics són més

elevats allà on hi ha una major concentració d'edificació, amb una major densitat, i sobretot surten destacats allà on hi ha una major concentració d'usos terciaris i on aquests usos han desplaçat la població i per tant hi ha pocs habitants. Per contra, zones bàsicament residencial i que només inclouen usos comercials de proximitat els consums són clarament inferiors. Es destaquen zones d'alt consum com la plaça Catalunya i els seus voltants i la Zona Franca.

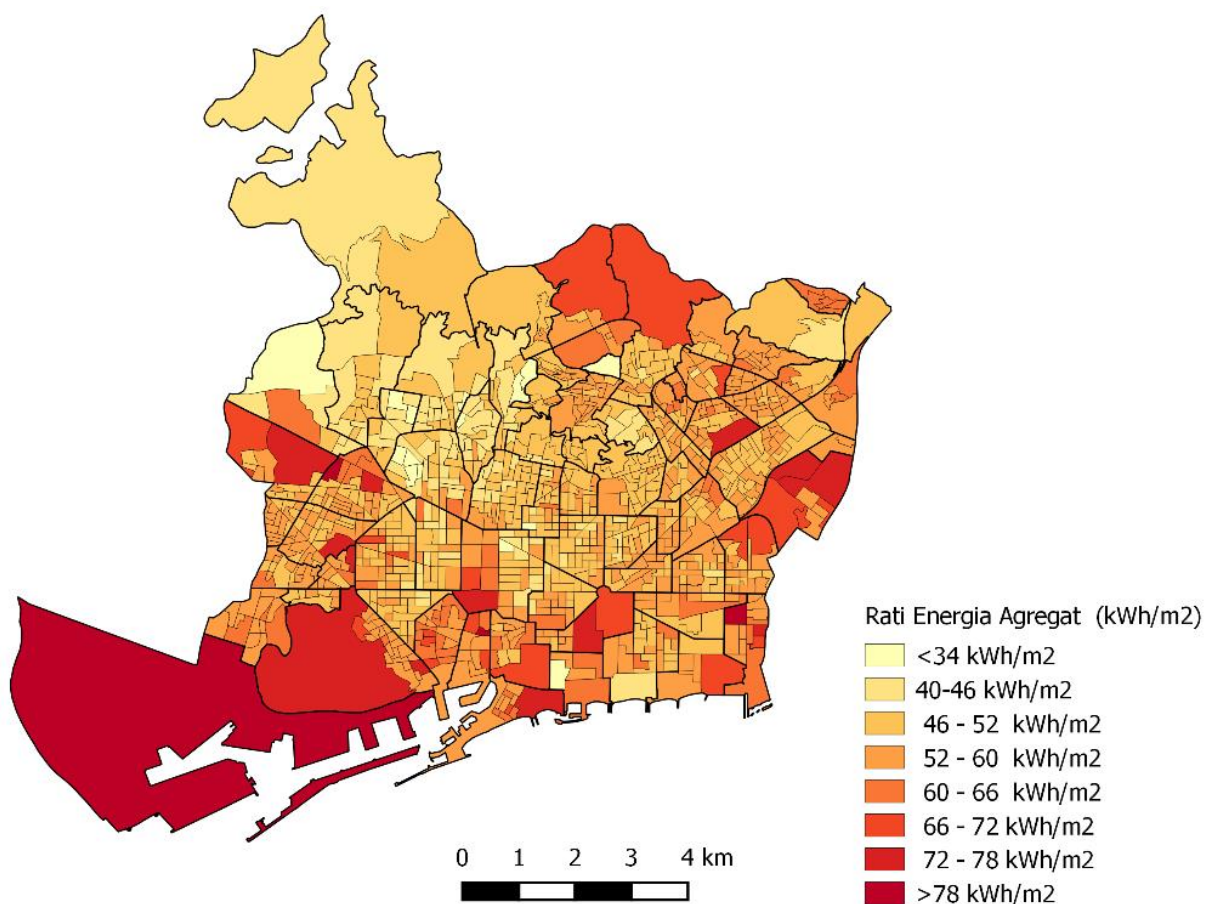
Imatge 10: Distribució del consum energètic per usos tèrmics dels sectors residencial i terciari per habitant a Barcelona (4.407 GWh)



Font: Barcelona Regional amb dades dels Balanços Energètics de ciutat i del PECQ, Ajuntament de Barcelona

En el cas d'avaluar el rati de consums tèrmics per superfície construïda, igualment destaquen les zones amb una major concentració de terciari, però en aquest cas les diferències ja no són tan grans i les zones més residencials s'aproximen més. En aquest cas, les zones més residencials principalment les seves diferències rau en la densitat de població, però també estan condicionades a la distribució de les tipologies dels edificis en els diferents barris.

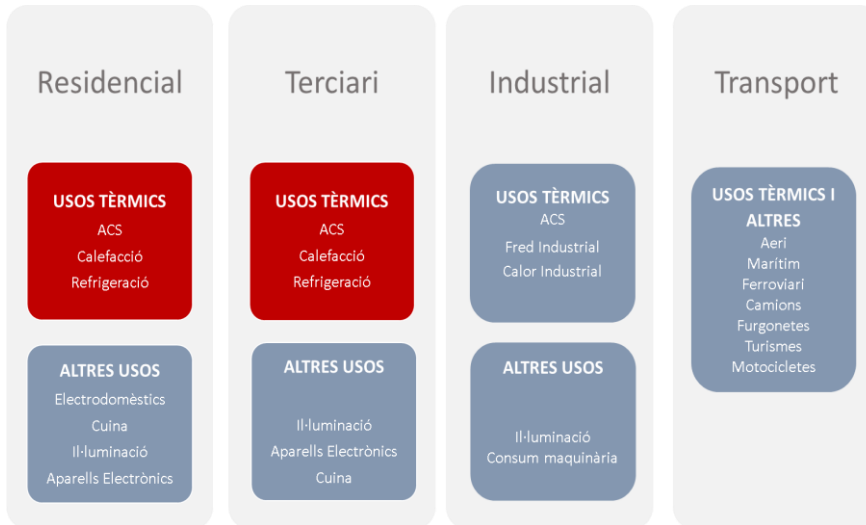
Imatge 11: Distribució del consum energètic per usos tèrmics dels sectors residencial i terciari per superfície construïda a Barcelona (4.407 GWh)



Font: Barcelona Regional amb dades dels Balanços Energètics de ciutat i del PECQ, Ajuntament de Barcelona

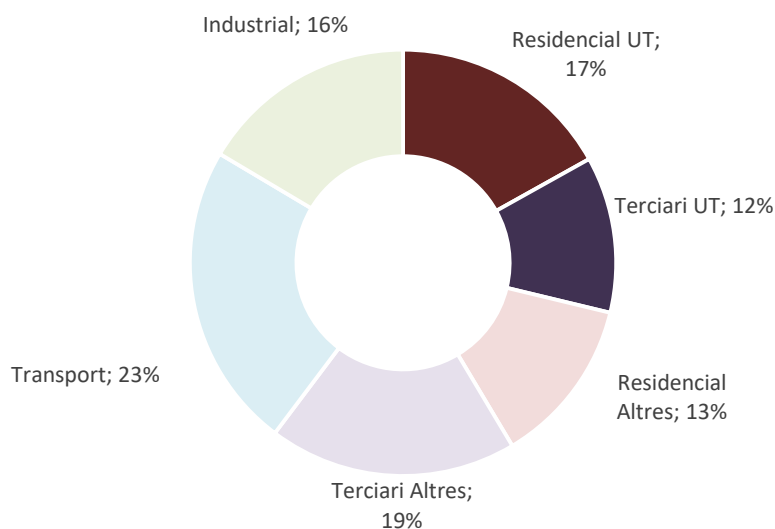
Tot i que l'escenari de referència només avaluï els usos tèrmic dels sectors residencial i terciari, convé també tenir la perspectiva de que signifiquen aquests consum respecte el global de la ciutat. A més en els escenaris de futur, també serà interessant fer aquesta comparativa encara que per els altres usos o sector no es considerin les possibles variacions que es podrien derivar del canvi climàtic.

La següent imatge ajuda a entendre l'abast dels resultats presentats. En vermell els usos que s'han tingut en compte i en blau aquells que no s'han avaluat.

Imatge 12: Relació d'usos i sectors tinguts en compte a l'anàlisi energètica realitzada

Font: Barcelona Regional

Per obtenir el balanç de ciutat s'agreguen els valors presentats anteriorment amb valors obtinguts a partir d'agregats obtinguts del balanç energètic de Barcelona (L'energia a Barcelona 2013, AEB) i s'obté un consum de 16.848 GWh repartit sectorialment segons la distribució següent. Els sectors residencial i terciari es desagreguen segons si els consums és destinen a usos tèrmics (UT) o a altres usos.

Gràfic 30: Relació d'usos i sectors tinguts en compte a l'anàlisi energètica realitzada. (16.848 GWh)

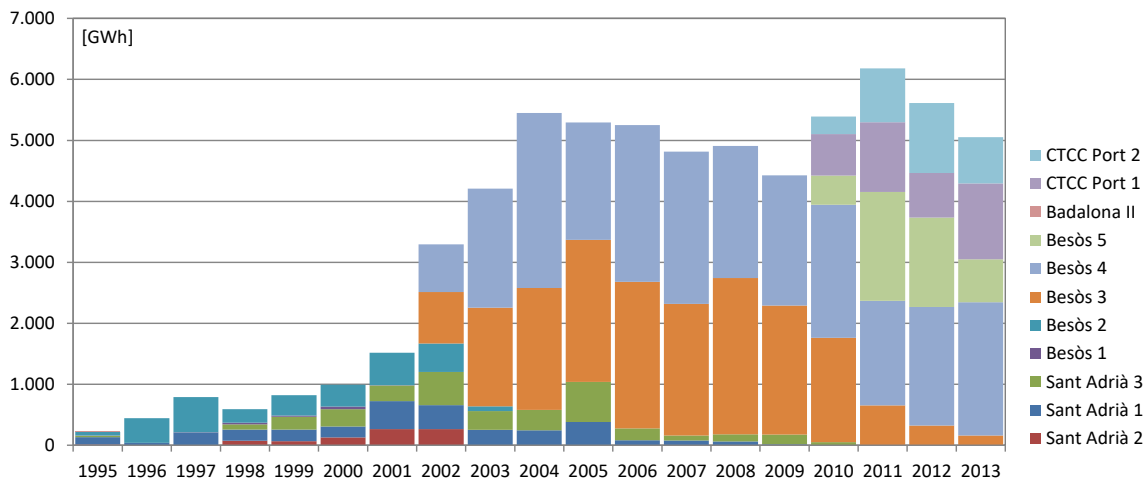
Font: Barcelona Regional amb dades dels Balanços Energètics de ciutat i del PECQ, Ajuntament de Barcelona

Per tant, per l'anàlisi de futur, amb afectació pel canvi climàtic, només es consideraran els usos tèrmics dels sectors residencial i terciari, i la resta es consideren "invariants" per la dificultat de fer una projecció o donat que són usos menys sensibles a les variacions climàtiques.

2.1.4 Generació energètica a Barcelona

A Barcelona i a l'entorn Besòs es van generar l'any 2013 5.014 GWh d'energia elèctrica a les centrals de Règim Ordinari (CTCC Besòs 3, 4 i 5 i CTCC del Port 1 i 2) mentre que les centrals dins de Barcelona (Port 1 i 2) van generar 2.004 GWh. La següent gràfica mostra l'evolució de la producció energètica en règim ordinari a la ciutat i l'entorn Besòs.

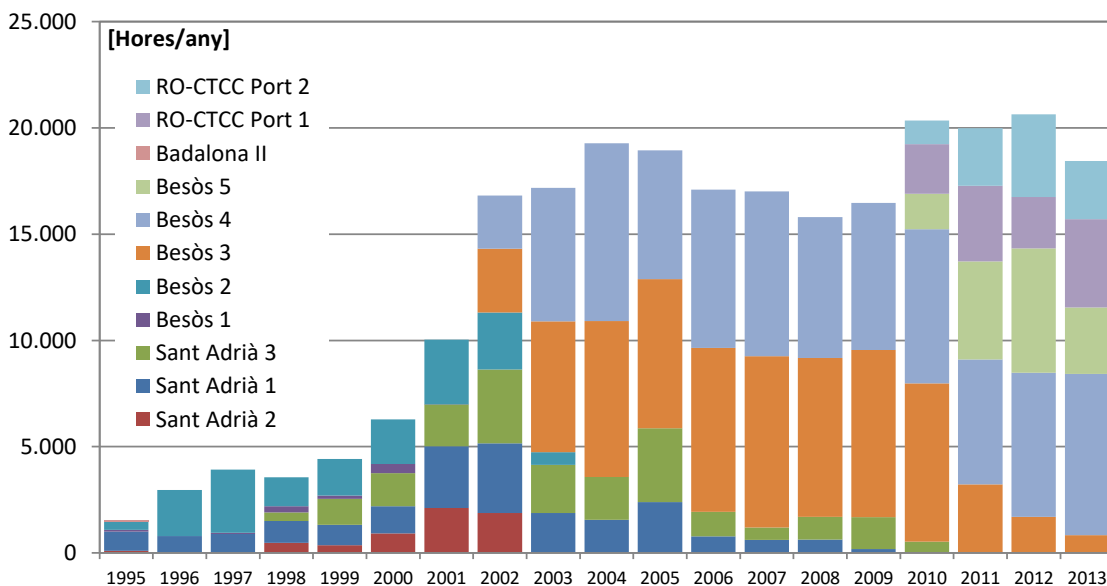
Gràfic 31: Producció d'energia elèctrica per grups a Barcelona i entorn Besòs [RO]



Font: Barcelona Regional amb dades REE

Aquest augment del pes de la generació a Barcelona es produeix per la renovació tecnològica que amb la introducció dels cicles combinats, fent el parc de generació més eficient i per tant més competitiu dins del mercat elèctric espanyol. Així doncs, amb una potència més o menys similar, s'ha passat del 23,5% del total català l'any 2000 al 25,8% l'any 2013, però s'ha produït un augment de nombre d'hores de funcionament de les centrals de l'entorn Besòs que de 6.285 hores de funcionament l'any 2000 han passat a 11.549 l'any 2013 com mostra el gràfic següent:

Gràfic 32: Hores reals de funcionament de les centrals de Règim Ordinari [RO]



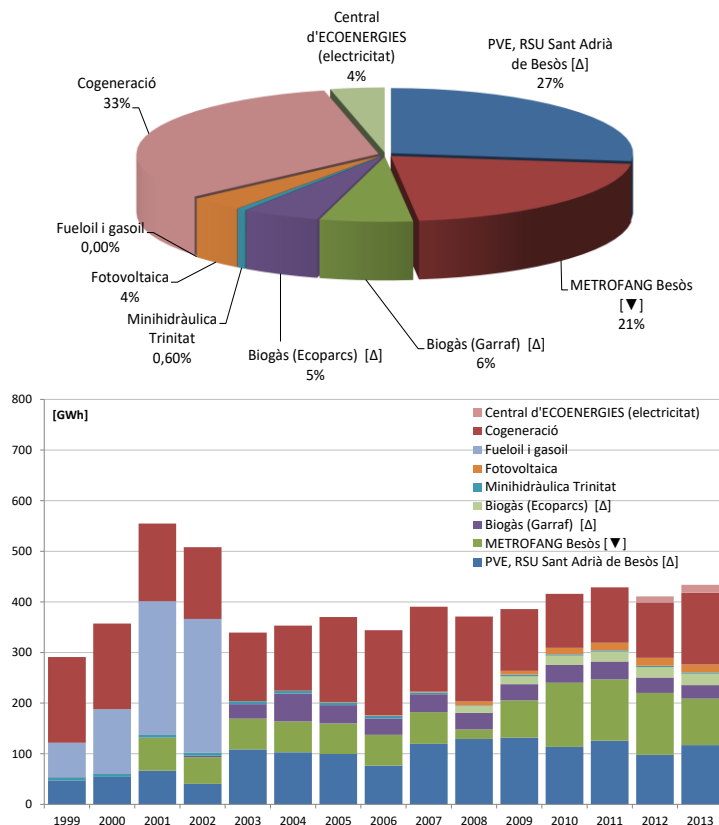
Font: Barcelona Regional amb dades REE

S'aprecia que la central que més hores ha generat els últims anys ha estat la Besòs IV provocant un menor participació de les altres.

Tot i així cal mencionar que el nombre d'hores de funcionament està molt per sota de la capacitat real d'aquestes centrals i això és degut a que cada vegada més en el mix espanyol la generació renovable està desplaçant la generació amb combustibles fòssils, tot i que els primers depenen més de les condicions climàtiques.

Pel que fa al Règim Especial es van generar a Barcelona 434 GWh¹⁷ distribuïts en un 54% de cogeneració amb gas natural (privades i Metrofang, aquest últim considerant només la part proporcional de l'aigua procedent de Barcelona), un 38% procedents de la gestió i valorització dels RSU de Barcelona, un 4% de fotovoltaica, un 4% d'electricitat generada amb biomassa, i un 0,6% de minihidràulica.

Gràfic 33: Energia elèctrica en Règim Especial generada per Barcelona en RE (ponderat a Barcelona). Distribució 2013 (dalt) i evolució (sota)



[Δ] Producció elèctrica proporcional al % de RSU de Barcelona que van a Ecoparcs/PVE/Garraf respecte al total de RSU tractats.

[▼] Producció elèctrica proporcional al % d'aigua de Barcelona tractada per la instal·lació respecte el total d'aigua tractada.

Font: Barcelona Regional amb dades dels Balanços Energètics de ciutat i del PECQ, Ajuntament de Barcelona

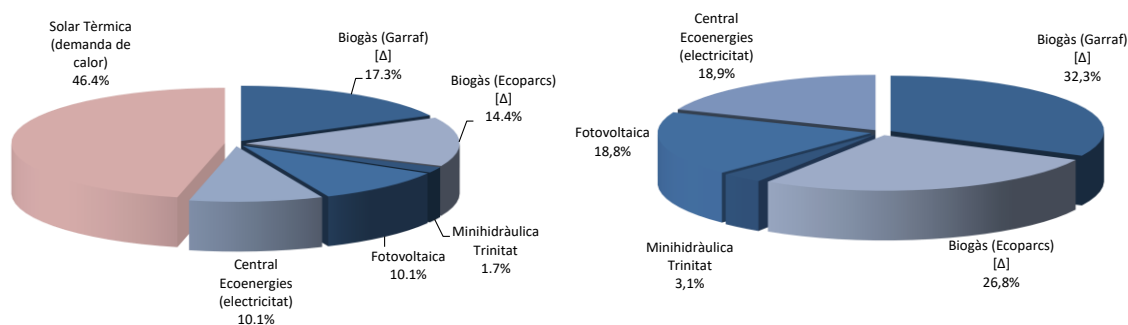
¹⁷ Aquesta quantitat és l'energia generada a Barcelona amb criteri de ponderació, per tant la producció elèctrica de instal·lacions supramunicipals s'assigna a Barcelona proporcionalment a l'ús que en fa la ciutat respecte la producció total. (concepte aplicable a instal·lacions de tractament de RSU o depuradores d'aigua, totes amb generació d'energia)

L'evolució temporal posa de manifest que la cogeneració de gas natural ha disminuït sensiblement l'any 2013 tant en valor absolut com en relatiu en relació als valors de 2008 (33% i 45% del total respectivament). S'aprecia també la incorporació l'any 2012 de la central de cogeneració a partir de biomassa d'*Ecoenergies* que va produir el 4% de l'energia en règim especial l'any 2013. El pes de la fotovoltaica s'incrementa significativament passant de representar el 2% de la generació l'any 2008 al 4% l'any 2013. La planta de valorització energètica (PVE) de RSU de Sant Adrià ha disminuït la seva aportació percentual a la generació en RE en 8 punts entre 2008 i 2013 (del 35 al 27%), tot i en valor absolut es manté tot i que amb oscil·lacions.

A més de l'energia elèctrica cal afegir l'energia tèrmica generada amb les instal·lacions solars tèrmiques de Barcelona: 72 GWh al 2013, i el calor i fred procedent de biomassa: 8,5 GWh.

De l'energia generada en règim especial té particular interès analitzar aquella d'origen renovable. La generació d'energia renovable dins el municipi de Barcelona ha experimentat un creixement significatiu des del 2003. Al 2013 la xifra d'energia renovable generada al municipi va ser de 155 GWh considerant l'electricitat generada procedent del biogàs dels residus de Barcelona, la que ha estat generada amb minihidràulica i amb fotovoltaica, així com l'energia tèrmica generada amb sistemes solars tèrmics. Aquesta xifra va ser de 83 GWh si només es considera la generació d'electricitat.

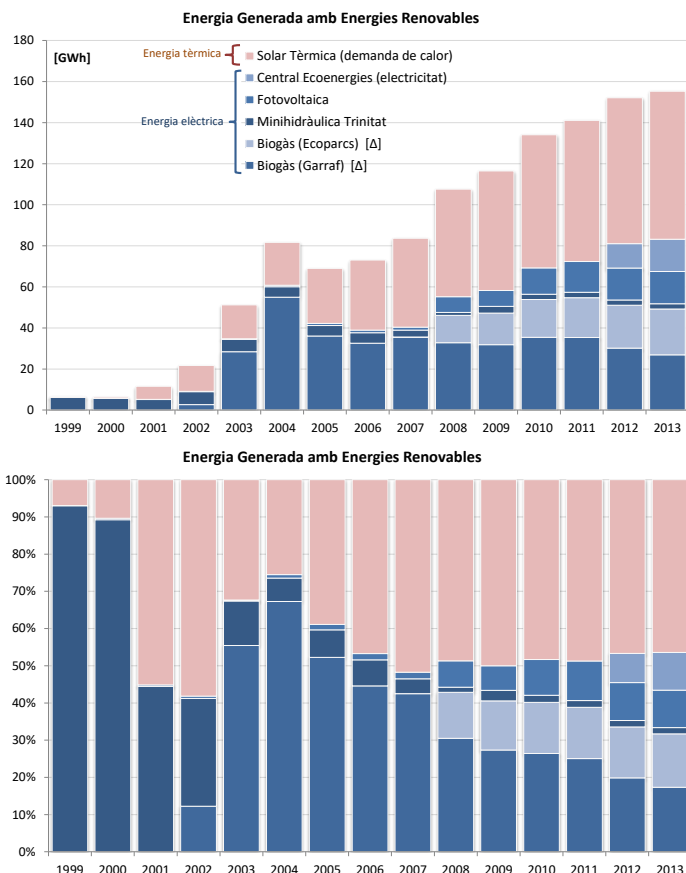
Gràfic 34: Energia generada amb Energies Renovables a Barcelona – 2013. Considerant totes les energies (esquerra) o només l'energia elèctrica (dreta)



Font: Barcelona Regional amb dades dels Balanços Energètics de ciutat i del PECQ, Ajuntament de Barcelona

El gràfic següent il·lustra quina ha estat l'evolució de la generació mitjançant energies renovables els últims anys. S'observa una tendència creixent d'energia generada mitjançant energies renovables els últims anys sobretot a causa d'una major generació a partir de solar tèrmica, la generació amb biogàs dels ecoparcs, un cert creixement de la fotovoltaica i de a nova central de generació d'Ecoenergies. La fotovoltaica en els darrers anys s'ha estancat degut als canvis legislatius que han suposat un fre per a noves implantacions.

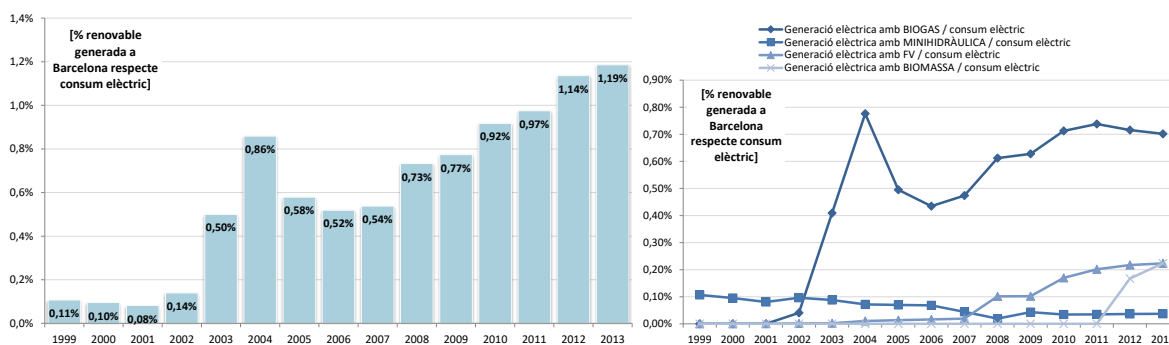
Gràfic 35: Energia generada amb energies renovables a Barcelona



Font: Barcelona Regional amb dades dels Balanços Energètics de ciutat i del PECQ, Ajuntament de Barcelona

Si es relaciona la generació d'energia elèctrica a Barcelona amb fonts renovables amb el consum d'energia elèctrica a la ciutat, es pot veure (a les gràfiques següents) com aquest indicador ha anat creixent des de l'any 2003 fins assolir al 2013 el nivell de l'1,19%. Això vol dir que el 1,19% de l'energia elèctrica que es consumeix a Barcelona en balanç anual té procedència d'origen renovable local.

Gràfic 36: Percentatge d'energia elèctrica d'origen renovable generada a Barcelona respecte el consum elèctric de Barcelona



Font: Barcelona Regional amb dades dels Balanços Energètics de ciutat i del PECQ, Ajuntament de Barcelona

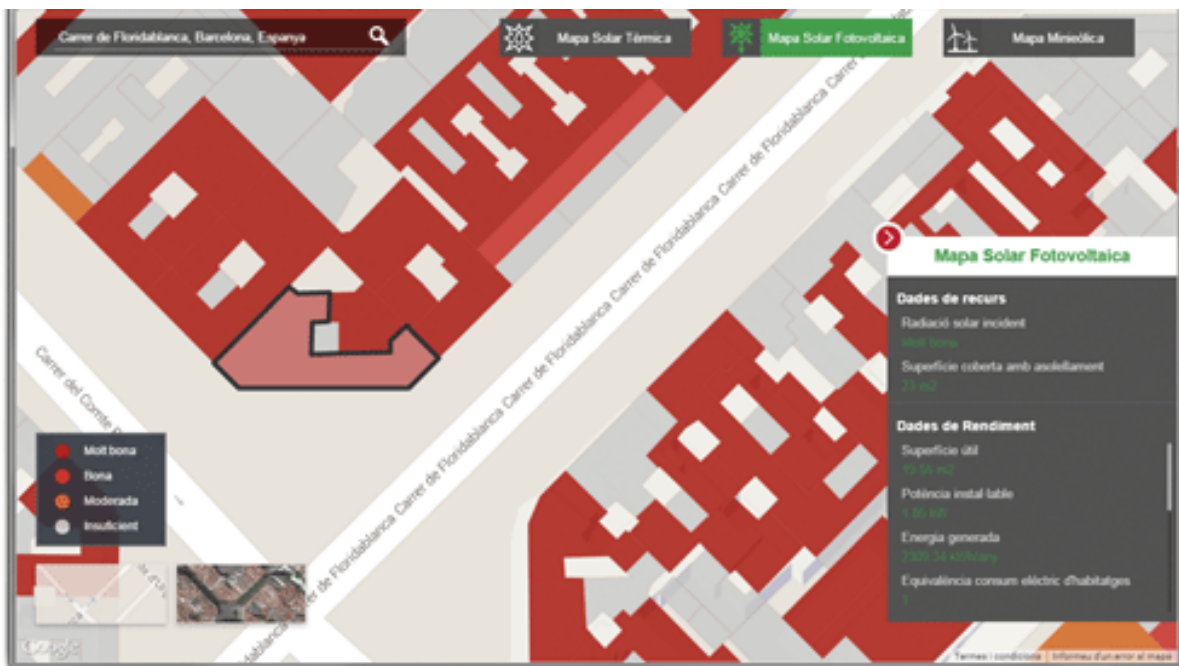
En canvi, si es calcula aquesta relació considerant totes les energies generades a Barcelona amb origen renovable, i el consum total de la ciutat (elèctric, gas natural, GLP, i petroli) en resulta un valor de 0,94% per l'any 2013, en augment durant els últims 8 anys.

La conclusió que s'extreu d'aquesta anàlisi és que malgrat progressivament la potència instal·lada de renovables va augmentant progressivament, encara hi ha una irrupció de les renovables molt limitada.

Si s'agafa el cas de la fotovoltaica, per exemple, es verifica una potència instal·lada de 12.536 kWp connectada a xarxa.

Barcelona ha impulsat l'elaboració de mapes de potencial generació a les cobertes dels edificis existents mitjançant sistemes solar tèrmics, fotovoltaics i minieòlica, posant aquesta informació a disposició del ciutadà per que pugui conèixer el potencial de cadascun dels edificis de la ciutat.

Imatge 13: Mapa de recursos energètics de Barcelona



Font: <http://ajuntament.barcelona.cat/autosuficiencia/ca/webapp>, Ajuntament de Barcelona

Pel que fa a solar tèrmica s'estima que podria instal·lar-se un total 7.899.532 m² de superfície de captació solar tèrmica que representaria un potencial de generació per a tota Barcelona de 5.495 GWh/any.

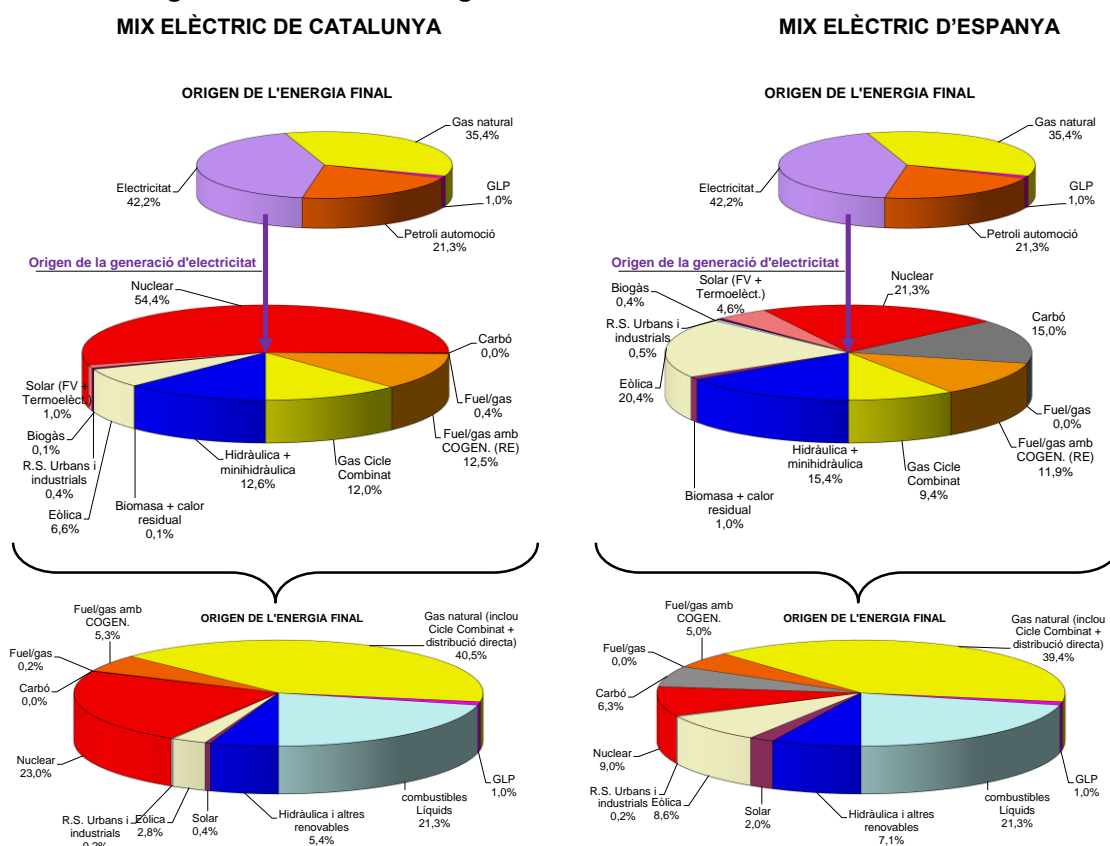
En el cas de l'energia solar fotovoltaica el potencial de generació elèctrica total s'estima d'uns 1.191GWh/any¹⁸, equivalent al 50% aproximadament del consum elèctric del sector domèstic de Barcelona l'any 2012. Si es compara la generació fotovoltaica el 2013 (15,67 GWh) amb el potencial fotovoltaic de les cobertes de la ciutat ens indica que queda un llarg camí per recórrer en matèria de generació renovable.

¹⁸ En el marc del PSAMB, Barcelona Regional va dur a terme un l'estudi *Potencial d'energia solar a l'AMB*. Segons aquest anàlisi el potencial de generació fotovoltaica ascendia als 1.670 i 2.100 GWh amb l'aprofitament de les cobertes, a Barcelona, el que podria suposar el 27,9% del consum elèctric de la ciutat. Les diferències entre ambdós estudis podrien derivar-se de les diferències entre les hipòtesis de partida i de les metodologies utilitzades, però en qualsevol cas ens indica que el potencial de generació és molt superior a l'existent a dia d'avui a la ciutat. En el marc del PSAMB el càlcul també es feia pel conjunt de l'AMB, en aquest àmbit el percentatge d'autoconsum fotovoltaic podria ser del 42,3% i l'energia generada d'uns 6.850 GWh anuals.

En definitiva, a Barcelona es genera una part de l'energia que es consumeix (en els darrers anys ha crescut bastant), però igualment la generació que hi ha en la seva majoria depèn d'energies fòssils que han de ser importades, i només una petita part del consum es cobreix amb fonts locals i pròpies.

El balanç final d'energia queda condicionat a si es considera el mix elèctric català o l'espanyol, tot i que hi ha una tendència a considerar l'espanyol per tractar-se de l'oficial. Així doncs, considerant el mix espanyol, al 2013 un 39% de l'energia final total consumida va provenir del gas natural, el 21% dels combustibles líquids, el 9% de fonts nuclears, el 9% d'eòlica, el 7% d'hidràulica, el 6% del carbó, el 5% de fuel o gas de cogeneració, el 2% solar, i la resta d'altres fonts.

Gràfic 37: Origen del consum d'energia final a Barcelona - 2013

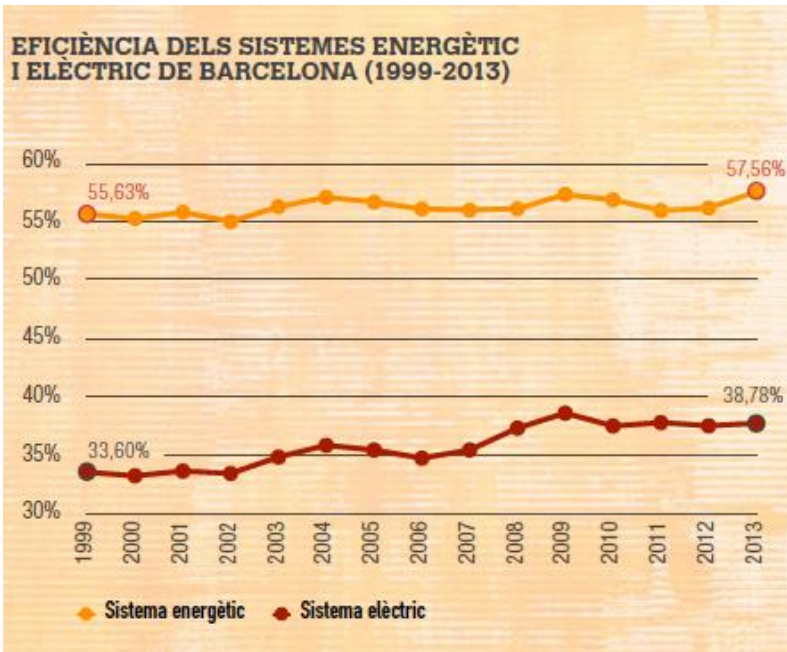


Font: Balanç d'energia de Barcelona, Ajuntament de Barcelona

Si es consideren les pèrdues de transformació de l'energia primària en energia final i les pèrdues de transport d'energia s'obté que per cobrir el consum energètic de la ciutat (16.609 GWh) s'han emprat 28.857 GWh d'energia primària.

L'any 2013, per tant, es va assolir una eficiència energètica del 57,56% que representa el valor més gran des de 1999. Quant a l'eficiència del sistema elèctric es verifica que s'ha incrementat un 5% des de 1999 des del 33,6% fins al 38,78% al 2013.

Gràfic 38: Eficiència dels sistemes energètic i elèctric de Barcelona (1999-2013)



Font: Balanç d'energia de Barcelona (Ajuntament de Barcelona)

2.2 IMPACTE DEL CANVI CLIMÀTIC SOBRE ELS FLUXOS ENERGÈTICS A BARCELONA

2.2.1 Potencial influència del canvi climàtic sobre les variables climàtiques a BCN

Escenaris climàtics

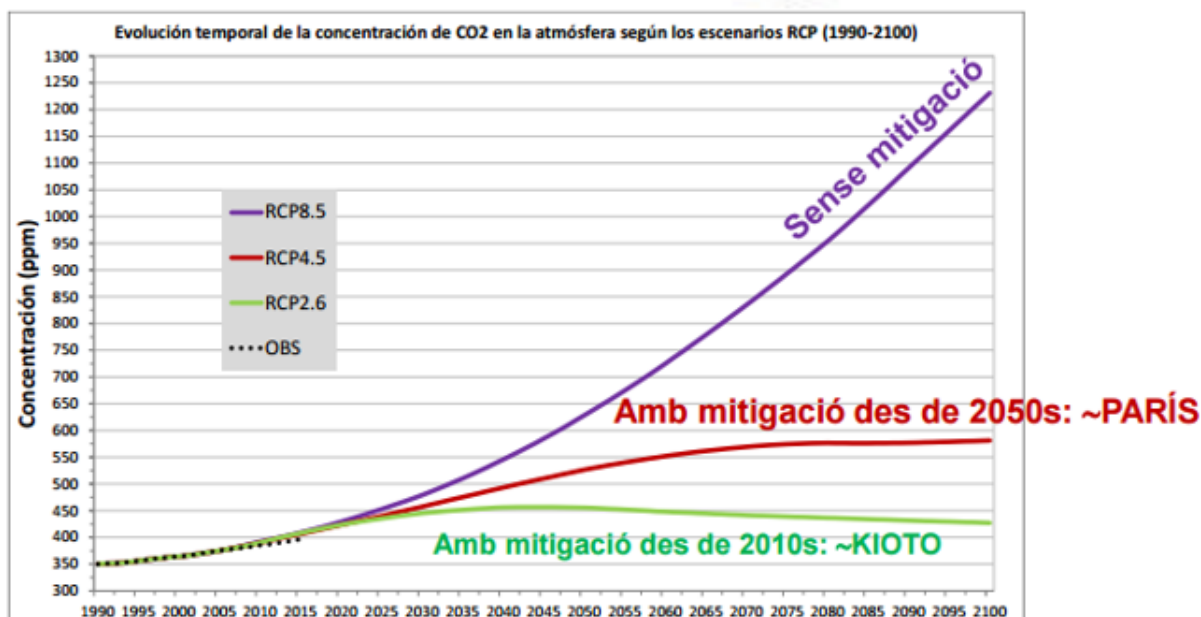
Donat que les projeccions de canvi climàtic depenen fortament de l'acció humana, els models climàtics treballen amb escenaris. L'IPCC (de l'anglès, Intergovernmental Panel on Climate Change, Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (GIECC)) va revisar l'any 2014 en el seu cinquè informe d'avaluació els possibles escenaris de canvi climàtic i va definir els escenaris RCP (de l'anglès, Representative Concentration Pathways, Trajectòries de Concentracions Representatives); quatre escenaris d'emissions sobre l'evolució estimada de l'emissió i concentració de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera durant el segle XXI.

Els quatre escenaris RCP són: RCP2.6, RCP4.5, RCP6 i RCP8.5, el nom dels quals es basa en el possible rang de valors de forçament radiatiu¹⁹ assolit l'any 2100 (+2,6; +4,5; +6,0 i +8,5 W/m², respectivament). L'escenari RCP 2.6 assumeix que les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH, mesurades en equivalent de CO₂) assoleixen el seu màxim entre 2010 i 2020 i disminueixen progressivament fins a final de segle. Les emissions en l'RCP 4.5 pateixen un pic al voltant de 2040 i després davallen. En l'RCP 6 el pic d'emissions es produeix al voltant de 2080 i després es redueixen. En l'escenari RCP 8.5 les emissions continuen incrementant-se durant el segle XXI.

Una possible equivalència que es pot utilitzar per entendre millor els escenaris climàtics és relacionar-los amb els acords climàtics a escala global. L'escenari 2.6 aproximadament correspon a una evolució de les temperatures si s'haguessin respectat els compromisos establerts pel Protocol de Kyoto (a dia d'avui ja inassolibles). L'escenari 4.5 representa l'evolució que esdevindria si es complissin els acords signats al COP de París 2015 mentre que l'escenari 8.5 tindria lloc en cas que no es prengués cap mesura per limitar els efectes del Canvi Climàtic.

¹⁹El forçament radiatiu es defineix com la diferència entre la irradiació absorbida per la terra i l'energia irradiada a l'espai.

Gràfic 39: Model climàtic de circulació general (esquerra) i models climàtics regionalitzats (dreta) a diferents resolucions



Font: SMC, Serveis climàtics pel sector energètic al Servei Meteorològic de Catalunya

Com que els models climàtics (MCG) s'elaboren a escala global, cal aplicar mètodes de regionalització per obtenir les projeccions de les variables climàtiques a un cert àmbit geogràfic.

La Regionalització de les variables climàtiques dut a terme per l'SMC al document *Generació d'escenaris climàtics regionalitzats a molt alta resolució per a l'AMB, ESAMB Fase II* s'ha focalitzat a projectar l'evolució de les variables temperatura i precipitació en els diferents escenaris climàtics.

Donat que les tendències actuals consideren inassolible l'escenari 2.6, s'ha determinat delimitar aquest estudi a l'evolució de 2 dels 4 escenaris RCP de manera que es cobreixi tot el rang de possibles valors que podran prendre les variables climàtiques a futur. S'analitzaran, per tant, els escenaris climàtics següents:

- L'**escenari compromès** (o també RCP4.5) representa el ritme d'emissions si s'assolissin els objectius de l'Acord de París de 2015. L'objectiu d'aquest escenari és que la temperatura global del planeta no superi els 1,5 - 2°C.
- L'**escenari passiu** (o també RCP8.5) representa la situació en que no s'assoliria cap acord en la reducció de les emissions i per tant continuaríem emeten al mateix ritme que actualment. L'augment de temperatura global del planeta superaria àmpliament els 2°C.

Per completar l'explicació dels diferents escenaris, consultar el que s'ha especificat en el *Capítol – Introducció al canvi climàtic*, apartat 2.2.

Horitzons temporals

La naturalesa de la pròpia definició de clima no permet fer una anàlisi contínua en el temps de les variables climàtiques i, per això, es defineixen horitzons temporals i s'analitzen les

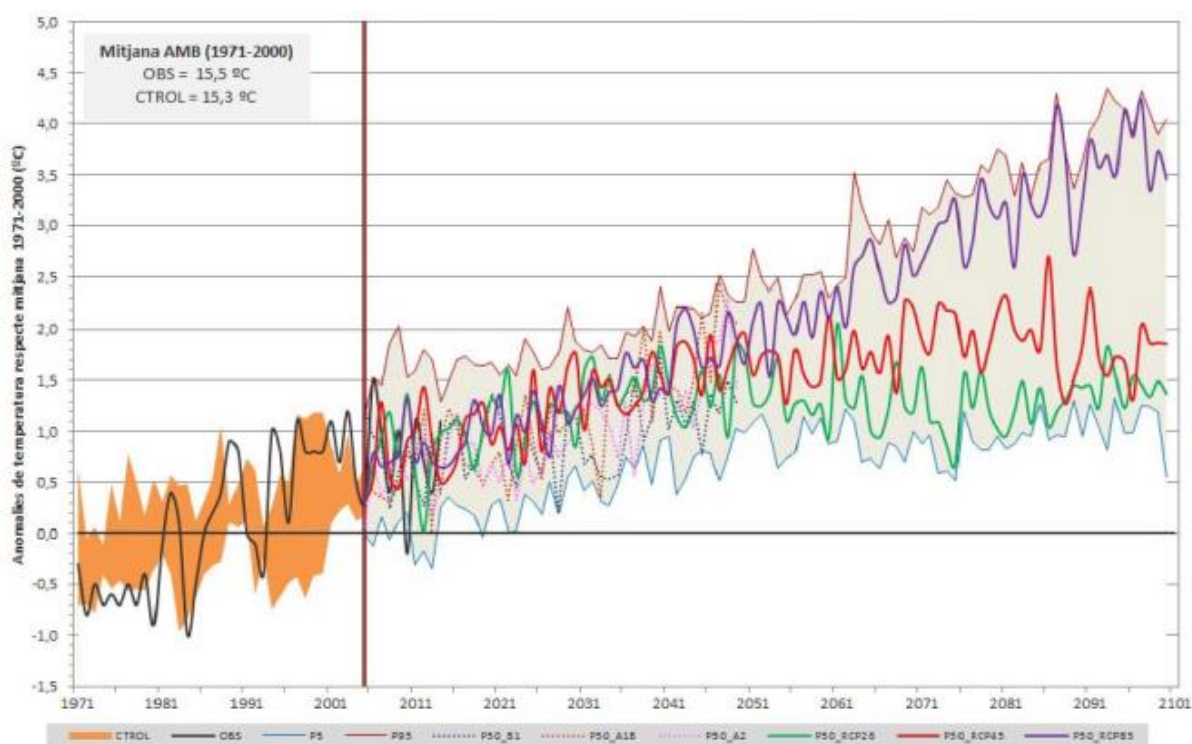
mitjanes de les variables climàtiques dins d'un determinat horitzó. Els horitzons definits són el 2040, 2070 i 2100.

La temporalitat d'aquest estudi, que arriba fins a final de segle, no permet dur a terme una anàlisi quantitativa acurada en tots els horitzons d'estudi. La incertesa pel que fa a les projeccions climàtiques augmenta a mesura que hom s'allunya del moment actual.

Projeccions d'evolució de la temperatura

Al gràfic 40, es mostra l'evolució temporal el rang de possibles valors que adoptaria la variable temperatura segons diferents escenaris de canvi climàtic. Es pot observar que el rang dels valors de variacions de temperatura augmenta a mesura que hom avança en el temps.

Gràfic 40: Evolució de la temperatura mitjana a l'AMB en escenaris de Canvi Climàtic



Font: Generació d'escenaris climàtics regionalitzats a molt alta resolució per a l'AMB, ESAMB Fase II, SMC

La regionalització de les variables climàtiques pot dur-se a terme mitjançant mètodes dinàmics o mitjançant mètodes estadístics i, a més, existeixen diverses metodologies que permeten regionalitzar les variables climàtiques obtenint-se, per a cada model, resultats sensiblement diferents.

Com es pot observar al gràfic 40, la informació meteorològica històrica disponible permet traçar una sèrie temporal definida que indica la tendència de les desviacions anòmales de la temperatura respecte de la temperatura mitjana (en negre al gràfic) en el període 1971-2000.

El rang de control marcat en taronja mostra l'evolució històrica d'aquestes anomalies si s'haguessin utilitzat els models de regionalització per estimar els comportament de la variable considerada i no segons valors registrats reals.

El fet que es tracti d'un rang i no pas d'una línia única es justifica pel ventall de resultats que s'obtenen segons si s'aplica la metodologia pròpia de l'MPI (*Max Plank Institute*), en endavant model alemany, el GFDL (*Geophysical Fluid Dynamics Laboratory*), en endavant model americà o del CanESM (*Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis*), en endavant model Canadenc.

Per tal de ser consistents amb les dades de base, s'ha decidit realitzar una anàlisi que empri dades segons cadascun dels models (alemany, americà i canadenc) i dels escenaris considerats (4.5 i 8.5) i per a cada escenari horitzó temporal. És important destacar que la informació climàtica disponible gràcies als estudis de regionalització de l'SMC és força precisa i permet fer projeccions de demanda i consum futurs a tres horitzons temporals (2040, 2070, 2100).

Taula 9: Evolució de les variables climàtiques a Barcelona en escenaris de canvi climàtic

	1971-2000 (control)	RCP	2011-2040 (variació)	2041-2071 (variació)	2071-2100 (variació)
Temperatura mitjana Anual	17,6 °C	rcp2.6 rcp4.5 rcp8.5	1,1 °C (0,8-1,4) 1,0 °C (0,7-1,3) 1,1 °C (0,8-1,4)	1,2 °C (1,0-1,5) 1,8 °C (1,4-1,9) 2,0 °C (1,8-2,4)	1,2 °C (1,0-1,5) 1,7 °C (1,5-2,1) 3,0°C (2,6-3,5)
Temperatura mitjana Hivern	12,2 °C	rcp2.6 rcp4.5 rcp8.5	0,9°C (0,4-1,3) 0,9°C (0,3-1,3) 1,0 °C (0,6-1,5)	0,9°C (0,5-1,3) 1,3 °C (0,8-1,7) 1,6 °C (1,2-2,0)	1,0 °C (0,6-1,4) 1,4 °C (1,0-1,8) 2,7 °C (2,4-3,3)
Temper. mitjana Primavera	15,1 °C	rcp2.6 rcp4.5 rcp8.5	0,8 °C (0,5-1,1) 0,8 °C (0,4-1,1) 0,8 °C (0,5-1,1)	0,9 °C (0,6-1,2) 1,4 °C (1,1-1,6) 1,9 °C (1,7-2,2)	0,9 °C (0,6-1,2) 1,5 °C (1,3-1,8) 3,1 °C (2,8-3,6)
Temperatura Mitjana Estiu	24,0 °C	rcp2.6 rcp4.5 rcp8.5	0,9°C (0,7-1,2) 0,9°C (0,7-1,3) 0,9°C (0,7-1,2)	1,2 °C (0,9-1,5) 1,4 °C (1,1-1,7) 1,7 °C (1,4-2,1)	0,9°C (0,7-1,1) 1,5°C (1,2-1,9) 2,7 °C (2,0-3,5)
Temperatura Mitjana Tardor	19,1 °C	rcp2.6 rcp4.5 rcp8.5	1,7 °C (1,4-2,1) 1,8 °C (1,3-2,0) 1,8 °C (1,4-2,0)	1,8 °C (1,4-2,1) 2,1 °C (1,7-2,6) 2,7 °C (2,2-3,2)	2,0 °C (1,7-2,4) 2,5 °C (2,1-3,0) 3,7 °C (2,9-4,3)
Temper. mínima mitjana anual	14,3 °C	rcp2.6 rcp4.5 rcp8.5	0,9 °C (0,4-1,5) 1,0 °C (0,4-1,5) 1,0 °C (0,5-1,6)	1,1 °C (0,5-1,6) 1,5 °C (1,0-2,0) 1,9 °C (1,4-2,4)	1,1 °C (0,5-1,6) 1,8 °C (1,1-2,2) 2,9 °C (2,4-3,4)
Temper. màxima mitjana anual	20,8 °C	rcp2.6 rcp4.5 rcp8.5	1,2 °C (1,0-1,4) 1,1 °C (0,9-1,3) 1,2 °C (1,0-1,4)	1,3 °C (1,0-1,5) 1,7 °C (1,3-1,9) 2,2 °C (1,6-2,4)	1,3 °C (1,1-1,5) 1,9 °C (1,4-2,0) 3,1 °C (2,2-3,8)
Nits Tropicals (TN > 20 °C)	79,5 dies	rcp2.6 rcp4.5 rcp8.5	22,9 dies (13,9-33,1) 21,6 dies (13,9-30,7) 22,7 dies (12,4-32,9)	28,2 dies (18,1-35,5) 34,0 dies (23,3-40,4) 44,2 dies (32,1-51,2)	25,6 dies (14,4-32,6) 40,2 dies (25,3-45,4) 67,6 dies (54,7-75,2)
Nits Tòrrides (TN > 25 °C)	3,7 dies	rcp2.6 rcp4.5 rcp8.5	3,5 dies (-1,0-9,5) 5,0 dies (-0,1-9,7) 5,0 dies (0,0-11,2)	2,6 dies (-0,8-12,0) 6,9 dies (0,0-15,6) 9,2 dies (0,0-21,9)	3,7 dies (-0,4-10,7) 8,7 dies (0,0-18,6) 21,9 dies (0,3-38,9)
Dies Càlids (TX > 30 °C)	20,3 dies	rcp2.6 rcp4.5 rcp8.5	14,7 dies (0,0-24,0) 14,4 dies (-0,1-23,9) 12,0 dies (0,0-22,0)	13,9 dies (0,0-24,7) 18,0 dies (0,2-31,2) 26,4 dies (0,2-41,7)	12,0 dies (0,3-24,4) 19,3 dies (0,5-34,9) 41,0 dies (2,0-67,6)
Dies Tòrrids (TX > 35 °C)	0,5 dies	rcp2.6 rcp4.5 rcp8.5	0,1 dies (-0,3-1,6) 0,5 dies (-0,1-1,2) 0,5 dies (0,0-2,1)	0,2 dies (-0,1-1,7) 0,7 dies (0,0-3,9) 0,9 dies (0,0-6,0)	0,4 dies (-0,2-1,8) 0,9 dies (0,0-5,1) 2,5 dies (0,0-18,3)
Dies de Glaçada (TN < 0 °C)	0,2 dies	rcp2.6 rcp4.5 rcp8.5	-0,1 dies (-2,1-2,2) -0,1 dies (-2,4-1,2) 0,0 dies (-2,5-1,7)	0,0 dies (-2,6-1,4) -0,1 dies (-2,7-0,6) -0,1 dies (-3,0-0,1)	-0,1 dies (-2,7-1,5) -0,1 dies (-3,1-0,6) -0,2 dies (-3,7-0,0)

Font: Generació d'escenaris climàtics regionalitzats a molt alta resolució per a l'AMB, ESAMB Fase II, SMC

La taula adjunta posa de manifest que la temperatura mitjana anual augmentaria fins a 3°C en l'escenari 8.5 a finals de segle mentre que en escenaris temporals més propers serien de

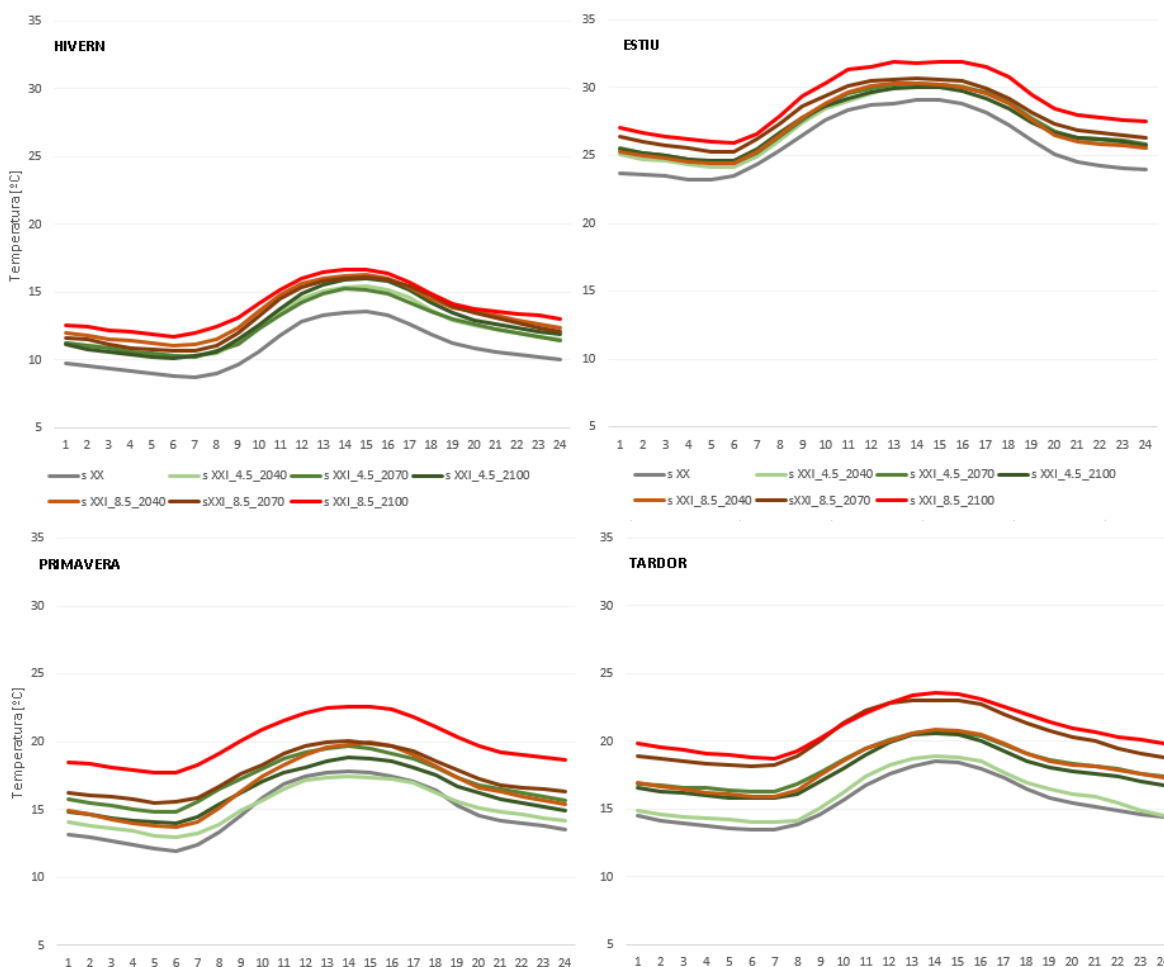
fins a un 1,1°C al 2040 i fins de 2°C al 2070. Les temperatures mínimes mitjanes anuals podrien arribar a augmentar 2,9°C l'any 2100 mentre que les màximes podrien experimentar un augment encara més pronunciat (3,1°C) pel mateix horitzó.

Els augments de temperatura més significatius tindrien lloc a les estacions de la primavera i la tardor i, per tant, els resultats semblen indicar que esdevindrà una prolongació del període estival. Destaca l'evolució d'altres paràmetres com poden ser les nits i dies tòrrids que podrien arribar a quintuplicar-se l'any 2100 en l'escenari més crític.

A banda dels resultats de l'ESAMB analitzats només pel municipi de Barcelona, l'SMC ha realitzat una estimació de les temperatures hora-hora de l'any tipus (any mitjà del període) per a cadascun dels models, cadascun dels escenaris i per a cada horitzó temporal. Aquest grau de detall ha permès fer una estimació acurada de les variacions que poden suposar en les demandes tèrmiques dels sectors més sensibles a les variacions en la temperatura exterior.

El mosaic a continuació mostra l'evolució del perfil horari de temperatura d'un dia tipus estimat en cada escenari (4.5 i 8.5) i per cada horitzó temporal (s. XX, 2040, 2070 i 2100) a l'estació meteorològica del Raval. Per facilitar la interpretació es representen els resultats s'han obtingut del model canadenc tant per l'escenari del s.XX com pels escenaris a futur.

Gràfic 41: Perfil horari d'un dia tipus en cada estació per cada horitzó temporal i per cada escenari segons el model canadenc



Font: Barcelona Regional a partir de dades de l'SMC

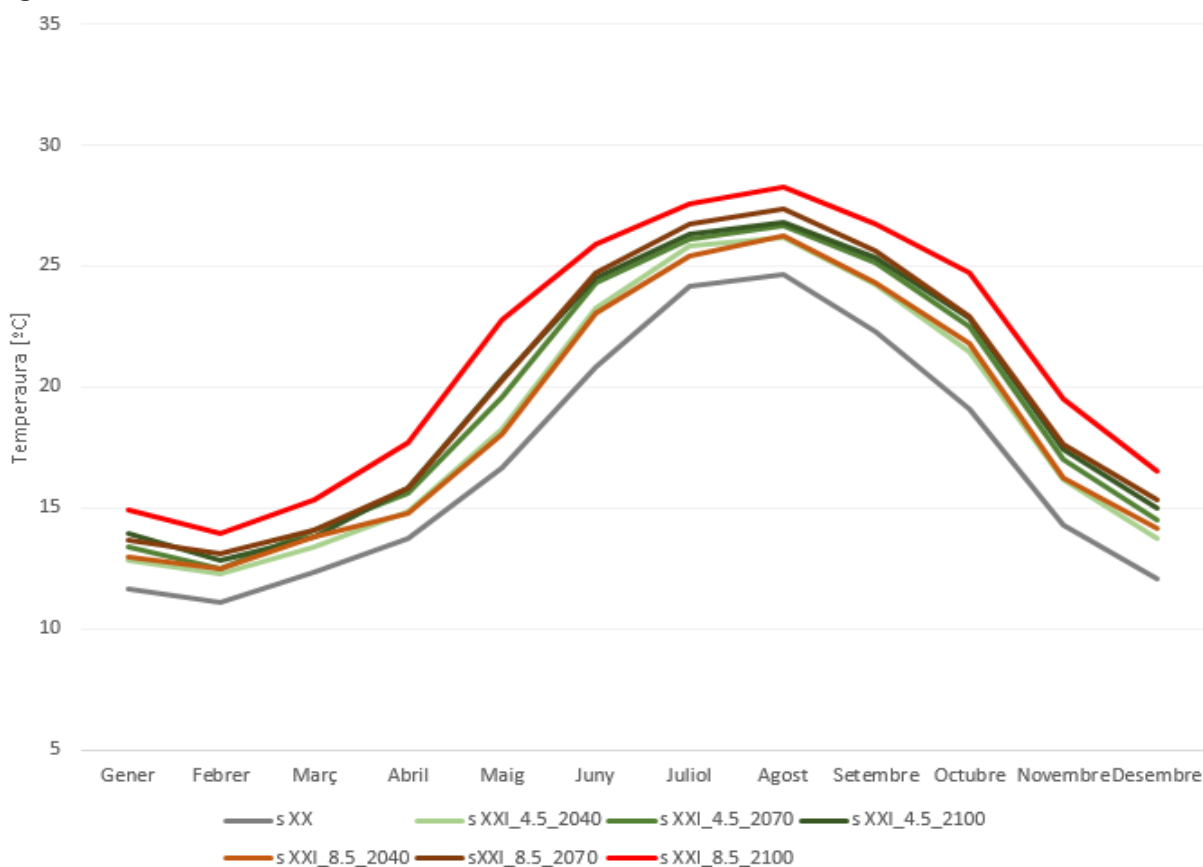
L'escenari 4.5 es representa en tonalitats de verd (creixents en intensitat segons s'avança en l'horitzó temporal) mentre que l'escenari 8.5 es representa en tonalitats de vermell creixent. L'escenari de referència es mostra de color gris.

Els resultats obtinguts posen de manifest que els escenaris 4.5 obtenen resultats moderats en relació als escenaris 8.5. Les diferències entre escenaris es fan més intenses a mesura que hom s'allunya temporalment del s.XX.

Les diferències entre el comportament actual i el d'escenaris amb canvi climàtic són més marcades en les estacions de primavera i tardor, fet que corrobora una certa tendència a la prolongació del període estival.

Si, a més, es representa el perfil de temperatures anual, s'observa de manera més clara aquest fenomen de prolongació dels estius en ambdues direccions (primavera i tardor). Els escenaris de canvi climàtic generen una 'cúpula' de temperatures elevades en els mesos de maig a octubre mentre que en el cas actual els mesos estivals es limiten al període entre juny i setembre.

Gràfic 42: Perfil anual de temperatura mitjana per a cada horitzó temporal i per cada escenari segons el model canadenc



Font: Barcelona Regional a partir de dades de l'SMC

Malgrat s'observa un increment de temperatura a l'hivern, el perfil de temperatures en aquesta estació manté un perfil clarament diferenciat en relació a les altres. D'aquest fet se'n deriva que continuaran existint mesos freds i mesos càlids.

A més de poder analitzar amb un alt grau de detall com s'espera que evolucionin les temperatures al futur, el fet de disposar les temperatures hora-hora ha possibilitat el càlcul dels graus-dia de calefacció (base 15°C) i refrigeració (base 21 °C) que com s'explica més endavant esdevé una variable clau a l'hora d'estimar les variacions que es puguin produir en els consums tèrmics. A continuació es presenten les previsions per aquestes variables.

Taula 10: Relació de graus-dia de calefacció i refrigeració segons model, escenari i horitzó temporal

Escenari	Graus Dia Calefacció			Graus Dia Refrigeració			
	Alemany	Americà	Canadenc	Alemany	Americà	Canadenc	
s XX	430	411	479	-267	-337	-289	
4.5	2040	287	234	298	-413	-536	-517
	2070	241	219	226	-497	-562	-629
	2100	234	213	200	-534	-570	-666
8.5	2040	292	248	270	-450	-513	-510
	2070	192	194	189	-545	-619	-710
	2100	116	118	101	-747	-744	-943

Font: Barcelona Regional a partir de dades de l'SMC

La taula anterior posa de manifest que el nombre de graus-dia²⁰ de calefacció es reduiria a la meitat l'any 2100 segons l'escenari 4.5 mentre que ho faria a la quarta part en l'escenari 8.5. S'observa, com era d'esperar, que les diferències entre escenaris es fan més evidents a mesura que s'avança en els horitzons temporals. El model canadenc és el model que obté variacions de graus-dia més contundents.

Pel que fa als graus-dia de refrigeració, s'observa que aquests es doblarien a finals de segle en l'escenari 4.5 i es triplicarien en l'escenari 8.5. De nou, el model canadenc seria el model que obté els resultats més extrems, sobretot en l'horitzó temporal 2100 i en l'escenari 8.5 on els resultats obtinguts a partir d'aquest model són sensiblement diferents als que s'obtenen a partir dels altres dos.

²⁰ La definició de graus-dia s'inclou dins l'apartat 2.2.2.1.

2.2.2 Metodologia per avaluar l'efecte del canvi climàtic sobre els consums tèrmics de la ciutat

Com ja s'ha especificat en apartats anteriors, l'ús d'energia final pot veure's afectat per les variacions climàtiques. L'efecte més directe es relaciona amb una alteració de les temperatures que pot provocar variacions en la intensitat del consum energètic i en una variació en la distribució dels usos energètics.

L'anàlisi que es durà a terme permetrà estimar els **consums energètics per usos tèrmics del sector edificació** a Barcelona en diferents escenaris de canvi climàtic i per diferents horitzons temporals.

Com ja s'ha dit anteriorment, el que es pretén avaluar és l'evolució que pot patir el consum energètic a Barcelona considerant únicament el canvi climàtic com a variable i tots els altres possibles factors com a constants (mateix parc construït, mateixa eficiència dels equips tèrmics, mateixa població, mateixa conjuntura econòmica...)

Aquest aclariment té una importància cabdal donat que no tenir-ho en compte pot provocar lectures equivocades dels resultats. Una manera fàcil d'expressar i plantejar l'objectiu de l'estudi és la següent: Si demà mateix despertéssim en un món que climàticament es comporta com es preveu que ho farà d'aquí el 2040, 2070 o 2100, quin seria el consum energètic que se'n derivaria?

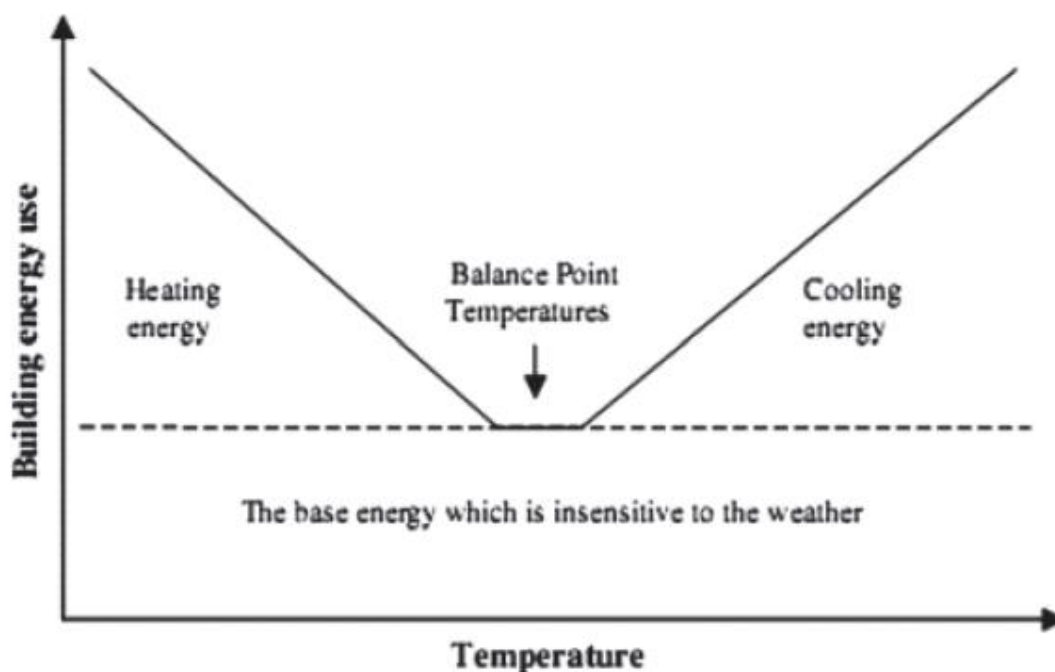
Tenint en compte, com s'ha justificat amb anterioritat, que únicament es quantificarà l'afectació sobre els sectors residencial i terciari cal veure quina fracció del consum total pot considerar-se afectada per les projeccions aquí avaluades.

Segons es mostrava al gràfic 30 el consum del sector edificació representa a dia d'avui (2013) el 60% del consum energètic total de la ciutat. Si d'aquest consum se n'extreu aquell menys sensible als efectes del canvi climàtic s'obté que els usos tèrmics (més sensibles a les alteracions del clima) del sector edificació a Barcelona representen el 29%.

Per dur a terme les projeccions de consum cal, en primer lloc, definir el marc teòric que sustenta la metodologia que s'utilitzarà.

2.2.2.1 Base teòrica

Diferents estudis (Guan,2009; Blázquez et al, 2013) han conclòs que la demanda energètica dels edificis depèn de la variable temperatura externa segons un perfil en forma d'U: baixes temperatures corresponen a una demanda energètica relativament alta (més demanda de calefacció), temperatures intermèdies corresponen a una menor demanda energètica i temperatures elevades corresponen, de nou a una major demanda energètica (major demanda de refrigeració).

Gràfic 43: Relació entre l'ús d'energia de l'edificació i la temperatura exterior

Font: Guan, Lisa (2009) Preparation of future weather data to study the impact of climate change on buildings. Building and Environment, 44(4), pp. 793-800.

Aquest comportament provoca que canvis en la variable temperatura puguin tenir conseqüències ambigües sobre el consum energètic total per efecte d'un fenomen de compensació. Un augment de la temperatura disminueix l'ús de calefacció i augmenta l'ús de refrigeració, però per saber què succeeix amb l'agregat cal dur a terme una anàlisi exhaustiva que quantifiqui la magnitud dels augments de consum de refrigeració i les disminucions de consum de calefacció.

Un cop duta a terme aquesta quantificació, el consum energètic dels edificis **romandria constant** si la davallada de consum per a calefacció compensés la creixuda de consum per a refrigeració; **augmentaria** si els increments en consum de refrigeració sobrepassessin els descensos de consum per a calefacció i **disminuiria** si l'augment de refrigeració no pogués compensar la reducció de consum per a calefacció.

En qualsevol cas els patrons de consum actual es veurien modificats i segurament el tipus d'energia final consumida també. Aquesta modificació de patrons poden fer variar les estratègies que es puguin emprendre per minimitzar el consum d'energia.

Malgrat és senzill analitzar qualitativament quin efecte pot tenir la variació de la temperatura exterior sobre el consum energètic, cal quantificar aquestes relacions.

Graus-dia

La quantificació d'aquestes relacions es duu a terme mitjançant la mètrica dels **graus-dia**. Aquests s'empren per mesurar la demanda energètica per aclimatar un edifici i el seu càlcul s'obté a partir del seguiment dels valors que pren la temperatura exterior.

Els graus-dia poden relacionar-se amb la demanda de calefacció (graus-dia de calefacció) o amb la demanda de refrigeració (graus-dia de refrigeració) i es defineixen com la suma de les desviacions negatives (graus-dia de calefacció) de la temperatura exterior actual respecte d'una base al llarg d'un determinat període de temps.

La **base de temperatura de calefacció** es defineix com aquella **temperatura exterior lliandar** a partir de la qual no és necessari engegar la **calefacció** per mantenir una **temperatura de confort a l'interior**. Anàlogament la **base de temperatura de refrigeració** es defineix com aquella **temperatura exterior lliandar** a partir de la qual el no és necessari engegar la **calefacció** per mantenir una **temperatura de confort a l'interior**.

L'objectiu de qualsevol equip tèrmic és aconseguir aclimatar l'espai interior a una temperatura de confort pels seus ocupants i, per tant, cal definir un valor o un rang de valors de temperatura exterior dins els quals no calgui engegar equips de calor i fred.

Una aplicació robusta de les fórmules de graus-dia requeriria establir temperatures base específiques per a cada edifici atenent al seu comportament tèrmic donat que una mateixa temperatura exterior (base) pot provocar temperatures interiors diferents a cada edifici atenent als seus respectius coeficients de transferència de calor, la seva inèrcia tèrmica, les pèrdues de calor per infiltracions, etc. Les diferències de comportament segons l'edifici considerat es tindran en compte a l'hora de fer les projeccions de demanda i consum tal i com s'explica a l'apartat 2.1.1.1 però no a efectes de fixar les bases del càlcul de graus-dia.

Les consideracions especificades anteriorment posen de manifest que la definició d'una base de graus-dia no és quelcom senzill i que per fer l'elecció adequada és precís atendre a les característiques geo-climàtiques del territori. L'elecció de la base condicionarà els resultats que s'obtindran i, per tant, una elecció errònia pot provocar que s'arribi a conclusions indesitjables.

D'acord amb la metodologia seguida a altres estudis similars (*Eskeland and Mideksa, 2010; Hekkenberg et al, 2009, Hamlet et al., 2010*) s'ha considerat pertinent definir dues bases diferenciades: una referida a calefacció i una altra referida a refrigeració. Aquesta elecció considera que existeix un rang de temperatures exteriors per les quals no hi ha demanda energètica ni de calefacció ni de refrigeració (*Balance Point Temperatures* al gràfic 43).

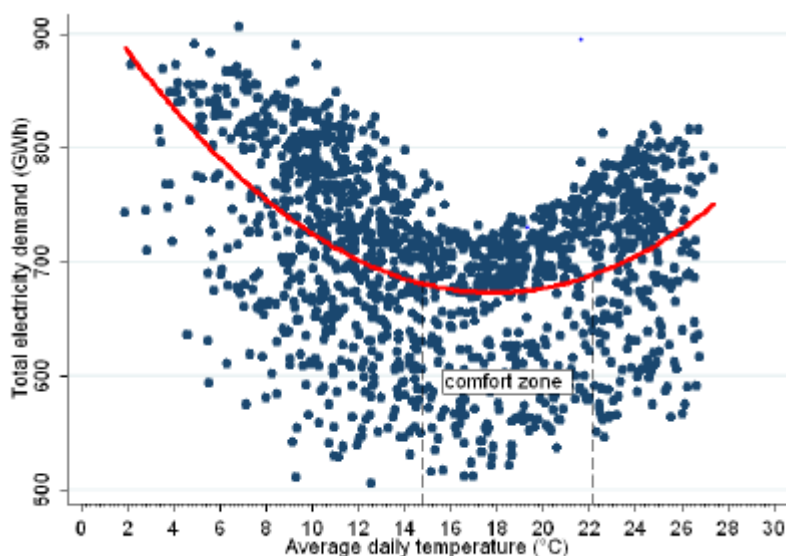
La unió europea (*Eurostat*) defineix una fórmula pròpia²¹ per establir la base de graus-dia de calefacció però no defineix una base de graus-dia respecte a la refrigeració. En general, diferents estudis efectuen els seus càlculs de graus-dia en bases diferents, no sempre de forma justificada. (taula 11).

L'estudi *Residential electricity demand for Spain: new empirical evidence using aggregated data (2012)* presenta una metodologia força innovadora per a definir les bases de graus-dia de calefacció i refrigeració. En aquest estudi es correlacionen dades de demanda elèctrica amb temperatura exterior a partir de dades diàries totals de consum elèctric a Espanya entre els anys 2007 i 2010 i s'estableix un rang pel qual l'ús d'energia elèctrica esdevé insensible al clima (gràfic 44). El seus resultats conclouen que el consum d'energia elèctrica esdevé insensible a la temperatura exterior per valors de temperatura exterior compresos entre 14,7 °C i 22,2 °C.

²¹ http://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/nrg_esdgr_esms.htm

Si bé les seves conclusions són estimacions i no apliquen al present cas d'estudi (donat que es centren en un altre àmbit geogràfic i únicament es centren en l'energia elèctrica on la sensibilitat al clima és menor que pels usos tèrmics) una aproximació similar aplicada a Barcelona ajudaria a definir bases de graus-dia de forma més objectiva.

Gràfic 44: Relació entre la temperatura exterior i la demanda d'energia elèctrica a Espanya



Font: Blázquez, Boogen and Filipini (2013): Residential electricity demand in Spain: new empirical evidence using aggregate data

L'adaptació de la metodologia de l'esmentat estudi per definir bases de graus-dia de calefacció i refrigeració consistiria en utilitzar dades històriques aparellades (*paired data*) del consum energètic per a cada ús a Barcelona amb la temperatura exterior (amb una resolució temporal diària, per exemple) i determinar un rang d'insensibilitat del consum energètic a la temperatura exterior (*comfort zone* al gràfic 44). Els valors frontera inferior i superior del rang esdevindrien les temperatures base de calefacció i de refrigeració respectivament.

Donada la manca de dades i la complexitat de dur a terme un estudi com l'anterior, s'ha decidit basar la tria en un anàlisi de la literatura existent. A continuació, s'adjunta una taula amb la relació de bases de graus dia de calefacció i refrigeració per a diferents estudis:

Taula 11: Base de temperatura a altres estudis que empen la mètrica del grau-dia (°C)

País	Autor	Document	Base Calefacció (°C)	Base Refrigeració (°C)
Espanya	Valor et al. (2001)	Daily air temperature and electricity load in Spain	18	18
Espanya	ICAEN (2003)	Els graus dia de calefacció i refrigeració a Catalunya. Resultats a nivel municipal	15/18	21
Espanya	ATECYR, IDAE (2010)	Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto	15	20
Espanya	Labandeira et. all (2011)	Estimation of Elasticity Price of Electricity with Incomplete Information	13	23
Espanya	Blazquez et al. (2012)	Residential electricity demand for Spain: new empirical evidence using aggregated data	14,7	22,2
Suïssa	Jakob et. al (2012)	Impact of Climate Change of Climate Change in the tertiary Sector of Europe	15	18
Regne Unit	Day, T. (2006)	Degree-Days: Theory and Application	18,3	18,3

Font: Barcelona Regional

Després d'efectuar càlculs dels graus-dia amb diferents valors, s'ha decidit determinar una **base de graus dia de 15 graus per calefacció i de 21 per refrigeració.**

La justificació quant a graus dia de calefacció no esdevé crítica donat que la base 15 és àmpliament utilitzada (la utilitza la Unió Europea, les normes suïsses i estudis de referència de l'IDAE i l'ICAEN). Pel que fa a la temperatura base per refrigeració, s'ha testejat la sensibilitat dels resultats a diferents canvis de base 18, 21 i 22 i s'ha considerat que la base òptima és de 21 graus. Aquesta base, com s'aprecia a la taula 11 es troba aproximadament al centre del rang de bases de refrigeració que s'utilitzen en estudis on hi apareixen els graus-dia i és una de les que es fan servir a l'estudi de l'ICAEN (únic precedent d'estudi a Catalunya que utilitza aquesta mètrica).

Havent entès a què fan referència i com es calculen els graus-dia, cal determinar ara com utilitzar la informació climàtica disponible (que s'ha presentat a l'apartat 2.1.2) per efectuar projeccions del consum a futur.

Els graus-dia per tant ens permeten identificar les hores en que no hi ha demanda d'energia per part dels edificis, així amb temperatures exteriors per sobre del llindar de la calefacció (15 °C) es pot considerar que no hi hauria demanda, i en el cas de refrigeració seria amb temperatures per sota del llindar fixat (21 °C).

Però la major dificultat rau en quantificar la demanda energètica quan si que hi ha graus-dia de calefacció o refrigeració. La resposta no serà uniforme, cada edifici respondrà d'una manera, i posteriorment per estimar el consum d'energia s'haurà de tenir en compte l'ús que fa l'usuari i les tecnologies emprades per satisfer el consum.

Sensibilitat del consum a variacions de la temperatura

Cada edifici té unes demandes energètiques d'acord amb les seves característiques constructives i els usos que fan de l'energia que utilitzen. L'efecte d'una variació de la temperatura sobre el consum energètic dels edificis es pot manifestar de manera heterogènia segons l'edifici considerat.

Com ja s'ha introduït en altres apartats, la demanda energètica d'un edifici pot ser, bàsicament, de tres tipus:

- Tèrmica: per satisfer els requeriments d'ACS, calefacció i refrigeració -que es veuen modificats per variacions del clima.
- Lumínica: per satisfer els requeriments de confort lumínic
- Elèctrica: per fer funcionar aparells elèctrics i electrònics

A l'apartat 2.1 s'enumeraven els diferents elements que condicionen la demanda d'energia. Aquí, es vol remarcar que la variació de la temperatura no afecta d'igual manera a tots els elements que prenen part en el balanç energètic d'un edifici.

La demanda energètica d'un edifici és més o menys sensible a una variació de les condicions climàtiques segons el seu disseny o les seves característiques constructives i segons la funció de l'edifici.

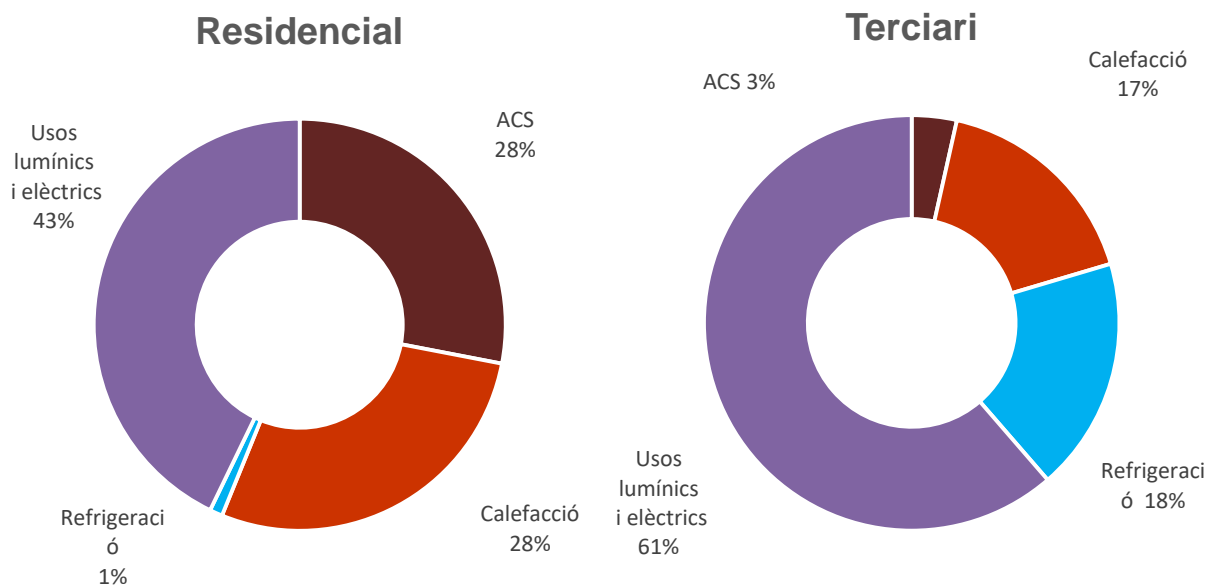
La categorització presentada a l'apartat 2.1 assignava tipologies i ratis energètics diferenciats a cada edifici per a cada ús atenent a les seves característiques constructives (sector residencial) o a la seva funció (sector terciari) donades unes temperatures determinades.

Quan es pretén actualitzar aquests ratis per efecte d'una temperatura canviant cal tenir en compte que no tots els usos d'energia es veuran afectats d'igual manera. Al llarg del document s'ha anat parlant sobre com l'estudi es restringia a avaluar aquells usos energètics considerats més sensibles a variacions de la temperatura.

En realitat, tots els usos energètics es veuen afectats en menor o major mesura quan es modifica la temperatura exterior però l'afectació sobre els usos tèrmics és significativament superior que sobre els elèctrics.

Tenint en consideració l'ús que els diferents sectors fan de l'energia, es pot determinar quant susceptible serà el consum d'aquell sector a les condicions climàtiques. Per tant, aquells edificis o sectors on el consum estigui més balancejat cap a usos elèctrics seran més resilents a variacions del clima mentre que aquells sectors on el consum energètic estigui constituït majoritàriament per usos tèrmics n'esdevindran més sensibles.

Gràfic 45: Distribució d'usos tèrmics i elèctrics a Barcelona pels sectors residencial i terciari



Font: Barcelona Regional a partir del balanç d'energia de Barcelona (Ajuntament de Barcelona)

Al gràfic 45 es posa de manifest que al sector residencial el pes que tenen els usos lumínics i elèctrics (43%) contrasta amb el 61% del terciari.

Aquestes dades recalquen la necessitat de crear metodologies diferenciades per efectuar les projeccions de consum energètic en escenaris de temperatura canviant segons el sector considerat.

2.2.2.2 Metodologia per usos tèrmics del sector residencial

Per dur a terme la quantificació de les variacions en el consum energètic al Sector Residencial en Escenaris de Canvi Climàtic es conservarà la base metodològica presentada a l'apartat 2.1.1.2. En general, l'esforç de projecció es centrarà a modificar les dades de partida (consums tipus d'ACS, ratis energètics de calefacció i refrigeració) en escenaris de canvi climàtic amb una temperatura exterior diversa.

ACS

L'anàlisi duta a terme a l'apartat 2.1.1.2 ha servit per quantificar la demanda volumètrica d'ACS per persona i dia a Barcelona i per determinar que aquesta demanda es distribueix de forma no homogènia al llarg de l'any (taula 6). La coneixença de la distribució mensual tan de les temperatures de xarxa com de les temperatures de l'aire ha permès establir una relació entre la variable climàtica i el consum.

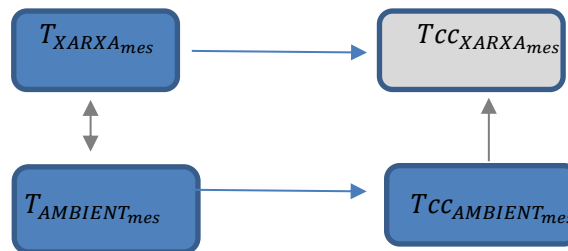
Els escenaris de canvi climàtic provoquen una variació de la temperatura exterior que s'espera modificarà la temperatura de subministrament d'aigua T_{XARXA} , i per això es suposa que la relació entre la temperatura de la xarxa i la de l'ambient mantindrà una relació anàloga a la que ja manté actualment i que es presentava a la taula 7.

Per a fer-ho es parteix de les relacions entre la variable temperatura ambient $T_{AMBIENT\ mes}$ i la variable temperatura de xarxa $T_{XARXA\ mes}$ segons el clima actual, i per les temperatures

ambient de futur s'han considerat les facilitades per l'SMC per cada model, escenari i horitzó temporal $T_{CC_{AMBIENT}}_{mes}$.

El diagrama de la imatge 14 esquematitza les variables necessàries per obtenir $T_{CC_{XARXA}}_{mes}$. En blau les variables que es consideren conegudes i, en gris, la que es desitja projectar.

Imatge 14: Metodologia per estimar la temperatura de la xarxa de subministrament d'aigua en escenaris de canvi climàtic

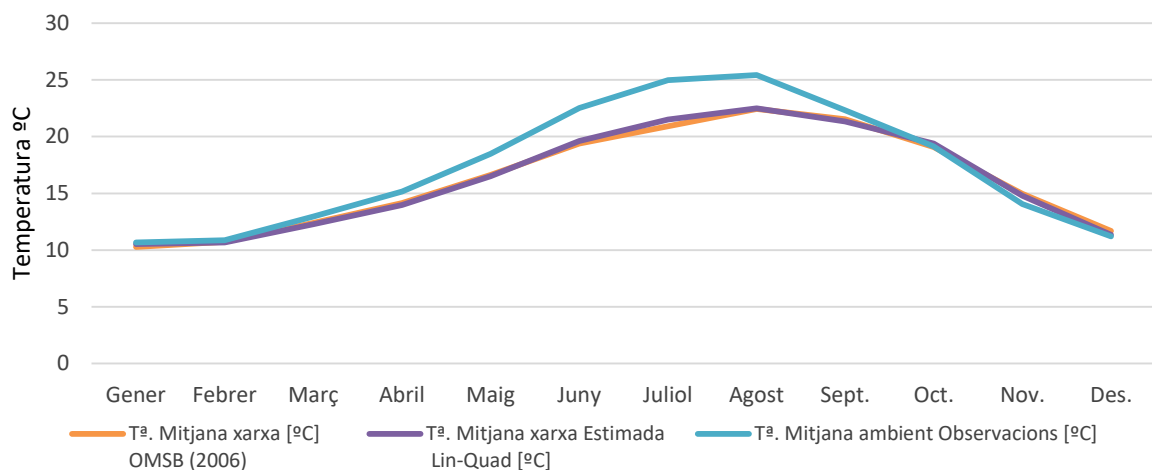


Font: Barcelona Regional

S'ha considerat la T_{XARXA} com a variable dependent i s'ha trobat la dependència que aquesta té respecte al comportament de la $T_{AMBIENT}$. L'ajust trobat ha estat lineal pels mesos de gener a Juny i quadràtic pels mesos de Juliol a Desembre.

El gràfic següent permet verificar la bondat de l'ajust que s'ha aconseguit:

Gràfic 46: Comparació de les temperatures de xarxa actuals (taronja) amb l'estimació realitzada (lila). També s'inclou la temperatura ambient mitjana (blau).



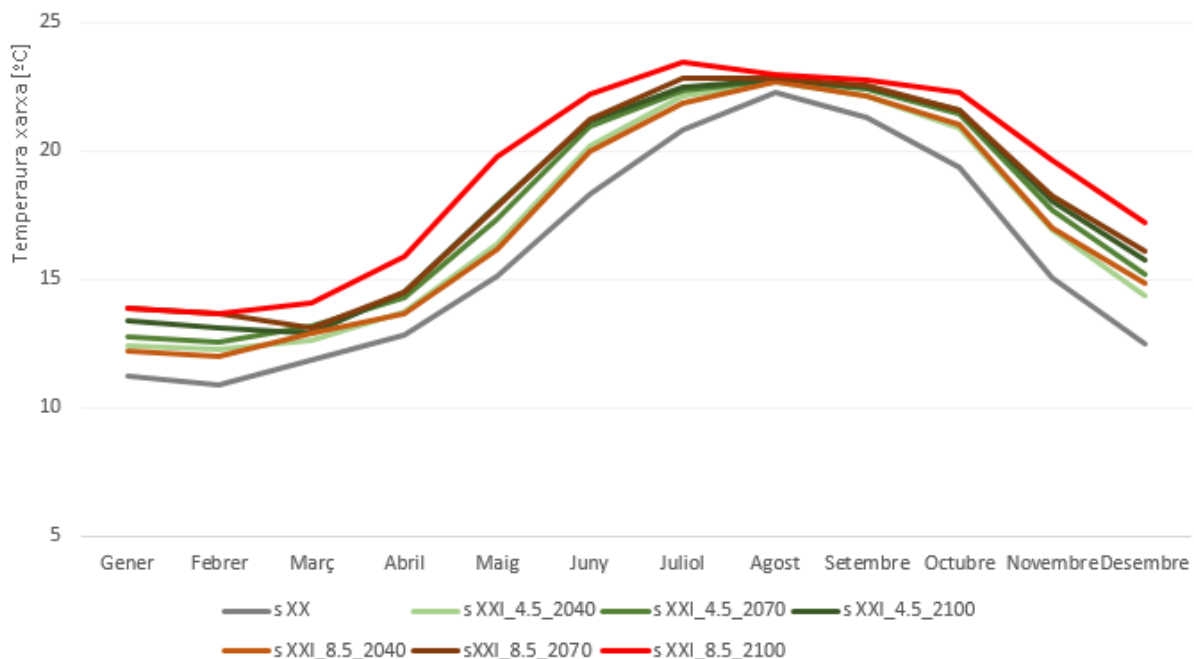
Font: Barcelona Regional

La forma de les corbes que s'observen al gràfic 46 posen de manifest que la temperatura de xarxa 'segueix' el comportament de la temperatura ambient malgrat ho faci amb un cert desfasament temporal. S'observa també, que les diferències entre ambdues corbes s'incrementen durant els mesos estivals. Aquests fenòmens es poden justificar entenent que existeix una inèrcia tèrmica major per l'aigua (temperatura de la xarxa) que per l'aire (temperatura ambient).

A partir d'aquest ajust es projecten les temperatures de xarxa futures ($T_{CC_{XARXA_{mes}}}$) utilitzant les temperatures ambient ($T_{CC_{AMBIENT_{mes}}}$) projectades per l'SMC, i es verifica que la distribució mensual de temperatures de xarxa projectades ($T_{CC_{XARXA_{mes}}}$) sigui coherent des d'un punt de vista físic.

Els resultats que s'obtenen s'adjunten a la gràfica següent:

Gràfic 47: Comparació de les temperatures de xarxa segons les aproximacions obtingudes amb dades del model canadenc.



Font: Barcelona Regional

S'observa, com passava en el cas de la temperatura ambient, que en escenaris de canvi climàtic, el perfil anual de la temperatura de la xarxa s'aplana provocant perfils de temperatures més elevades a les estacions de primavera i especialment tardor per efecte de la major inèrcia tèrmica de l'aigua en relació a la de l'aire. De nou, l'escenari 8.5 destaca sobre els altres en especial a l'horitzó 2100 on la temperatura de la xarxa podria arribar a ser fins a 5°C més gran que actualment (maig 2100, escenari 8.5). Els resultats projectats difereixen lleugerament segons el model considerat. En aquests cas es mostren els resultats obtinguts pel model canadenc que resulta ser el més extrem.

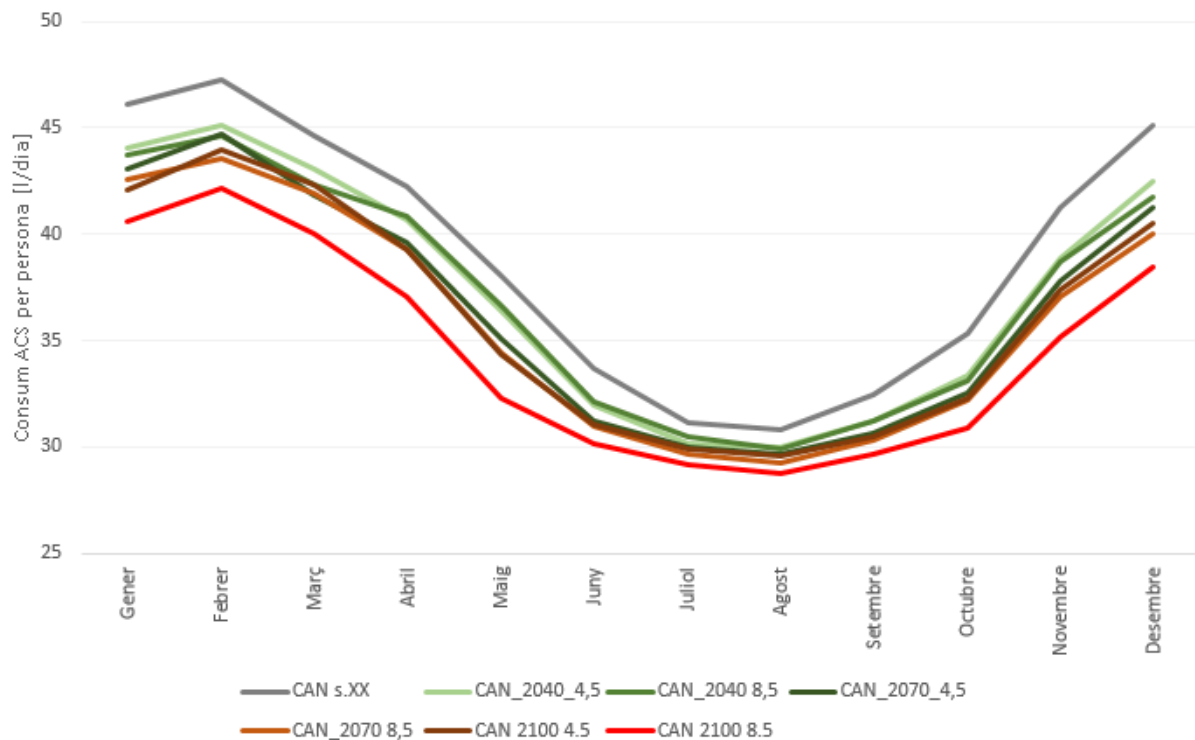
Pel càlcul del consum energètic es procedeix de manera anàloga a com s'ha procedit en el cas de l'escenari base, considerant el mateix volum d'ACS.

A banda de l'efecte purament físic de la variació del salt tèrmic per produir un mateix volum d'ACS, amb el canvi climàtic ens podem trobar un segon efecte que té a veure amb el comportament dels usuaris, i que davant d'un increment de la temperatura poden fer un menor ús de l'ACS tal com ja es mencionava a l'apartat 2.1.1.2.

De la relació establerta anteriorment entre la temperatura ambient i el volum d'ACS consumit per Barcelona, s'ha dut a terme una estimació de quines variacions de volum d'ACS es podria produir amb els escenaris de canvi climàtic.

El gràfic a continuació il·lustra el consum d'ACS per habitant i dia que s'ha utilitzat per prendre en consideració l'efecte de comportament. Els valors que es representen corresponen al model canadenc però també s'han obtingut resultats homòlegs pels models alemany i americà

Gràfic 48: Comparació del consum d'ACS diari per habitant en diferents escenaris de canvi climàtic obtinguts amb dades del model canadenc.



Font: Barcelona Regional

Els resultats anteriors posen de manifest que el consum d'ACS (en volum) en escenaris de canvi climàtic podria disminuir fins a un -11% a finals de segle segons l'escenari 8.5. Com en altres anàlisis, les diferències entre escenaris es fan més evidents a mesura que s'avança en els horitzons temporals.

A l'efecte de temperatura, doncs, s'afegeix un altre efecte associat al comportament dels usuaris. Per cada escenari de canvi climàtic, per tant, s'han realitzat 2 càlculs. D'una banda, un càlcul que únicament considera l'efecte físic del canvi climàtic (Metodologia ACS 1) i, d'altra banda, un càlcul que considerarà tant l'efecte físic com el de comportament (Metodologia ACS 2).

Calefacció

La metodologia creada proposa una modificació dels ratis energètics actuals a partir d'estudiar com evolucionen els graus-dia de calefacció quan es consideren diferents escenaris de canvi climàtic i quina és la sensibilitat a la temperatura del balanç energètic dels edificis del sector residencial.

Tal i com s'ha explicat anteriorment, el detall de la informació climàtica utilitzada (que projecta el comportament de les temperatures amb resolució horària al llarg d'un any) permet realitzar càlculs de graus-dia hora a hora esdevenint aquests més precisos que si es

fes a partir d'increments de temperatures mitjans per les diferents estacions de l'any o anuals.

La metodologia es basa en contrastar el graus-dia de calefacció actuals amb els dels diferents escenaris climàtics i determinar en quina mesura una disminució dels graus-dia modificarà el consum energètic. Per complementar aquesta contrastació cal tenir en compte la sensibilitat del balanç energètic de cada edifici a les variacions de graus-dia.

Un edifici genera un espai interior que protegeix de les condicions exteriors i garanteix un major confort pels seus ocupants.

Des del punt de vista energètic, un edifici es pot considerar com una entitat dins la qual es produeixen guanys i pèrdues energètiques que en determinen el balanç i comportament.

Els fluxos energètics a escala edifici es poden classificar en diferents categories:

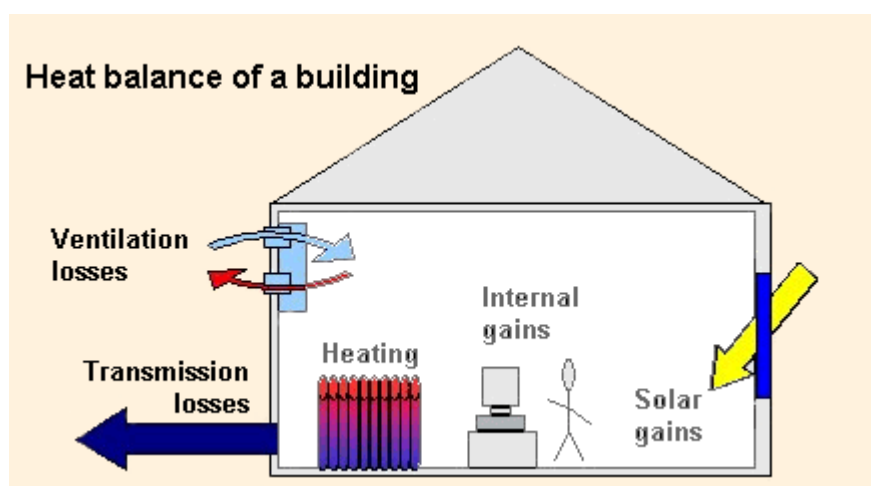
Taula 12: Relació de fonts i fugues d'energia a un edifici des d'una òptica de la calefacció

Pèrdues i guanys	Descripció
Pèrdues per transmissió i convecció	Són fluxos de calor que flueixen a través de l'envolupant a causa de fenòmens de conducció i convecció. Aquests fluxos poden tenir lloc a través dels murs, els terres, les finestres etc.
Pèrdues per ventilació o infiltració	Són fluxos de calor provocats per l'intercanvi d'aire calent interior per aire fred exterior. Les pèrdues per ventilació depenen del comportament de l'usuari i criteris de salubritat, mentre que la infiltració té lloc a través de les juntes.
Guanys Solars	Són irradiacions d'energia solar a través de finestres o altres elements constructius transparents. La irradiació solar també provoca augments de temperatura sobre l'envolupant externa (façana)
Guanys Interns	És energia provinent de les persones que ocupen l'espai, dels aparells elèctrics que hi operen i de la lluminària que s'hi utilitza.

Font: Barcelona Regional

La imatge 15 il·lustra els elements que prenen part en el **balanç energètic** d'un habitatge.

Imatge 15: Diagrama corresponent al Balanç energètic d'un edifici



Font: <http://nesa1.uni-siegen.de/wwwextern/idea/keytopic/3.htm>

La **demanda tèrmica** d'un edifici és aquella quantitat d'energia que cal aportar a través d'un equip tèrmic, per tal de garantir-hi una temperatura de confort. La magnitud d'aquesta aportació energètica ha de ser capaç de compensar la diferència entre pèrdues i guanys energètics que s'hi produeixen. Per veure quin és l'efecte d'una variació de la temperatura sobre el balanç energètic cal conèixer com es distribueixen sobre aquest balanç les categories de la imatge 15.

Barcelona disposa d'una bona aproximació de les tipologies edificatòries i dur a terme una simulació dinàmica del comportaments de cadascuna i pels diferents escenaris climàtics no hauria de ser massa costós però no s'ha pogut fer en el marc d'aquest capítol i tampoc es disposa del detall que hauria de permetre identificar en l'actualitat cadascun dels guanys i pèrdues que originen la demanda total de calefacció, així que ha hagut de recórrer a estudis de referència i aplicar-ho de forma genèrica per a totes les tipologies. Això suposa no poder afinar tant en el resultat però sí que permet tenir un primer ordre de magnitud.

Nombrosos estudis han intentat quantificar la demanda de calefacció associada a un edifici residencial tipus (ENTRANZE²²; Kaden&Kolbe,2013, Huang et al,1999) i han intentat definir com varia el comportament energètic d'un edifici quan es varien les condicions exteriors (De la Flor et al., 2006, Dirks et. al, 2015). Malgrat l'extensa literatura existent, hi ha pocs estudis que aportin dades en brut que permetin assignar pesos a cadascuna de les categories de fluxos de calor especificades a la taula 12.

Entre ells, l'estudi *Residential heating and cooling loads component analysis* va simular les necessitats de calefacció i refrigeració al Sector Edificació a EEUU desagregant el balanç energètic en les seves categories (taula 12) segons el tipus d'edifici (casa unifamiliar, bloc d'edificis), la seva antiguitat i la zona climàtica.

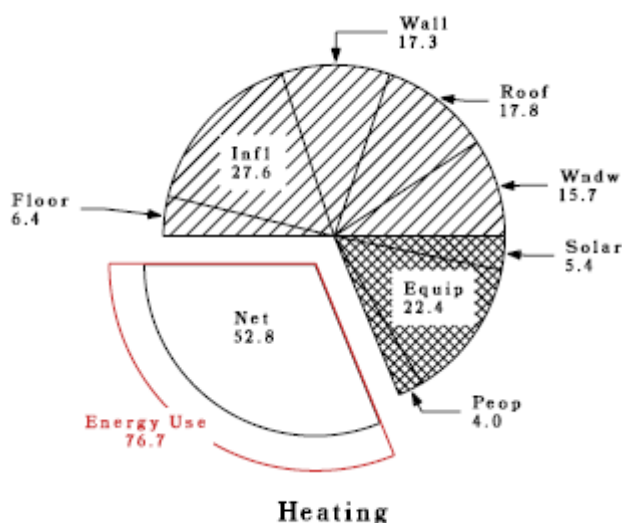
Per tal de verificar els resultats obtinguts per l'estudi i aplicar-los a la ciutat de Barcelona és necessari comprovar que existeix una certa similitud de comportament dels edificis així com una similitud quant als seus perfils de temperatura.

Com a element de comparació, es consideraran aquells resultats de l'estudi que caracteritzen el comportament energètic de calefacció del parc d'habitatges multifamiliars a la zona climàtica corresponent al sud d'EEUU.

El nombre de **graus-dia de calefacció (GDC)** que es van utilitzar per l'estudi citat va ser de 1.183 GDC que, malgrat contrasten amb els 1.094 GDC que es registren a Barcelona (a partir d'observacions històriques del període 1971-2014 recopilades per l'SMC) permeten assimilar de manera prou precisa el comportament energètic de calefacció del parc d'habitatges multi-familiars de ciutats del Sud d'EEUU amb el de Barcelona. La distribució de càrregues tèrmiques que s'obtenia a l'estudi de referència es presenta al gràfic següent:

²²ENTRANZE: Policies to ENforce the TRAnstition to Nearly Zero ENergy buildings in the EU- 27
http://www.entranze.eu/files/downloads/D2_3/Heating_and_cooling_energy_demand_and_loads_for_building_types_in_different_countries_of_the_EU.pdf

Gràfic 49: Agregat de la distribució de càrregues tèrmiques sobre el balanç energètic de calefacció dels edificis multi-familiars a la zona climàtica Sud d'EEUU (en trilions de BTU)



Font: Huang J, Hanford J, Yang F (1999) *Residential heating and cooling loads component analysis*

Tot i que els resultats s'expressen en valor absolut, la informació rellevant del gràfic 48 és el pes que es pot atribuir a cada element sobre el balanç energètic global.

Si s'obvia la partida corresponent a l'ús d'energia (zona blanc del formatget) i s'analitza pròpiament el resultat del balanç energètic per efecte de les categories dins el balanç (pèrdues per transmissió, pèrdues per infiltració, guanys interns..) s'observa que existeixen elements que suposen pèrdues de calor (zona ratllada del formatget) i elements que suposen guanys de calor (zona quadrículada del formatget).

La rellevància d'aquest diagrama radica en el fet que permet explicar que la temperatura exterior només és capaç de modificar els elements ratllats del balanç (pèrdues per transmissió per murs, coberta, finestres i infiltracions) i, en canvi, no afecta als elements de la zona quadrículada (guanys tèrmics per ocupació, equips elèctrics i lluminària i guanys solars).

Per tant, a l'hora de fer projeccions de consum energètic amb una temperatura exterior canviant, es considerarà que l'afectació d'una variació dels graus dia només té incidència sobre els elements ratllats mentre que es consideraran els elements quadrículats com a insensibles a les variacions de temperatura ambient.

Un altre aspecte que és important remarcar a partir de l'anàlisi que es deriva de la imatge 15 és que l'existència de **GDC** majors a 0 no garanteix que existeixi ús d'energia per calefacció.

Si es planteja una situació en la qual la temperatura exterior és tal que els **guanys interns** s'equilibren amb les **pèrdues a través de l'envolupant**, el consum de d'energia per calefacció que se'n derivaria seria 0.

Aquesta consideració és important donat que posa de manifest, que en eventuais escenaris de canvi climàtic on els **GDC** siguin diferents a 0, podrà donar-se un ús d'energia 0 per calefacció ja que les pèrdues de calor per transmissió i infiltració es veuran compensades pels guanys causats per la lluminària, les persones o la irradiació solar incident.

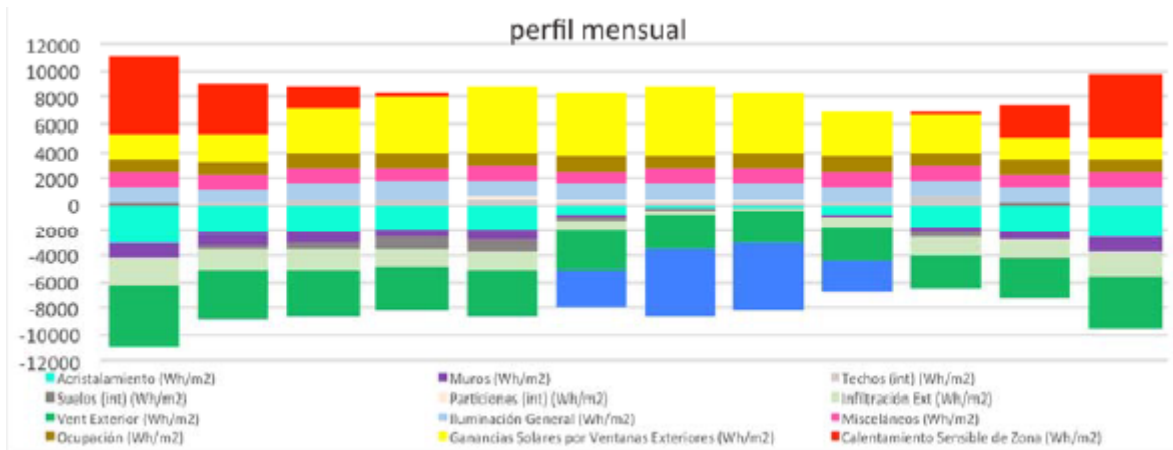
Donat que els resultats de les projeccions energètiques en base a un diagrama com el que es presenta a la gràfica 49 són molt sensibles a la variació dels valors dels elements que hi prenen part, s'ha volgut contrastar amb valors obtinguts a altres estudis.

Barcelona Regional, en el marc dels projectes previs per a un nou planejament urbanístic del Sector 12 del barri de la Marina del Prat Vermell, va dur a terme diferents estudis per a avaluar la possibilitat de dissenyar un barri de baixes emissions que fos molt curós quant a l'ús de l'energia.

Dins d'aquests estudis, a partir d'un disseny de barri elaborat a Barcelona Regional resultat d'una optimització de la volumetria, orientacions i distribució de la pell, l'enginyeria DEERNS va realitzar simulacions dinàmiques dels edificis projectats, considerant que aquests complien les directrius de la normativa actual (Codi Tècnic de l'Edificació, CTE 2013).

El resultat que es va obtenir per aquestes simulacions s'adjunta a la gràfica següent

Gràfic 50: Distribució de càrregues tèrmiques mensuals d'una de les tipologies definides pel Sector 12 de barri de la Marina (en Wh)



Font: Optimització de la demanda. Sector 12 del Barri de la Marina. Deerns SL

En aquest cas, els balanços energètics es mostren a l'eix vertical i cada balanç mensual es configura a partir de fluxos de calor de diferent naturalesa que es poden classificar segons les categories de la taula 12.

Es pot observar que la demanda de calefacció es dona en els mesos de gener a abril i d'octubre a desembre (en vermell), a partir d'ara Rang 1, mentre que la de refrigeració té lloc durant els mesos de juny a setembre (en blau), a partir d'ara Rang 2.

Quan es considera el balanç energètic del Rang 1 a partir de les dades de l'estudi americà, el rati de fluxos de balanç sensibles a variacions de la temperatura front a fluxos insensibles a la temperatura, és de 2,67 mentre que si es té en compte l'anàlisi de DEERNS, s'obtenen valors d' 1,61, 1,68 i 1,33 segons l'orientació arquitectònica (SO, NE i S respectivament) considerada.

Ens ha de sobtar aquesta discrepància? Si s'assumeix que el comportament tèrmic dels edificis hauria de millorar a mesura que les normatives esdevenen més exigents, té sentit obtenir que un parc d'edificis majoritàriament antic i vinculat a les normes constructives

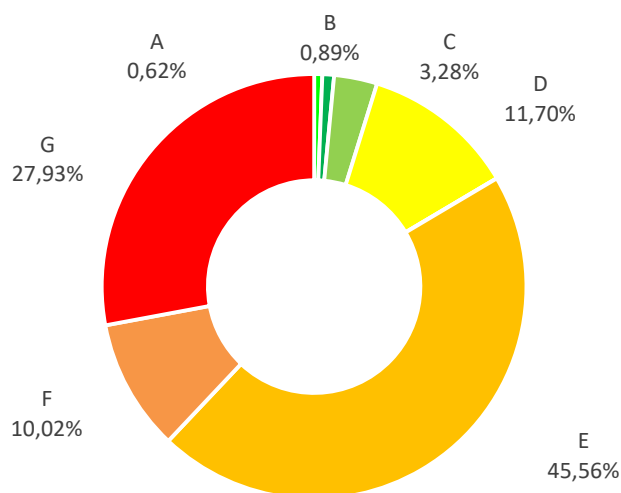
d'èpoques anteriors serà més vulnerable a canvis de la temperatura que aquells habitatges 'nous' que es regeixen per les normatives actuals.

Un bon indicador per il·lustrar la qualitat del parc d'edificis pot ser la certificació energètica, que atorga una qualificació energètica (de la A a la G) a un edifici atenent al consum d'energia necessària per satisfer la seva demanda energètica en condicions d'ocupació i funcionament normals. La categoria A representa la categoria de menor demanda energètica (millor comportament energètic) mentre que la G és la de major demanda energètica (pitjor comportament energètic).

A data 3 d'Agost de 2016 ²³ s'havien certificat, segons dades de l'ICAEN, 156.869 habitatges d'un total de 825.755 a Barcelona (segons dades de Cadastre l'any 2016) representant la fracció certificada un 19,0% del total.

Dels habitatges amb certificació energètica associada, 111.292 (13,48% del total) obtenen un valor de certificació quant a demanda de calefacció. Si s'analitza la distribució segons la qualificació energètica de calefacció de l'habitatge certificat s'obtenen els resultats de la gràfica 51.

Gràfic 51: Distribució de la certificació energètica segons la demanda de calefacció a Barcelona. Total habitatges 11.292.

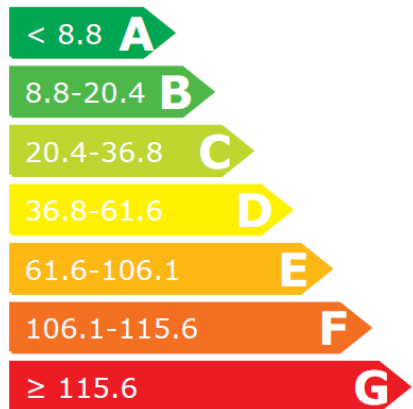


Font: Barcelona Regional amb dades de l'ICAEN

La distribució adjunta posa de manifest que el comportament de calefacció del parc d'habitatges de Barcelona dista molt del comportament que fixa el Nou CTE (Març 2014) segons el qual la demanda de calefacció no hauria de sobrepassar un llindar fixat entre 40 kWh/m² (per a pisos de 50 m²) i 27 kWh/m² (per a pisos de 150 m²) a Barcelona.

²³ Darrera base de dades disponible a data febrer de 2017 al Web de l'ICAEN (organisme encarregat de la gestió de les certificacions energètiques a Catalunya)

Imatge 16 : Distribució de la demanda tèrmica de calefacció segons la seva qualificació energètica (en kWh/m²/any)



Font: www.enertra.es

La classificació de la imatge 16, indica, en verd (qualificacions A, B i C) les demandes associades als habitatges que complirien les exigències del CTE (normativa que aplica actualment tant a edificis rehabilitats com de nova construcció).

Contrastant els valors que s'obtenen segons les certificacions energètiques de calefacció a Barcelona representades al gràfic 51 es constata que el comportament de calefacció del parc d'edificis a Barcelona és molt pobre i que només un 4,79% dels edificis certificats complirien les exigències del CTE 2013.

Aquesta anàlisi justifica el fet que s'hagi considerat, per efectuar els càlculs, una dependència del consum de calefacció envers la temperatura pròpia d'un parc d'edificis envellit i no pas d'un parc d'edificis energèticament eficient.

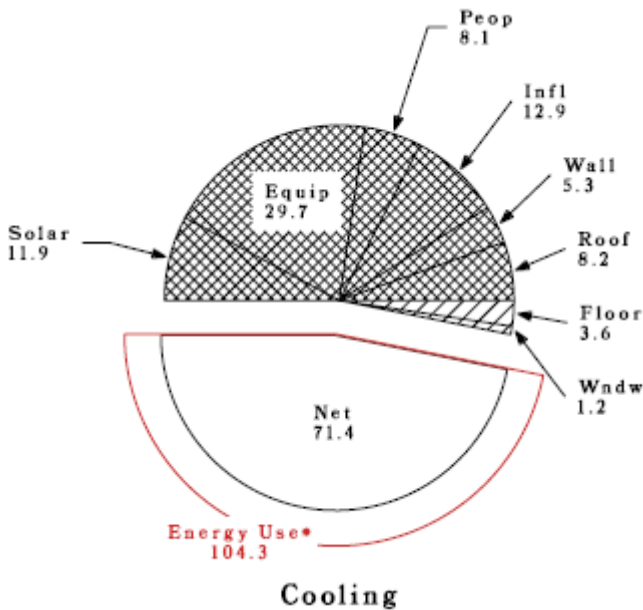
En resum, convindria efectuar una acurada diagnosi del comportament real del parc d'edificis mitjançant la simulació dinàmica, per tal de poder conèixer quines són les seves vulnerabilitats, però per manca de dades i de la possibilitat de fer aquestes simulacions s'ha optat per modificar els ratis de calefacció base (gràfic 16), específics per cada tipologia edificatòria en funció de la variació dels graus-dia però aplicat de forma lineal únicament sobre aquella part de la demanda que és sensible a la variació de la temperatura. La proporció d'aquesta variació s'extreu de l'estudi fet als EEUU pel conjunt del parc d'edificis (amb un parc variat) i de forma uniforme per a totes les tipologies però que caldria aplicar dades més representatives de l'edificació de Barcelona i diferenciada per a cada tipologia.

Refrigeració

Els principis teòrics coberts a l'apartat de calefacció apliquen, en general, també a la refrigeració. La distribució de guanys i pèrdues energètiques es reparteix de forma diferent segons l'estació considerada i, per tant, el pes que es pot atribuir a cada càrrega tèrmica és sensiblement diferent segons l'època de l'any considerada. El pes dels guanys solars de radiació a través de les finestres augmenta a l'estiu i l'ús d'energia de calefacció es substitueix per l'ús de la refrigeració.

La distribució de les càrregues tèrmiques quant a refrigeració es mostra al gràfic següent:

Gràfic 52: Agregat de la distribució de càrregues tèrmiques sobre el balanç energètic de refrigeració dels edificis multi-familiars a la zona climàtica Sud d'EEUU (en trilions de BTU)



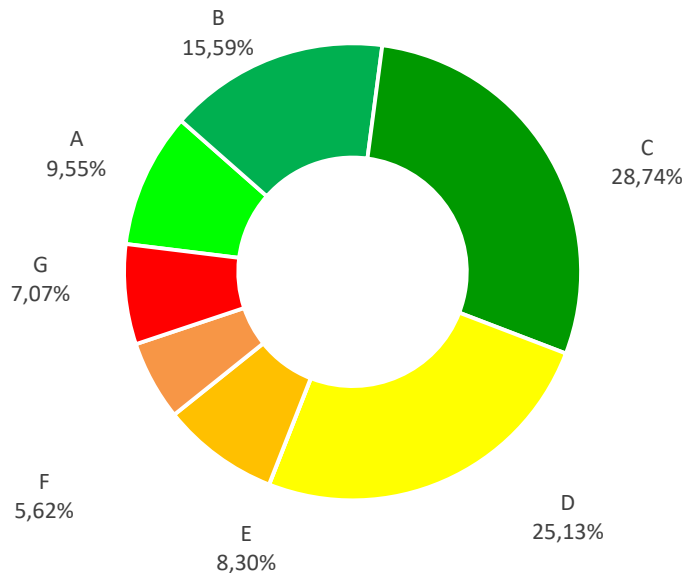
Font: Huang J, Hanford J, Yang F(1999) *Residential heating and cooling loads component analysis*

La gràfica il·lustra, que l'ús d'energia per refrigeració ha de compensar, no només les càrregues tèrmiques associables a l'efecte de la temperatura (infiltracions i transmissió de calor de l'exterior a l'interior a través de la pell de l'edifici) sinó també aquelles càrregues que es relacionen amb els guanys interns (ocupació, il·luminària i equips...) o a altres guanys com la irradiació solar directa.

S'ha tingut en compte, que una variació dels graus-dia de refrigeració tindrà una influència sobre les càrregues de transmissió (murs i coberta) i sobre els guanys per infiltració però, de la mateixa manera que per a la calefacció, els guanys tèrmics associables a l'ocupació, els equips i a la irradiació solar es consideraran insensibles a les variacions de temperatura.

Com a punt de partida, és precís determinar com es comporta el parc dels edificis quant a la refrigeració en relació a la normativa vigent en edificació.

Gràfic 53: Distribució de la certificació energètica segons la demanda de refrigeració a Barcelona. Total: 111.065 habitatges



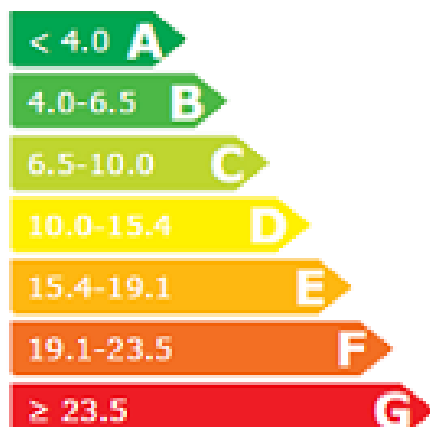
Font: Barcelona Regional amb dades de l'ICAEN

La gràfica permet identificar que, o bé que la normativa és menys estricta quant a usos de refrigeració, o que, en realitat, el parc d'habitatges de Barcelona es comporta força bé des de l'òptica de la refrigeració.

El resultat de l'anàlisi de les certificacions amb dades de l'ICAEN, posa de manifest que un 53,88% (qualificacions A, B i C) del parc d'habitatges residencial, es trobarien per sobre del criteri fixat pel CTE 2013 quant a demanda de refrigeració.

Les directives, però, podrien esdevenir més restrictives quant a usos de refrigeració si la fracció de refrigeració sobre la demanda tèrmica dels edificis residencials augmenta com és probable que succeeixi com a conseqüència d'un augment de les temperatures exteriors.

Imatge 17: Distribució de la demanda tèrmica de refrigeració segons la seva qualificació energètica (en kWh/m²/any)



Font: www.enertra.es

Per tal d'avaluar com evolucionarà el consum de refrigeració al sector residencial, es prendran en consideració 2 efectes:

- **Efecte físic:** Es relaciona amb la magnitud de la variació d'intensitat amb què es consumirà energia per refrigeració com a **conseqüència directa** del canvi climàtic. En altres paraules, pretén quantificar l'augment de consum energètic de refrigeració que es pot esperar a causa d'un augment de la temperatura exterior per un major ús d'aire condicionat.
- **Efecte Usuari:** Es relaciona amb la variació del consum provocada per un canvi de comportament de l'usuari fruit de l'increment de temperatura derivada de canvi climàtic. Aquest canvi de comportament es quantifica a partir d'un indicador que combina la saturació i grau de cobertura del mercat de la refrigeració i pretén avaluar quant augmentarà el consum de refrigeració, a causa d'aquells consumidors que, per efecte d'una augment de temperatures, adquiriran equips de climatització i en faran ús.

A l'hora d'efectuar els càlculs, es considerarà l'**efecte físic** com a homòleg del càlcul realitzat per a usos de calefacció. Com a conseqüència, la metodologia emprada partirà dels ratis de refrigeració base (gràfic 17) i els actualitzarà emprant un model lineal a partir de les variacions de graus-dia de refrigeració en escenaris de canvi climàtic -obtingudes a partir de la projecció de temperatures projectades per l'SMC- i d'uns paràmetres correctors segons la distribució de càrregues tèrmiques de refrigeració del parc residencial presentada al gràfic 52.

Diversos estudis han examinat la resposta de curt termini de l'ús d'aïres condicionats per efecte d'esdeveniments climàtics extrems. L'efecte físic és fàcilment identificable segons el qual els patrons d'ús d'aire condicionat augmenta a causa d'un increment de la temperatura exterior.

Més difícils d'identificar i predir és l'**efecte usuari** que podrien condicionar, a llarg termini, les decisions de compra d'equips de climatització dels consumidors.

Els factors que impulsen el mercat i la saturació del sector de la refrigeració es poden classificar en econòmics i en climàtics.

Els estudis orientats a projectar la saturació del mercat d'AC s'han centrat tradicionalment en analitzar l'evolució de la saturació del mercat de l'aire condicionat des d'una òptica econòmica conclouent que les generacions futures tendiran a posseir més equips d'aire condicionat, atribuint aquest increment a aspectes purament econòmics com l'abaratiment dels preus o l'augment de la renda (Wolfram et al, 2012).

En els últims temps, existeix un creixent nombre d'estudis que han intentat quantificar com evolucionarà l'adopció d'aire condicionat al futur per efecte del canvi climàtic, deixant de banda els aspectes econòmics. L'enfocament d'aquest estudi s'inclou dins d'aquest segon grup.

En general, aquells estudis que han efectuat projeccions del consum considerant només l'efecte físic o ambdós (físic i usuari) han conclòs que l'efecte del comportament de l'usuari pot arribar a ser molt més important que no pas el físic, i, per tant, s'ha considerat oportú efectuar 2 càlculs: un per l'efecte físic i un altre pels dos efectes (físic i usuari) conjuntament

La metodologia per al càlcul de l'efecte físic ja ha estat descrita anteriorment, anàloga al de la calefacció, i a continuació s'exposa l'emprada per l'efecte usuari.

L'anàlisi a realitzar requereix d'una projecció de la saturació d'aire condicionat a Barcelona en escenaris de canvi climàtic. Nombrosos estudis (Sailor and Pavlova, 2003; McNeil and Letschert, 2008; Davis and Gertler, 2015; Aufhammer, 2012, 2014) han creat models propis per analitzar l'impacte a llarg termini que el canvi climàtic pot tenir sobre la demanda de refrigeració per efecte d'un augment de la saturació d'aire condicionat.

Pel present estudi s'han utilitzat fórmules segons les quals la saturació pot definir-se com a funció exponencial dels graus-dia de refrigeració (GDR) (McNeil and Letschert, 2008; Sailor and Pavlova; 2003) i s'han adaptat atenent a les diferències de comportament de refrigeració de les diferents tipologies constructives.

Com que la saturació no és un indicador directe de la superfície climatitzada, s'ha construït un indicador (Indicador de Saturació i Grau De Cobertura, **ISGC**) basant-se en el grau de saturació obtingut a partir de les fórmules de Sailor i Pavlova i en el grau de cobertura inicial de cada tipologia edificatòria.

L'**ISGC** permet definir la fracció de superfície climatitzada en relació a la superfície construïda residencial total en funció del valor que prenen els **GDR**.

Donat que les projeccions que permeten estimar l'**ISGC** de les publicacions de referència s'han dut a terme segons el mercat d'aire condicionat nord-americà, caldrà traslladar-les a Europa i, en particular, a Barcelona.

Per a fer-ho cal conèixer el punt de partida i estudiar les perspectives pel que fa al mercat de refrigeració que es poden esperar a futur.

L'estudi de la Comissió Europea ECOHEATCOOL comparava l'any 2006 la saturació de l'aire condicionat a Europa, Japó i EEUU.

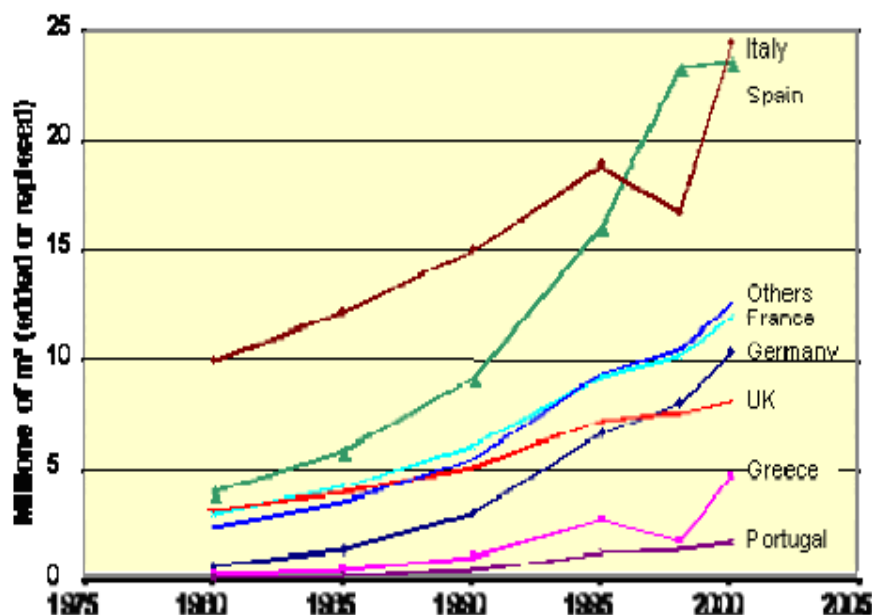
Taula 13: Comparativa de saturació estimada de la refrigeració a Europa, Japó i EEUU

(% saturation)	USA	Japan	Europe
Commercial	80	100	27
Residential	65	85	5

Font: Ecoheatcool

Si bé l'agregat Europeu manifesta una irrupció de l'AC molt reduïda (de només el 5%) una ullada a la gràfica següent permet veure que la superfície condicionada no es reparteix de forma homogènia dins d'Europa. S'observa que Espanya i Itàlia es troben molt per sobre dels altres països, i per tant, adoptar les dades de la taula 13 no seria consistent.

Gràfic 54: Evolució de l'àrea total refrigerada entre 1980 i 2000 a diferents països de la UE



Font: EECAC Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners

A escala europea l'estudi *The European Cold Market (2006)* de la comissió Europea incloïa una estimació de la superfície climatitzada pel conjunt d'Espanya i li atorgava uns valors entre el 25 i el 35% respecte del total de superfície construïda residencial.

A escala estatal, l'estudi *Análisis del consumo energético del sector residencial en España* inclòs dins del projecte SECH-SPAHOUSE coordinat per la comissió Europea i l'IDAE estimava que de les llars de l'Estat Espanyol, un 48,9% disposaven d'un equip d'aire condicionat l'any 2011.

A escala Catalunya, l'estudi *Estudi de caracterització del parc existent d'edificis d'habitatge de Catalunya. Definició de les tipologies més representatives, així com els paquets de mesures òptimes per a la millora de l'eficiència energètica amb la seva avaluació econòmica, (AHC i ERF, 2014- Projecte MARIE)* coordinat per l'ICAEN, el percentatge d'habitatges amb aire condicionat a Catalunya era, l'any 2014 del 44,17%.

Finalment, dades del cens 2001²⁴, estimaven que del total de 594.452 habitatges de Barcelona, 123.547 comptaven amb un equip de refrigeració representant aquests un 26% del total.

Malgrat les dades són dispars segons l'estudi considerat i força desactualitzades si es volen per a l'àmbit geogràfic de Barcelona, una anàlisi de les xifres aportades pels diferents estudis permet establir al voltant de quin valor es pot considerar 'saturat' el mercat de refrigeració a Barcelona.

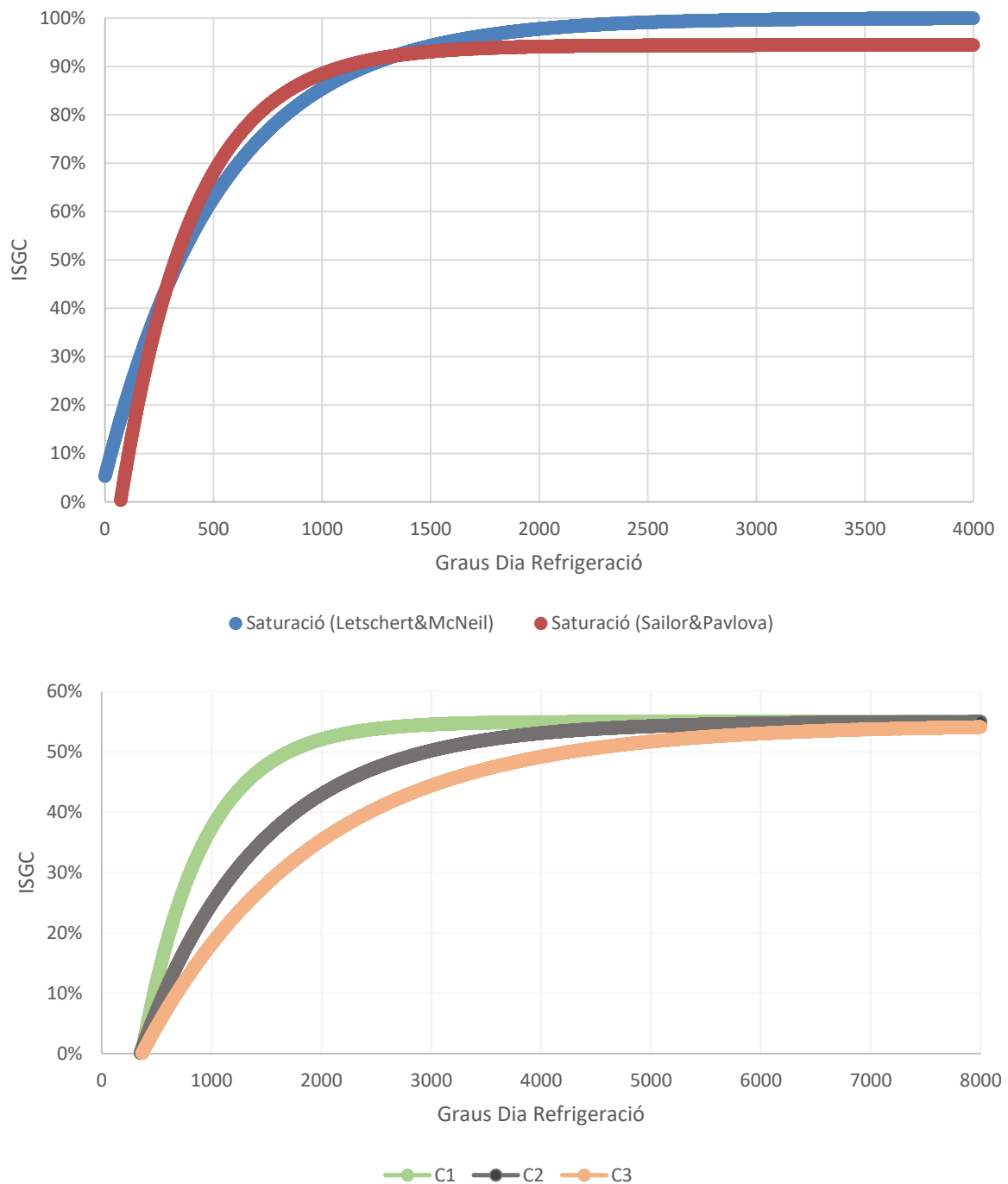
Tenint en compte que amb les tendències d'aire condicionat a Estats Units s'aconseguiria un **ISGC** del 70% de superfície climatitzada (donat que sovint no es climatitza tot el sòl

²⁴ El cens 2011 no obtenia dades quant a equips de refrigeració.

residencial) amb els **GDR** actuals a Barcelona, segons les fórmules de les publicacions esmentades, es pot projectar que a Barcelona l'índex **ISGC** es saturarà a un llindar del 55% independentment dels **GDR** considerats.

A continuació es mostra l'evolució de l'**ISGC** a EEUU (gràfic 55 (a)) i la readaptació que s'ha fet per adequar-la a Barcelona:

Gràfic 55: (a) Evolució de l'ISGC a EEUU segons els 2 estudis de referència i (b) Evolució de l'ISGC a Barcelona amb els graus dia de refrigeració (base 18 per coherència amb la publicació) segons la readaptació realitzada.



Font: Barcelona Regional basat en Estudis de Letschert&McNeil i Sailor&Pavlova

El gràfic 55(b) posa de manifest 3 evolucions de l'**ISGC** diferenciades. D'acord amb la naturalesa de l'**ISGC**, específic per a cada tipologia, s'han classificat les tipologies constructives en 3 grups segons el seu rati de refrigeració de referència:

- C1: H2 i H8
- C2: H1, H5, H6, H7 i H9
- C3: H3 i H4

El grup C1 és el grup de tipologies amb major rati de demanda de refrigeració, el grup C2 correspon a les tipologies de demanda de refrigeració mitjana i el grup C3 aglutina les tipologies de rati de refrigeració baix.

Els criteris per a dur a terme la projecció al gràfic 55 (b) han estat:

- Que l'**ISGC** a l'escenari de referència es correspongui amb la del parc d'habitatges de la ciutat pels **GDR** inicials.
- Que la saturació convergeixi, a partir d'uns graus dia específics per a cada conjunt, al valor llindar d'**ISGC** del 55% establert anteriorment.

L'observació de la gràfica posa de manifest una major sensibilitat al clima de la categoria C1 (rati de refrigeració de referència gran) que la categoria C3 (rati de refrigeració de referència petit).

Les projeccions del gràfic 55(b), combinades amb els ratis de refrigeració inicials i amb les variacions de graus-dia experimentades per efecte del canvi climàtic permeten obtenir un resultat de **refrigeració de canvi climàtic** que té en compte tant l'efecte físic i l'efecte usuari.

2.2.2.3 Metodologia per usos tèrmics del sector terciari

Com ja s'ha introduït a l'apartat 1.3.3, la demanda d'energia del sector residencial és més sensible a variacions de les variables climàtiques que el sector terciari, en part perquè les càrregues internes en aquest tipus d'ús són molt més importants que al sector residencial, a més independentment de la intensitat de l'ús, i en part, perquè en general, el sector terciari té una ràtio de superfície d'envolupant menor en relació a l'àrea interior (Brown et al., 2015), a banda que molts cops la superfície vidriada té molt més pes i per tant la radiació solar també té una major incidència sobre la demanda.

Aquestes consideracions justifiquen la necessitat de crear una metodologia de projecció lleugerament modificada en relació a la metodologia utilitzada pel sector residencial.

La manca de dades provoca que es consideri una mateixa metodologia pel conjunt del terciari i no es particularitzi la projecció de canvi climàtic de forma diferent segons el subsector (comercial, oficines, hotels, restaurants i esportiu). L'element diferencial és té en compte únicament en el rati base que s'utilitza que sí que és específic per subsector.

ACS

Utilitzant les dades de temperatura de xarxa de canvi climàtic projectades segons la metodologia especificada pel residencial, s'actualitzen els ratis de referència del PECQ,

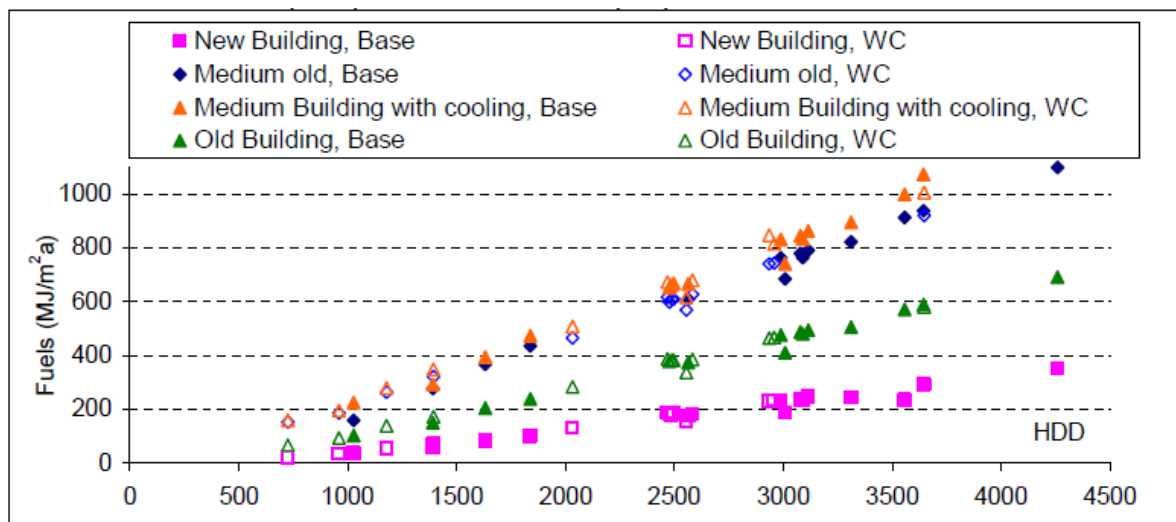
específics per subsector, variant el salt tèrmic per assolir els 60°C que requereix l'ACS, al igual que s'ha fet en el sector residencial per avaluar l'efecte físic. En aquest cas es considera que no hi ha possible variació (significativa) en el comportament i per tant no s'ha avaluat.

Calefacció

Diversos estudis (Aebischer et al., 2007; Jakob et al. 2007), han desenvolupat metodologies per avaluar els potencials impactes del Canvi Climàtic sobre el consum de calor i fred del sector terciari a Europa. Les projeccions que es realitzen a aquest estudi agafen com a referència l'estudi *Impact of climate change in the tertiary sector of Europe (EU27+2), 2007* en el qual es duen a terme simulacions d'edificis d'oficines tipus als diferents països de la UE en un escenari de temperatura actual i en un altre de canvi climàtic i s'analitzava l'evolució el consum energètic de calefacció segons l'antiguitat de l'edifici considerat (nou, mitjanament antic, mitjanament antic amb refrigeració i antic).

Les constatacions de l'estudi citat serveixen com a referència per establir les relacions entre graus dia i consum energètic.

Gràfic 56: Impacte del canvi climàtic sobre la demanda de fuels per calefacció d'edificis d'oficines com a funció dels GDC en el cas base (base) i l'escenari de CC (WC)



Font: Jakob et al., 2007. Impact of climate change in the tertiary sector of Europe (EU27+2)

Es pot observar que el comportament dels edificis nous és menys sensible a variacions dels GDC que els edificis antics, sent els mitjanament antics els més sensibles. Per coherència amb l'antiguitat dels edificis de l'estudi es fixa el comportament dels edificis vells com a referència. A més, donat que la gràfica anterior representa punts que s'associen a cadascuna de les diferents localitzacions geogràfiques considerades a l'estudi (13 a diferents països de la UE) s'escull tenir en compte únicament les evolucions a les ciutats del Sud d'Europa (Madrid, Marsella, Roma i Atenes).

La comparació dels **GDC** de partida d'aquestes localitzacions amb els **GDC** de partida de Barcelona (en base 18°C per coherència amb la publicació) permet establir prou satisfactòriament una evolució del consum front als graus-dia per Barcelona que es troba confinada entre les evolucions de Marsella (superior) i Roma (inferior).

Aquesta constatació permet definir un perfil tipus d'evolució del rati de consum de calefacció base front els **GDC** i definir la sensibilitat del consum energètic a les variacions dels **GDC** que es quantifica a través d'un factor d'aplicació que corregeix amb un pendent determinat la relació lineal entre els **GDC** base i els **GDC** de canvi climàtic.

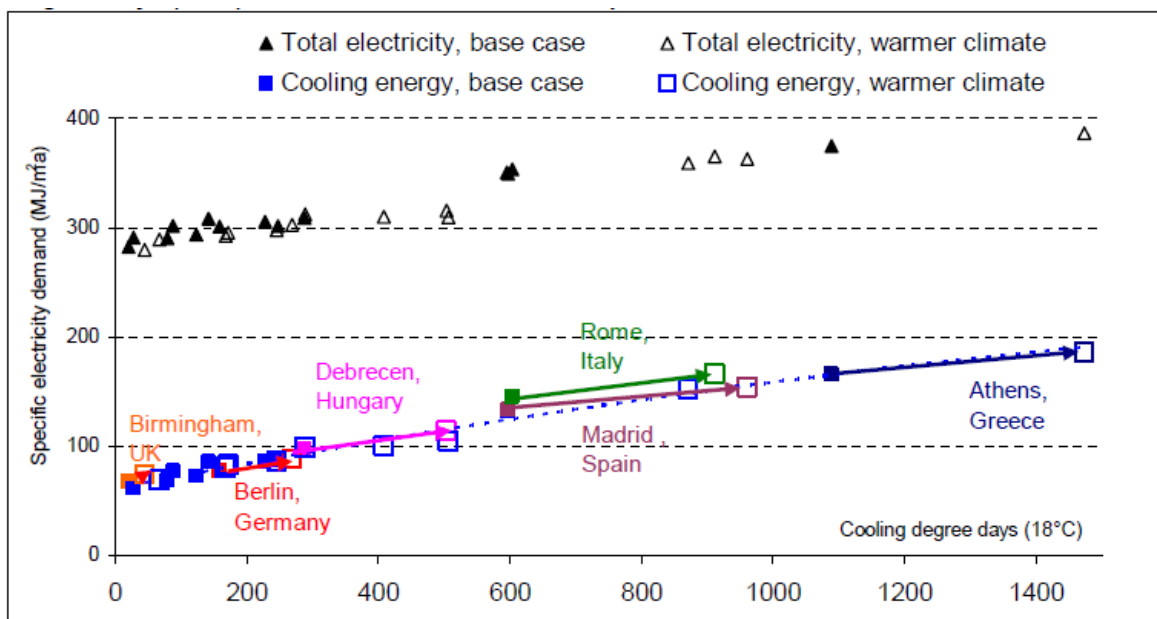
La metodologia descrita permet actualitzar els ratis de calefacció de base a ratis de calefacció de canvi climàtic donats els **GDC** associats a cada escenari.

Refrigeració

De la mateixa manera que s'ha fet per a la calefacció i considerant dades del mateix estudi de referència, es procedeix a definir un pendent tipus que, a partir de conèixer els **GDR** de referència de Barcelona i els de les localitzacions incloses a l'estudi, permeti actualitzar els ratis de refrigeració base de cada subsector.

En aquest cas, les dades de l'estudi de referència es refereixen a **oficina nova** i s'adjunten al gràfic següent:

Gràfic 57: Impacte del Canvi Climàtic sobre la demanda de fuels per calefacció d'edificis d'oficines com a funció dels GDC en el cas base (base) i l'escenari de CC (WC)



Font: Jakob et al.,2007. Impact of climate change in the tertiary sector of Europe (EU27+2)

Malgrat els **GDR** de referència a Barcelona (749) es troben confinats entre els **GDR** d'Atenes (superior, 1089) i els de Roma (inferior, 604) el fet que Barcelona es trobi al mig i prou distanciada de les dues ciutats provoca que definir l'evolució del consum de refrigeració en escenaris de canvi climàtic a Barcelona no sigui tan directe com en el cas de calefacció.

S'identifica que mantenint el factor envolupant tèrmica constant (com a l'estudi de referència) una variació el consum pot associar-se a els **GDR** de l'escenari de referència o a la variació de **GDR** provocada per efecte del canvi climàtic. Es pot observar que un augment d'un grau- dia té una influència sobre el rati de refrigeració menor, quant més a la dreta de la gràfica s'està.

S'ha assimilat l'evolució del rati de refrigeració a la ciutat més pròxima quant a **GDR** de base (Roma) la qual cosa implica una relació del consum de refrigeració més sensible a les

variacions dels **GDR** que la que s'hagués obtingut si s'hagués assimilat a comportament de refrigeració d'Atenes.

Aquesta anàlisi ha permès determinar un factor de sensibilitat del consum de refrigeració als **GDR**, homòleg a l'obtingut pel cas de la calefacció, que ha permès actualitzar els ratis de refrigeració de base a ratis de refrigeració de CC donats els **GDR** associats a cada escenari de canvi climàtic.

2.2.3 Avaluació de l'efecte del canvi climàtic sobre els consums tèrmics de la ciutat

Un cop exposada la metodologia, en aquest apartat es presenten els resultats sobre l'avaluació dels diferents escenaris del canvi climàtic sobre els consums tèrmics del sector residencial i terciària de la ciutat de Barcelona.

Aquest anàlisi s'ha fet per a cada **horitzó temporal** (2040, 2070 i 2100) i segons l'**escenari climàtic** (RCP 4.5 i RCP 8.5).

A continuació es fan una sèrie d'aclariments sobre diferents aspectes que poden ser d'utilitat a l'hora d'entendre i interpretar els resultats obtinguts.

- **Model:** Les projeccions de temperatura efectuades per l'**SMC** retornen resultats variables segons el model utilitzat a l'hora de realitzar la regionalització de les variables climàtiques. Projeccions de temperatures diferents deriven en projeccions de consums energètic també diferents. La majoria de gràfiques d'evolució temporal fan referència als resultats obtinguts segons cadascun dels models que es referencien segons els diminutius:
 - ALE (alemany)
 - AME (americà)
 - CAN (canadenc)
- **Metodologia:** Per dur a terme la projecció d'ACS de canvi climàtic al sector residencial s'han efectuat 2 càlculs segons si es considera l'efecte físic de la variació de temperatura (Metodologia 1) o l'efecte físic i el de comportament (Metodologia 2). Anàlogament, per projectar el consum de refrigeració de canvi climàtic s'ha realitzat un càlcul que té en compte l'impacte físic de l'alteració de les temperatures (Metodologia 1) i un altre que té en compte l'impacte físic i el de comportament o increment d'instal·lacions (Metodologia 2). Quan s'agreguen els resultats, la combinatòria dóna lloc a 4 metodologies, però en el present treball ens centrarem les metodologies que dóna lloc a valors més extrems:
 - **M1:** ACS CC Metodologia 1 +Calefacció CC+ Refrigeració CC Metodologia 1
 - **M2:** ACS CC Metodologia 2+ Calefacció CC+ Refrigeració CC Metodologia 2

Amb l'objectiu de facilitar la comprensió s'estableix una llegenda tipus que ajuda a la lectura dels resultats. A continuació es descriu la simbologia gràfica que diferencia el model, la metodologia i l'escenari considerat.

- **Model:** S'utilitza un tipus de línia diferent per a cada model.
 - Alemany -----
 - Americà
 - Canadenc —————
- **Metodologia:** S'utilitza un gruix de línia prim per la metodologia M1 (efecte físic del canvi climàtic) i un gruix de línia ample per la metodologies M2 (efecte físic i de comportament del canvi climàtic sobre cadascuna de les variables).
- **Escenari:** S'utilitza el color per diferenciar l'escenari RCP 4.5 del RCP 8.5

2.2.3.1 Sector residencial

L'anàlisi del sector residencial posa de manifest, en global, un descens del consum d'energia per a usos tèrmics força pronunciat. La disminució es va fent més intensa a mesura que s'avança en els horitzons temporals considerats i existeix una diferència prou clara entre l'evolució de l'escenari 4.5 en relació al 8.5.

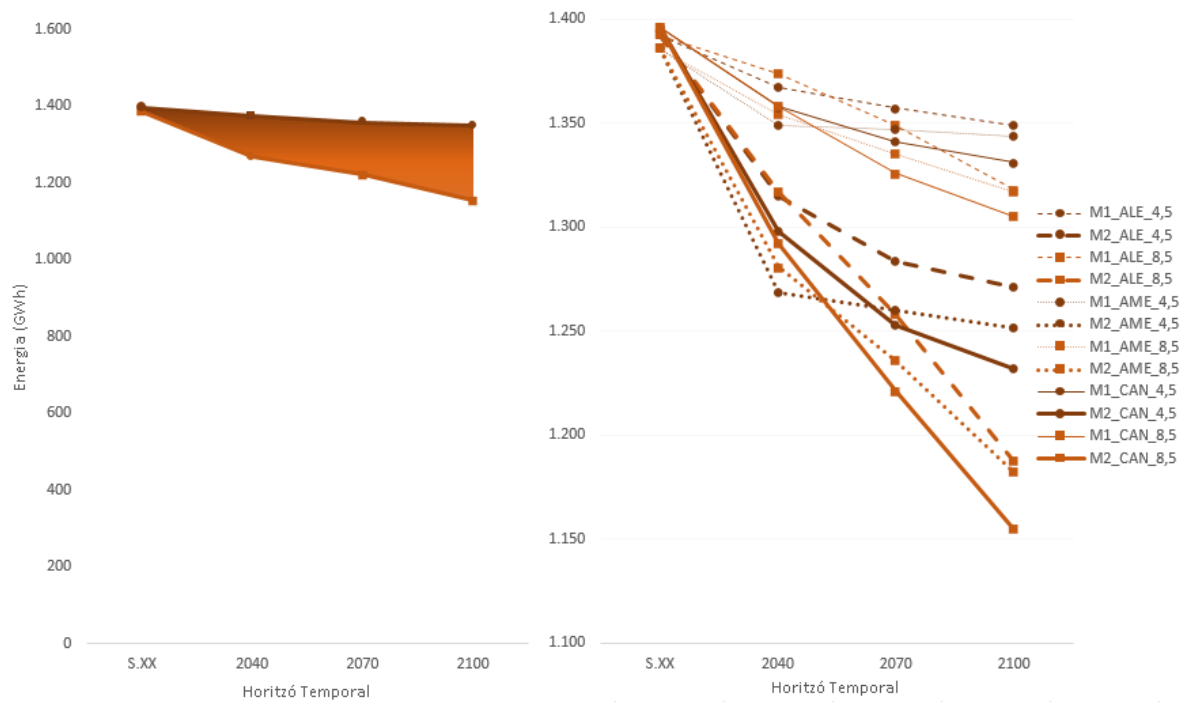
Aquesta disminució però no es produeix a totes les variables. L'ACS i la calefacció sí que tenen aquesta tendència a la baixa, especialment amb la calefacció, però per contra la refrigeració s'incrementa. Això fa que en balanç global el descens no sigui tan fort ja que hi ha valors que es compensen, però si s'avalua per cadascun d'aquest usos les variacions són força importants.

S'observa que les variacions de consum més brusques es produeixen entre el moment actual i l'horitzó temporal del 2040 excepte en els cas de la refrigeració on aquest comportament no resulta tan clar.

En general, els resultats obtinguts a partir el model Canadenc s'associen a canvis més forts en el desglossament per usos malgrat l'efecte de compensació provoqui que, en alguns casos, l'agregat segons dades del model americà sigui el que obté els resultats amb major variació del consum total.

A continuació, es presenten els resultats desglossats per ús i s'explicita l'evolució temporal del consum per als diferents usos diferenciant segons model, metodologia i escenari.

ACS

Gràfic 58: Evolució temporal del consum energètic per ACS al sector residencial en escenaris de canvi climàtic

Font: Barcelona Regional

L'anàlisi de l'evolució temporal del consum d'ACS il·lustra una tendència a un descens del consum que es manifesta tant pels efectes físics (M1) del canvi climàtic com pels efectes físics i de comportament (M2). Les projeccions mostren disminucions més accentuades del consum a mesura que hom s'allunya de l'escenari actual.

Pel que fa a les diferències segons la metodologia emprada, les projeccions que només quantifiquen l'efecte físic (M1) s'agrupen a la part superior del gràfic 58 (b) i les que quantifiquen l'efecte físic i de comportament (M2) a la part inferior. Aquesta verificació permet concloure que la variació de consum provocada per l'efecte de comportament no és menyspreable. De fet, s'observa que l'efecte de comportament té una incidència major sobre el consum que l'efecte físic.

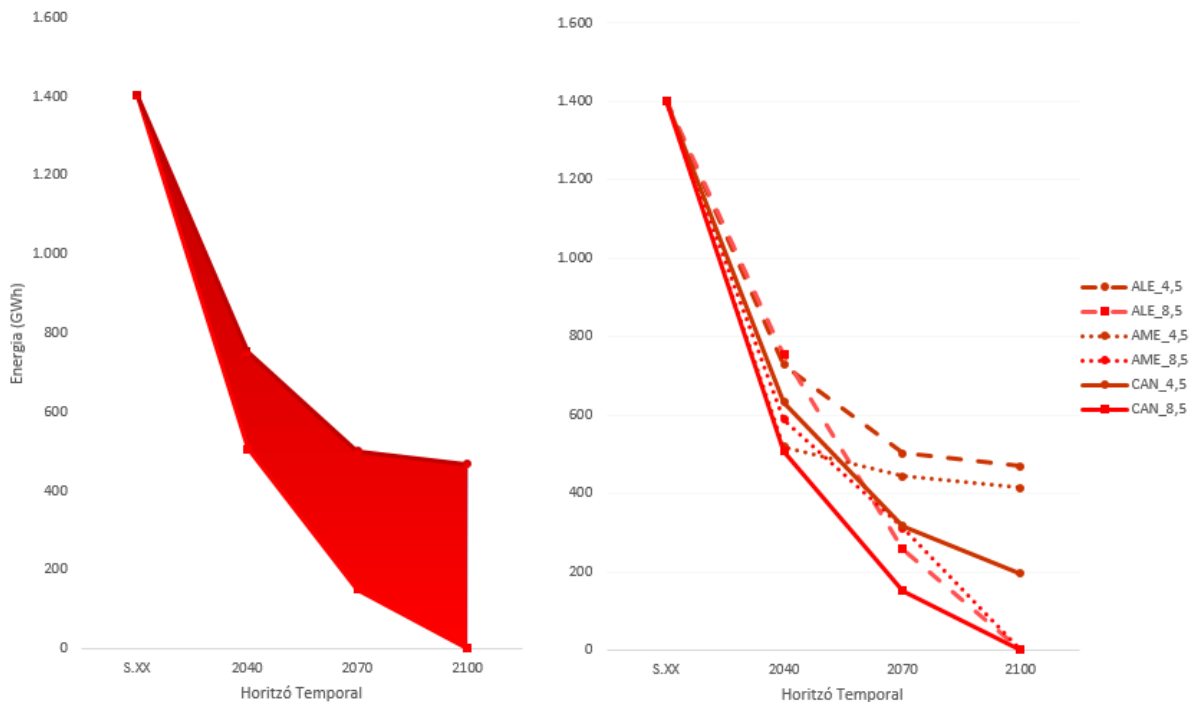
Els resultats obtinguts mostren que les projeccions associades a l'escenari 8.5 provocarien davallades de consum més grans que les de l'escenari 4.5.

Els resultats més extrems (major variació de consum) s'obtenen pel període 2071-2100 segons el Model Canadenc a l'escenari 8.5 on la disminució d'ACS podria ser del -6,5% (només físic) i del -17,2% (físic + comportament) mentre que en l'escenari 4.5 s'obtidrien, segons el Model Alemany, variacions del -3,1% i del -8,5% respectivament.

Tot i tenir aquest anàlisi desagregat territorialment (l'estimació s'ha fet a nivell de parcel·la), el fet de que aquest variable depengui principalment dels nombre de persones fa que aquest anàlisi no aportari informació rellevant i només es tindrà en compte a l'hora de fer l'agregat territorial.

Calefacció

Gràfic 59: Evolució temporal del consum energètic per calefacció al sector residencial en escenaris de canvi climàtic



Font: Barcelona Regional

Les projeccions dibuixen una radical caiguda del consum de calefacció a mesura que ens apropem a l'any 2100.

En primer lloc, és important destacar la gran variació en els resultats que s'obtenen en l'escenari 4.5, a finals de segle, en funció del model considerat. Per contra, en l'escenari 8.5, tot i que segurament en els tres models igualment es podrien trobar diferències per les variacions de temperatura i graus-dia de calefacció, el fet de que tots convergeixin a un consum nul de calefacció uniformitza el resultat final.

Segons l'escenari 4.5 es podrien produir reduccions de consum de calefacció al voltant del 50% (segons el model alemany) mentre que aquestes esdevindrien del 86% considerant el model Canadenc.

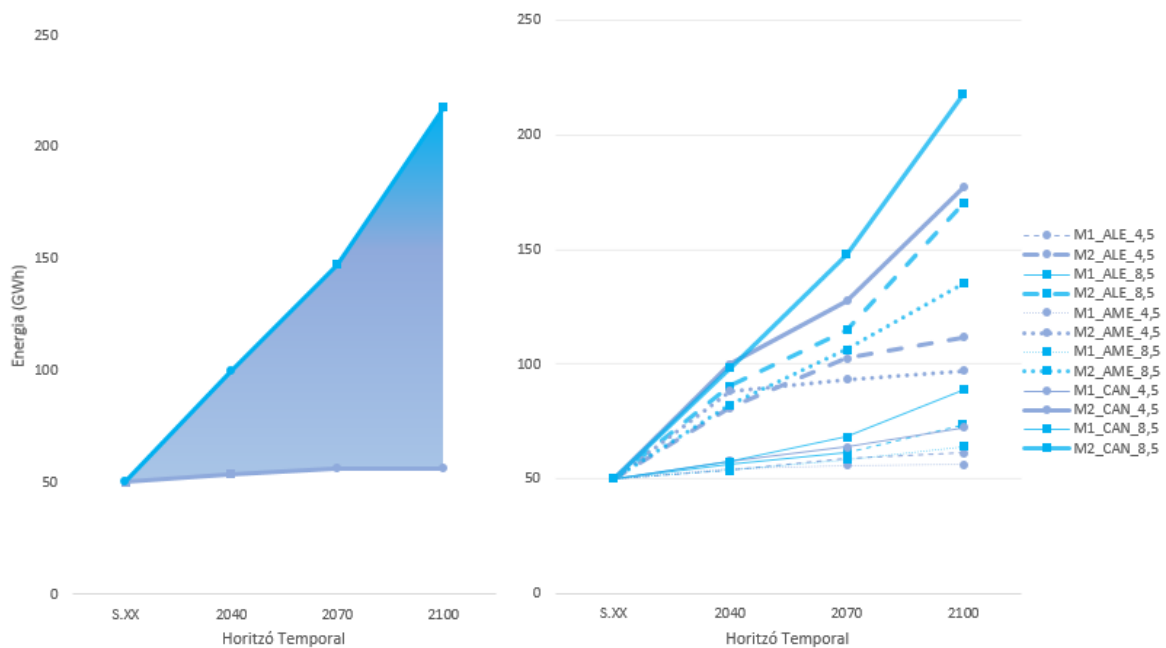
És rellevant constatar que el consum de calefacció del sector residencial a Barcelona podria reduir-se fins a un valor zero l'any 2100 en l'escenari 8.5. Aquest valor nul però ve condicionat a la metodologia emprada i les simplificacions realitzades pel que fa a la distribució de les càrregues de calefacció. La possibilitat de disposar de dades més detallades i acurades i sobretot la possibilitat de dur a terme simulacions dinàmiques per les diferents tipologies podria plantejar variacions en els resultats finals. En qualsevol cas, és d'esperar una reducció dràstica en els consums de calefacció en cas que ens veiéssim abocats a l'escenari RCP 8.5.

Com en el cas de l'ACS, s'ha optat per no detallar l'anàlisi territorial d'aquesta variable perquè es considera que l'efecte del canvi climàtic en aquest cas no és crític, no incrementa la vulnerabilitat, sinó que afavoreix un menor consum per garantir aquest ús. Si que podem

comentar que es poden veure diferències rellevants dins del territori sobre l'impacte del canvi climàtic, sobretot en l'escenari 4.5, i aquestes diferències es deriven de la distribució no uniforme de les tipologies edificatòries.

Refrigeració

Gràfic 60: Evolució temporal del consum energètic per refrigeració al sector residencial en escenaris de canvi climàtic



Font: Barcelona Regional

Com es podria haver intuït, l'únic ús tèrmic que experimenta majors consums en escenaris de canvi climàtic que en l'escenari de Referència és el de la refrigeració. Donat que el consum de refrigeració de Referència al sector residencial era molt petit en relació al total (1%), el gran augment de consum en termes relatius que té lloc no esdevé tan important quan es consideren els valors absoluts, sobretot si es posa en relació als altres consums tèrmics com l'ACS i la calefacció.

L'anàlisi de les projeccions efectuades permet concloure, com s'enunciava anteriorment, que l'efecte físic per l'increment de temperatura i increment dels consums de les instal·lacions ja existents té una afectació significativament inferior sobre el consum de refrigeració en escenaris de canvi climàtic que si s'inclouen els possibles efectes de comportament o increment del nombre d'instal·lacions de refrigeració. En altres paraules, els efectes del canvi climàtic (ometent efectes econòmics) provocaran un augment generalitzat d'adquisició d'equips d'aire condicionat i la superfície climatitzada a Barcelona augmentarà de forma generalitzada. Aquests efectes encara podrien ser força superiors si a banda consideréssim els factors de creixement econòmic o altres possibles factors, però ja s'ha explicat que en aquest capítol l'únic factor considerat és el climàtic.

Els resultats posen a la vista que l'augment de consum d'aire condicionat en l'escenari més crític (8.5) segons el model Canadenc i per a l'horitzó 2071-2100 per efecte d'un ús més intensiu del parc d'equips de refrigeració actuals seria d'un 77% (M1) mentre que si es

considerés el consum que esdevindria en un parc d'equips ampliat (conseqüència indirecta dels impactes del canvi climàtic) els augments que s'obtidrien serien del 333% (M2).

Una comparació entre els models remarca que el model Canadenc és clarament el que retorna valors més extrems tant si es considera l'escenari 8.5 com el 4.5. És sorprenent la gran disparitat de resultats que s'obtenen segons el model utilitzat. Aquest fet podria explicar-se, sobretot en el cas de la metodologia M2, si es considera que la sensibilitat de l'ús de la refrigeració a la temperatura és més elàstica per valors de temperatura moderats i esdevé inelàstica quan s'assoleix un determinat llindar a partir del qual la refrigeració ja no és un luxe sinó una necessitat, i aquest fet aniria lligat a l'evolució del grau de cobertura en funció de la variació del graus-dia de refrigeració ja descrita a l'apartat de metodologia.

A la comparativa amb la situació de referència es detalla el diferent comportament de les tipologies edificatòries i com això té una incidència major o menor sobre els increments que es poden esperar pel que fa a la refrigeració. El fet que la distribució d'aquestes tipologies no sigui uniforme a la ciutat fa que sigui d'especial interès dur a terme una anàlisi territorial i veure quin barris o zones de la ciutat podrien veure's més afectats pel canvi climàtic i per tant quines podrien ser més vulnerables als increments de temperatura i això podria tenir com a conseqüència un increment dels consums dels habitatges que disposin d'aire condicionat i també incrementar el nombre d'instal·lacions. Aquestes variacions podrien tenir una repercussió sobre les xarxes de distribució del territori, especialment pel que fa a les puntes.

A més dels resultats desagregats per tipologia, és interessant veure com la distribució d'aquestes tipologies a la ciutat provoca una variació de consum esperat de refrigeració que es veu més accentuat a certes zones de la ciutat. A aquests efectes s'adjunten un seguit de mapes que il·lustren aquests fenòmens.

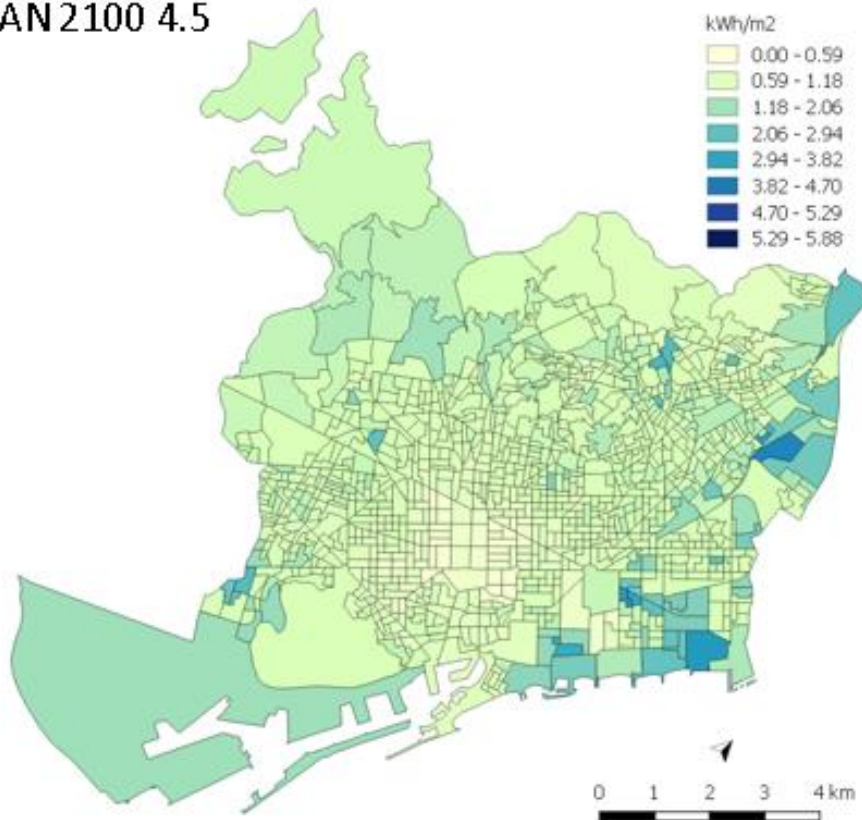
Cal esmentar que la resolució utilitzada per a l'elaboració de mapes ha estat la secció censal. Així, s'ha obtingut el consum corresponent per cada secció censal i s'ha obtingut el rati de refrigeració dividint per l'àrea construïda residencial (dades extretes del Cadastre).

El fet de treballar amb els valors de consum (estimats) per unitat de superfície ens permet comparar els valors a les diferents seccions censals obviant les diferències de grandària i densitat a les diferents seccions censals.

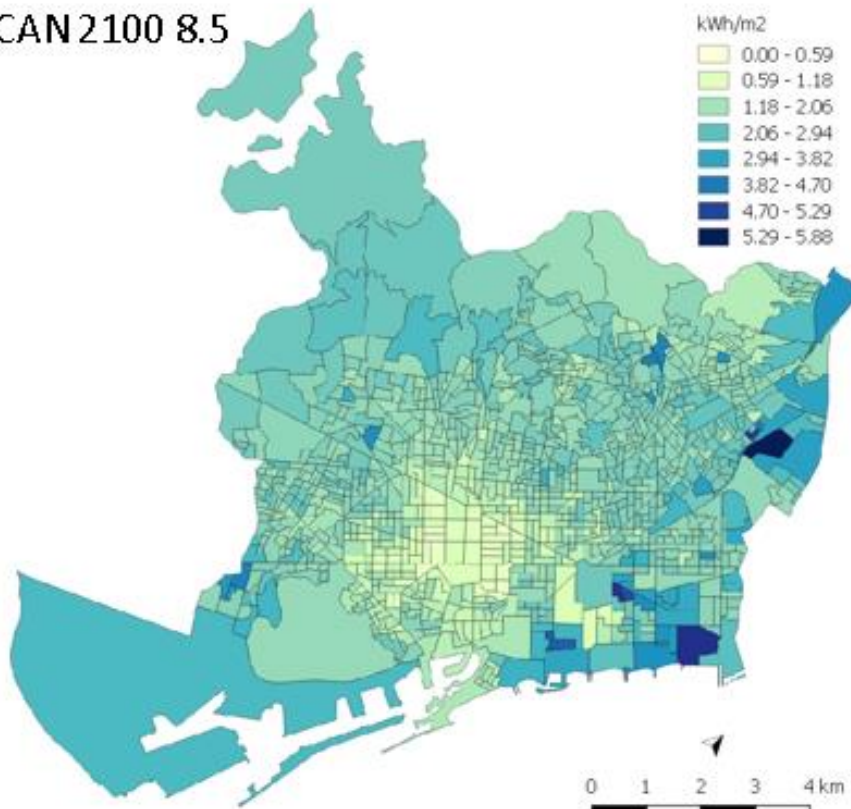
Els mapes de la imatge 18 posen de manifest que la refrigeració al sector residencial patirà els menors augments en valor absolut a l'Eixample, en particular als barris de la Nova Esquerra de l'Eixample, l'Antiga Esquerra de l'Eixample i la Dreta de l'Eixample. A l'altra banda de l'espectre, les àrees on l'augment d'intensitat de consum de refrigeració serà més pronunciat es reparteixen de forma no homogènia a la ciutat. S'identifica que les zones de major vulnerabilitat són les mateixes amb independència de l'escenari considerat i, per tant l'única diferència entre escenaris rau en la magnitud de la vulnerabilitat i no en la seva distribució territorialitzada.

Imatge 18: Variació del rati de consum de refrigeració al sector residencial (kWh/m² de superfície construïda residencial)

CAN 2100 4.5



CAN 2100 8.5



Font: Barcelona Regional

Les zones més vulnerables, curiosament, corresponen a aquelles on abunda una construcció més recent, tipologia H8 pre-CTE (2000-2007), que s'associa amb unes majors demandes de refrigeració i amb alts percentatges de superfície climatitzada destaquen:

- L'àrea compresa entre els carrers Josep Pla, Selva de Mar, Llull i la Ronda Litoral al **Barri de Diagonal Mar**
- L'àrea compresa entre els carrers de Ferran Junoy, Potosí, Caracas i la prolongació del Passeig de l'Havana pel carrer Lima. En aquesta zona s'observa que bona part de la superfície de la secció censal està destinada a usos no residencials (Polígon Industrial del Besòs i Centre Comercial de La Maquinista) i, per tant, la superfície residencial resta confinada entre els carrers de Sao Paulo, Ferran Junoy, la Barceloneta i Passeig de l'Havana al **barri del Bon Pastor**
- L'àrea compresa entre la Diagonal, l'eix Pere IV, el carrer de Llacuna i la Rambla del Poblenou.

Si es considera una variació de rati superior a 3,5 kWh/m², el nombre de zones afectades s'amplia a altres barris on existeixen fraccions considerables de les tipologies amb major consum de refrigeració (H7, H8 i H9). A continuació s'esmenten altres barris on s'espera una major variació de rati de refrigeració i s'assigna la possible causa a partir de com s'hi distribueixen les tipologies a cadascun d'ells:

- Barri de Vallbona: fracció de superfície residencial de tipologia H8 (>40%)
- Barri de Bon Pastor: fracció de superfície residencial de tipologies H8 (>20%) i H9 (>5%)
- Barri de la Vila Olímpica: fracció de superfície residencial de tipologies H7 (>50%) i H8 (>30%)
- Barri de la Marina del Prat Vermell: fracció de superfície de tipologies H7 (>20%), H8 (>20%) i H9 (>5%)
- Barri de Diagonal Mar: fracció de superfície residencial de tipologia H7 (>10%), H8 (>35%) i H9 (>20%)
- Barri de La Clota: fracció de superfície residencial de tipologia H9 (>30%)

S'identifiquen altres zones a la Trinitat Nova, a Porta, a la Verneda i a certes àrees del districte de Sarrià-Sant Gervasi.

Pel que fa a l'anàlisi dels augments dels ratis de consum per unitat de superfície construïda en valor relatiu, s'evidencia que aporten una informació complementària a la que s'obté de l'anàlisi de la variació del consum en valor absolut.

En aquest cas, però, com s'aprecia a la imatge 19, zones amb vulnerabilitat-mitjana alta a l'escenari 4.5 esdevindran zones d'alta vulnerabilitat en l'escenari 8.5 i, per tant, malgrat que aquelles zones vulnerables al 4.5 també ho seran en l'escenari 8.5, un escenari de canvi climàtic més sever augmentarà el nombre de zones d'alta vulnerabilitat.

En aquest sentit ens trobem en general amb dues possibles casuístiques:

- Un predomini de les tipologies H2 i H4 com és el cas de **Can Peguera** i el **Bon Pastor**, en ambdós casos es tracta de desenvolupaments de cases barates²⁵. Es

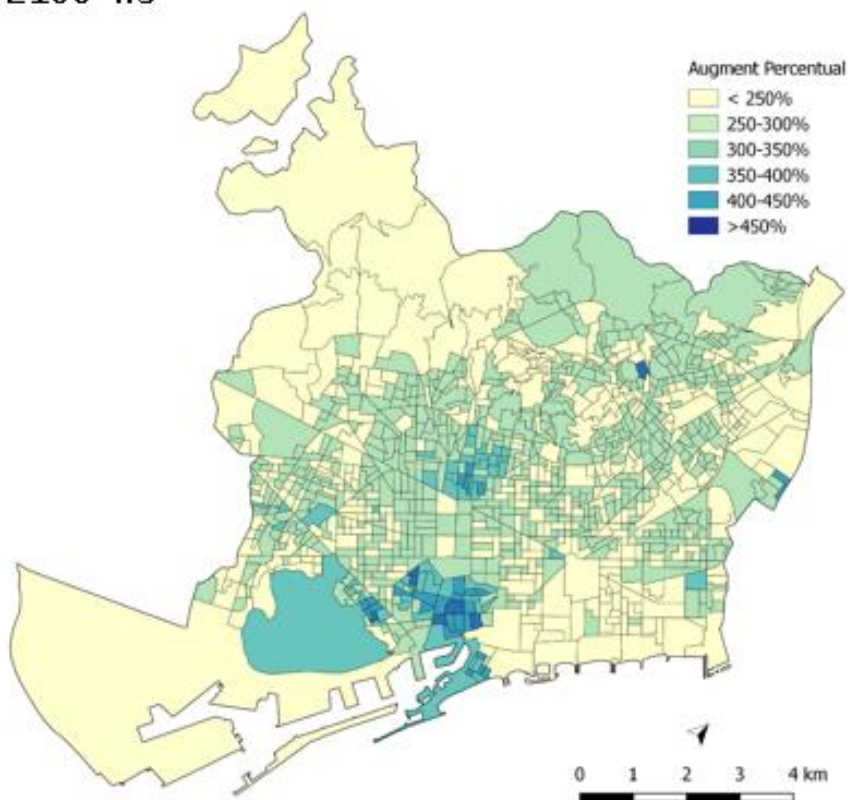
²⁵ En els dos casos, l'assignació a aquestes tipologies edificatòries ha estat a posteriori, en el PECQ no estava assignada a cap tipologia per tractar-se d'una singularitat dins de Barcelona. Tot i això, en aquest treball se'ls ha

tracten doncs d'edificacions amb una alta demanda de refrigeració i es pronostica un augment considerable de la refrigeració per efecte bàsicament de la implantació de noves instal·lacions d'aire condicionat que garanteixin un mínim confort davant d'escenaris d'altres temperatures.

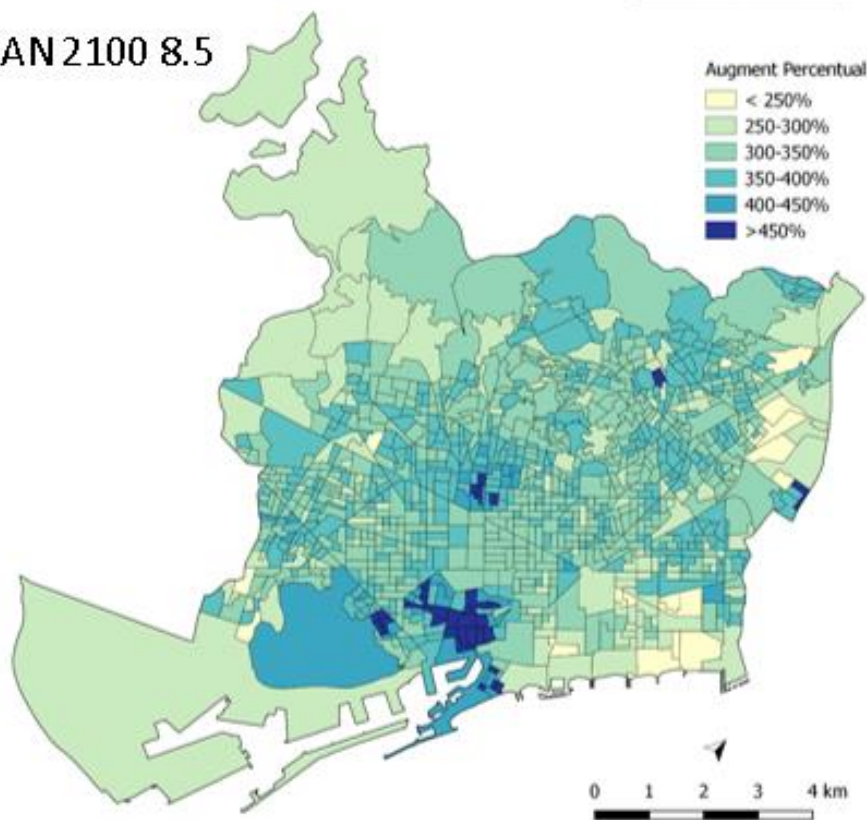
- Zones on hi predomina la tipologia H1 i en menor mesura la tipologia H6. En aquests casos el fet que predomini la tipologia H1 fa que es parteixi d'uns consums de refrigeració minsos en l'escenari de referència i, per tant, se'n pot esperar un augment percentual més gran que en altres zones. Aquesta situació és especialment rellevant al cas antic de la ciutat en barris com el Raval, el Gòtic i Sant Pere que s'espera que siguin més vulnerables. Altres zones on trobem situacions similars són la Barceloneta, Gràcia i el Poble Sec.

Imatge 19: Variació percentual del rati de consum de refrigeració al Sector Residencial segons l'escenari 4.5 i el 8.5 a finals de segle.

CAN 2100 4.5



CAN 2100 8.5



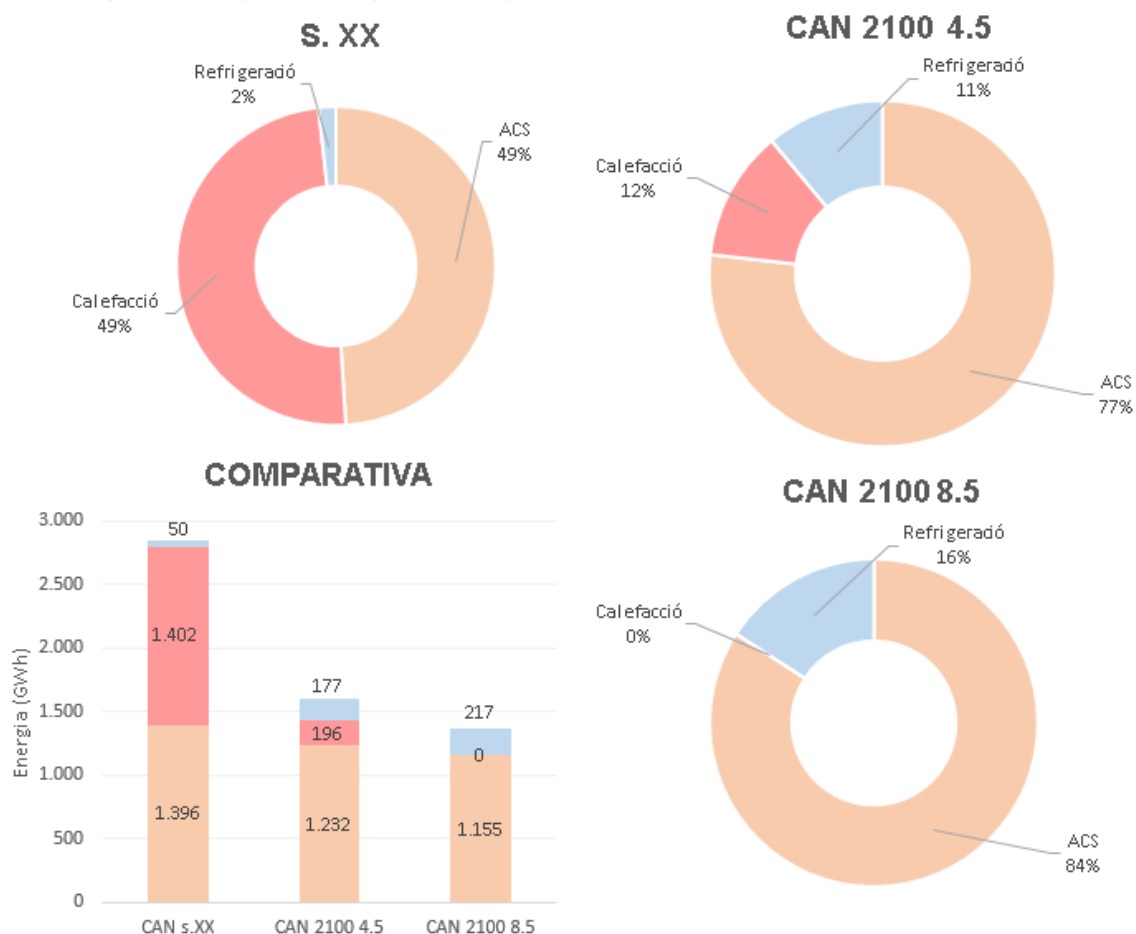
Comparativa de l'escenari de referència amb els escenaris de canvi climàtic

A l'hora de fer la comparativa més en detall només es fa pel model canadenc perquè, com ja s'ha esmentat anteriorment el que implica variacions més grans per a cadascuna de les variables, tot i que en consum agregat respecte la referència sigui el model americà el que suposa una major variació.

Al gràfic 61 es pot veure una comparativa entre la distribució d'usos a l'escenari de referència, i aquesta mateixa distribució en els 2 escenaris de Canvi Climàtic (4.5 i 8.5) per l'horitzó temporal 2071-2100.

Cal aclarir que els resultats s'han obtingut utilitzant les metodologies més extremes, és a dir, s'han considerat, en els escenaris de canvi climàtic, aquelles que tenen en compte l'efecte físic i de comportament per l'ús d'ACS i de refrigeració. La metodologia que resulta ser més extrema (M2) s'utilitzarà com a referència a partir d'ara quan es pretengui comparar els resultats actuals enfront dels obtingut en escenaris de canvi climàtic.

Gràfic 61: Comparativa de la distribució dels usos energètics al sector residencial en l'escenari de referència i en escenaris de canvi climàtic segons el model canadenc



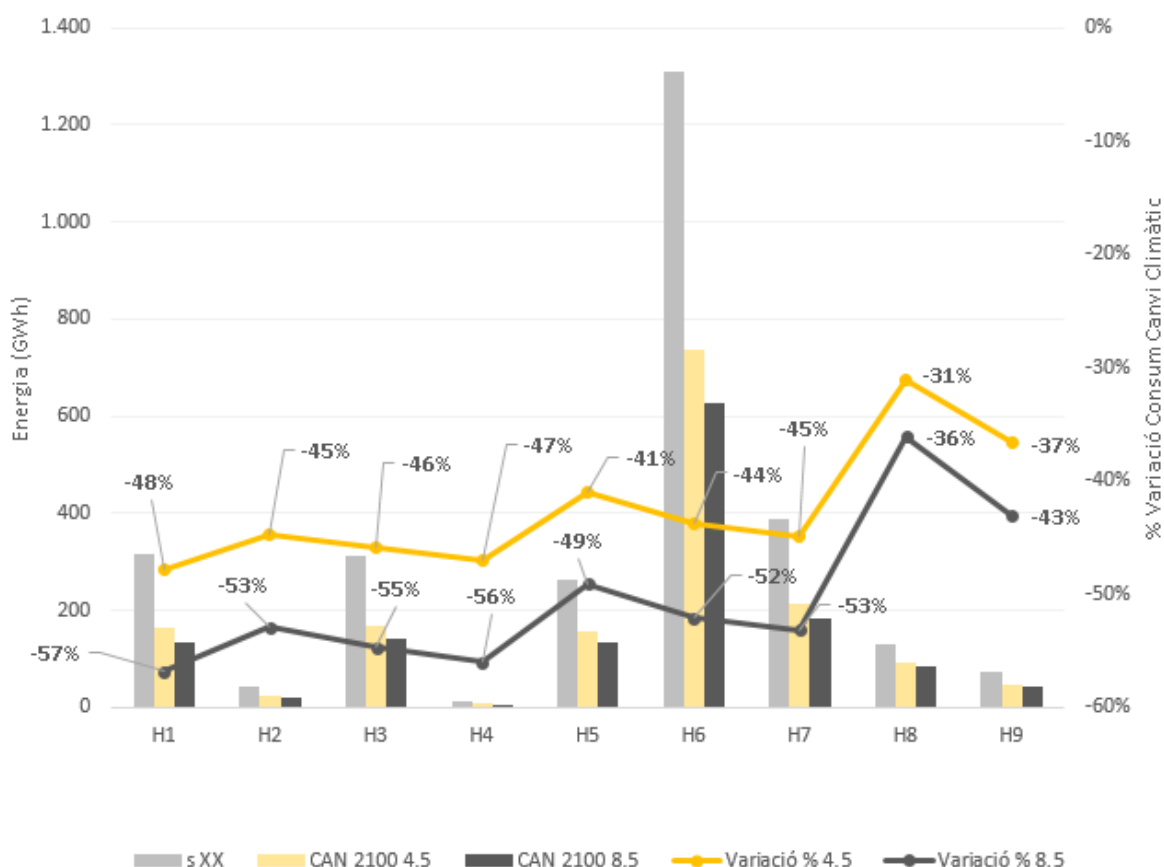
Font: Barcelona Regional

L'anàlisi dels resultats fa palès que el consum d'energia per a usos tèrmics al residencial disminuiria notablement manifestant-se aquesta disminució de forma més accentuada per l'escenari 8.5 (-52%) que pel 4.5. (-44%).

Segons aquests resultats l'augment del consum de refrigeració en escenaris de canvi climàtic no podria compensar la davallada del consum de calefacció i l'ACS. L'ACS és el consum menys afectat per l'impacte del canvi climàtic, i esdevindria clarament el principal consum tèrmic d'energia a les llars. La calefacció passaria a tenir un consum més o menys similar a la refrigeració en l'escenari 4.5 o fins i tots desaparèixer en l'escenari 8.5. **La refrigeració es quadruplicaria en l'escenari més extrem obtenint-se un augment relatiu del 334%.**

Si ens fixem com afecta el canvi climàtic al parc d'habitatges en funció de la tipologia edificatòria es pot veure com tot i que en general les variacions que es veuen són d'un mateix ordre de magnitud (en termes relatius), si que es veuen algunes diferències, essent les tipologies amb un pitjor comportament tèrmic per calefacció i refrigeració les que presenten unes variacions més grans.

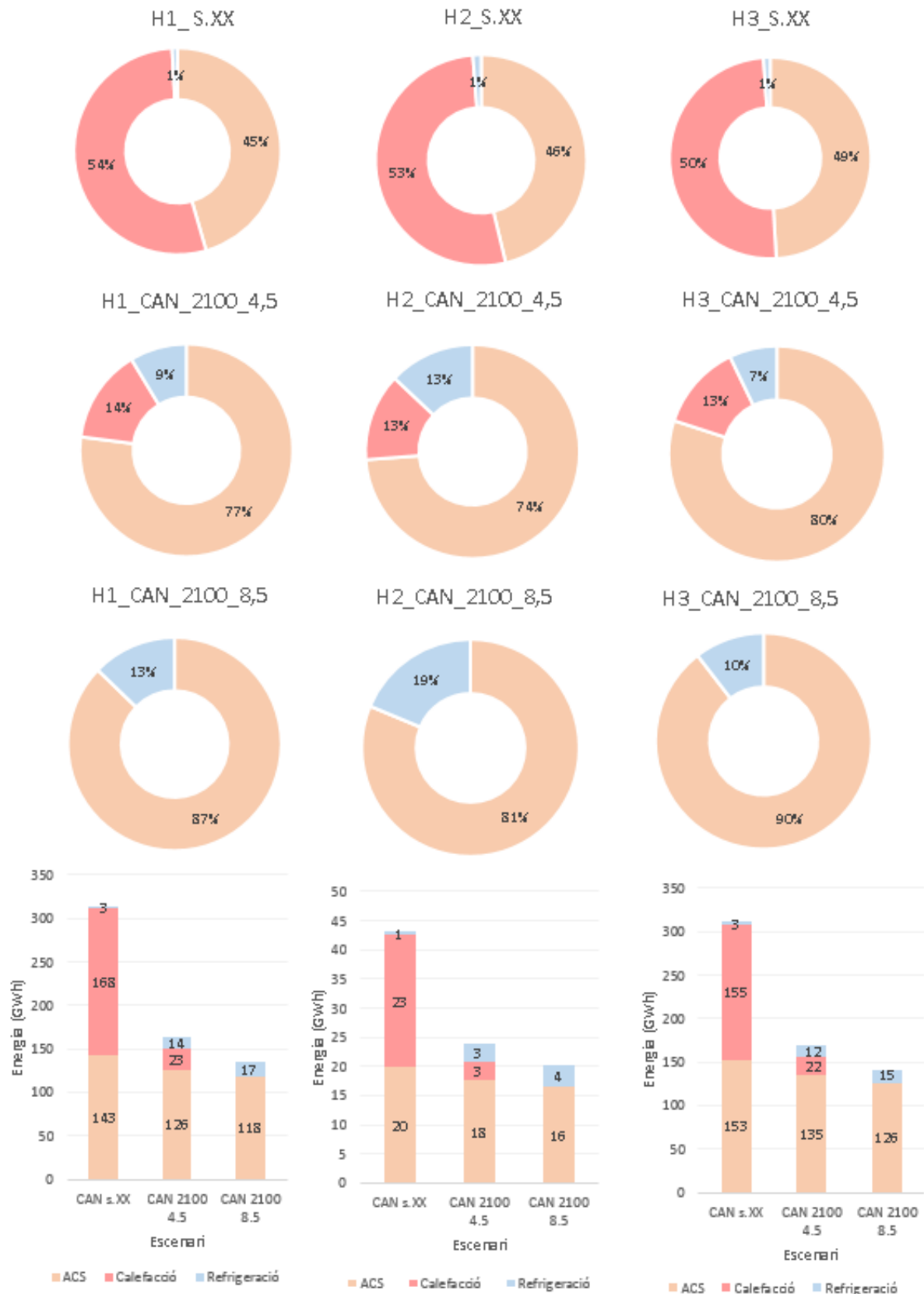
Gràfic 62: Comparativa de la distribució del consum energètic al sector residencial en l'escenari de referència i en escenaris de canvi climàtic segons el model canadenc



Font: Barcelona Regional

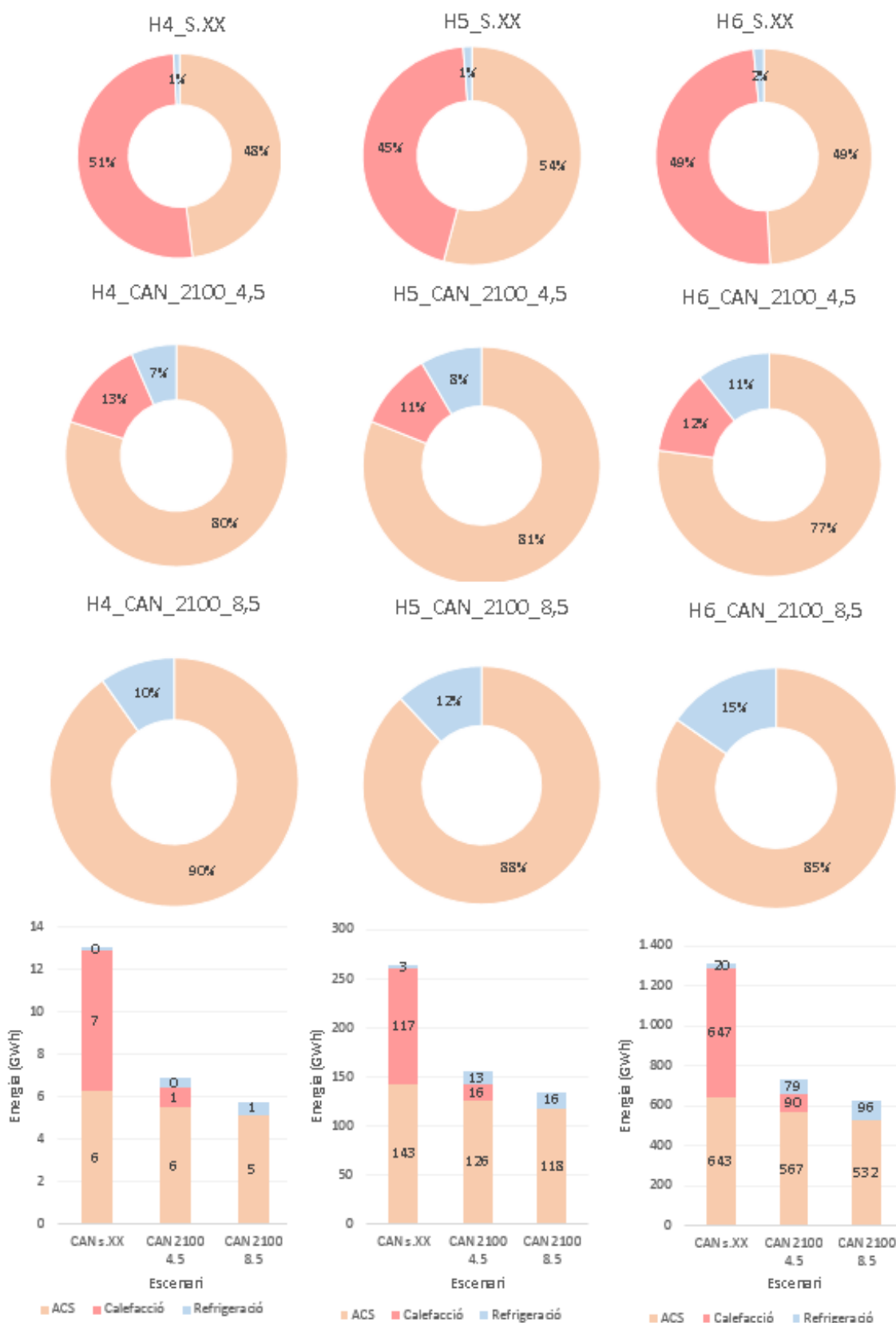
A continuació es mostren les variacions que es produeixen per cadascuna de les tipologies edificatòries que serveixen de base per l'estudi.

Gràfic 63: Comparativa de la distribució del consum energètic al sector residencial per tipologies (H1, H2 i H3)



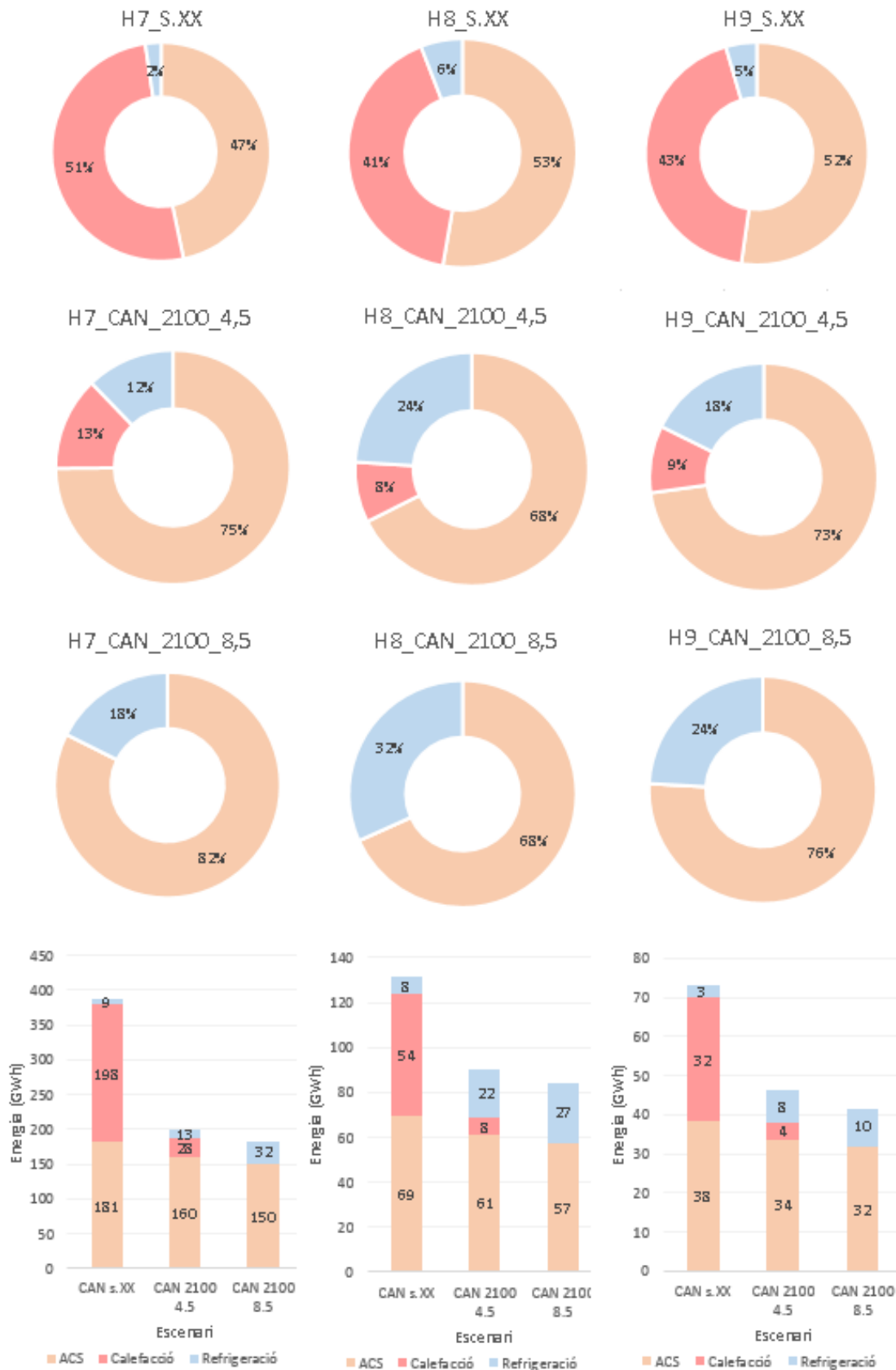
Font: Barcelona Regional

Gràfic 64: Comparativa de la distribució del consum energètic al sector residencial per tipologies (H4, H5 i H6)



Font: Barcelona Regional

Gràfic 65: Comparativa de la distribució del consum energètic al sector residencial per tipologies (H7, H8 i H9)

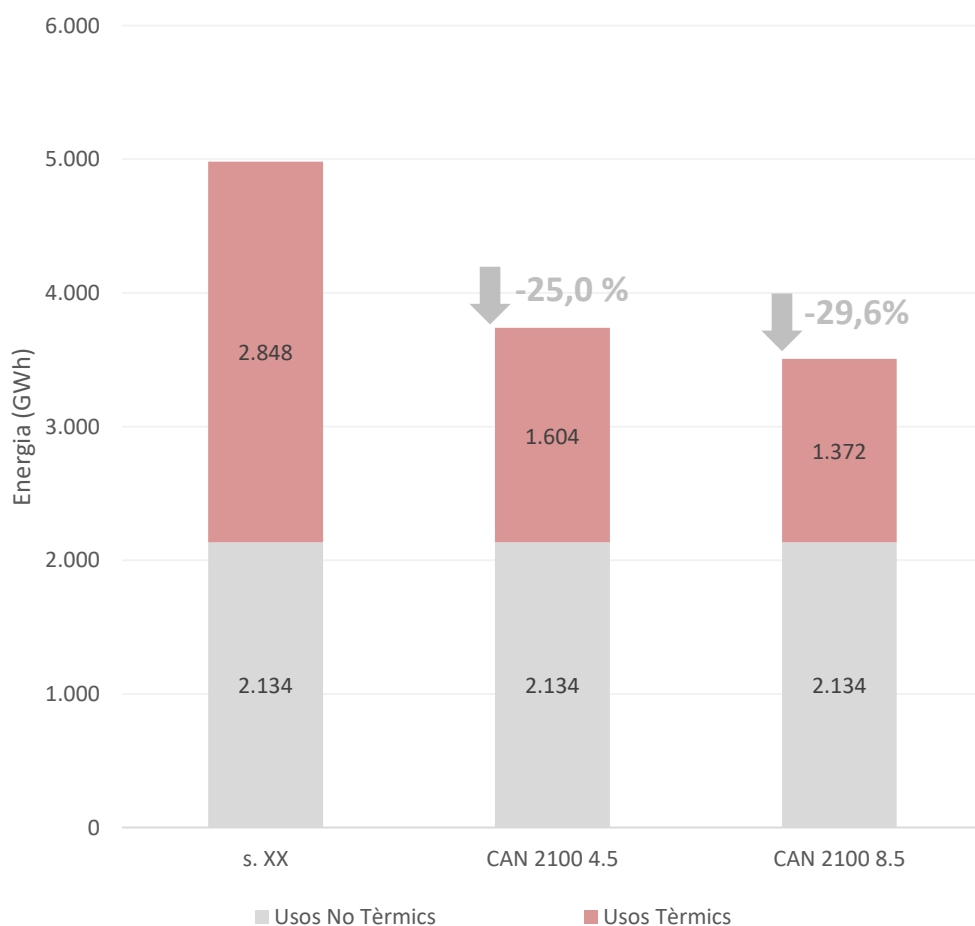


Font: Barcelona Regional

Si aquests resultats s'expressen com a variació relativa als consums d'energia final total del sector residencial tenint en compte tant els usos tèrmics (ACS, calefacció i refrigeració) com els no tèrmics (electricitat per altres usos), els canvis de consum en valor relatiu que es poden esperar continuen sent força significatius malgrat són inferiors que els que s'obtidrien si només es tinguessin en compte els usos tèrmics. La davallada de la calefacció (que assoliria valors nuls en l'escenari 8.5) provoca que **el consum al sector residencial es redueixi un -25,0% a l'escenari 4.5 i un -29,6% en l'escenari 8.5.**

El gràfic a continuació il·lustra els potencials canvis que es podrien produir:

Gràfic 66: Estimació de l'evolució del consum d'energia final al sector residencial de Barcelona en escenaris de canvi climàtic, considerant la metodologia M2 i el model Canadenc



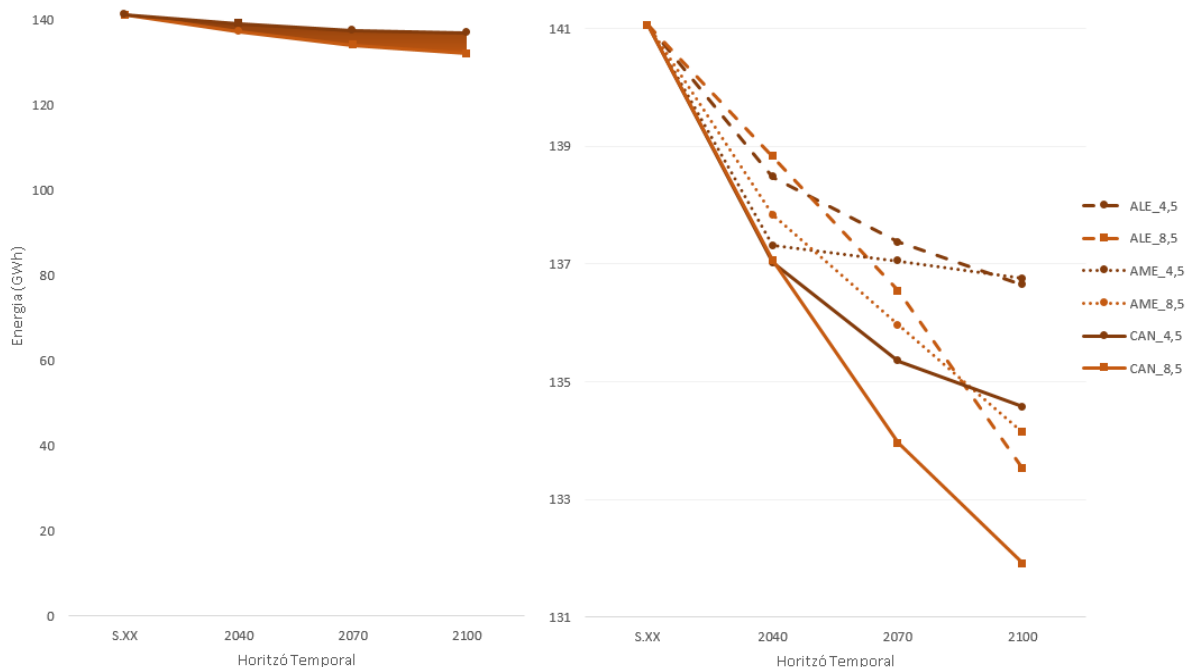
Font: Barcelona Regional

2.2.3.2 Sector Terciari

La major diferència que es pot apreciar de les projeccions obtingudes pel sector terciari respecte les del residencial és la menor variabilitat dels resultats que s'obtenen tant segons l'escenari considerat com segons el model utilitzat. Aquests resultats són consistents amb la base teòrica donat que confirmen que, efectivament, les variacions de consum energètic que es poden esperar per efecte del canvi climàtic al terciari són menors.

ACS

Gràfic 67: Evolució temporal del consum energètic per ACS al sector terciari en escenaris de canvi climàtic



Font: Barcelona Regional

Les variacions pel que fa al consum energètic d'ACS són subtils i oscil·len entre el -3 i el -7% l'any 2100 segons el model i escenari considerats. Amb independència del model utilitzat, l'escenari 4.5 obté decrements d'ús d'ACS menors a l'horitzó 2100 mentre que en horitzons temporals intermedis (2040, 2070) les projeccions pel model canadenc en l'escenari 4.5 implica un descens més gran que les mateixes de l'escenari 8.5 segons els altres 2 models.

El model canadenc és en qualsevol cas el que implica una reducció més important en el consum d'ACS.

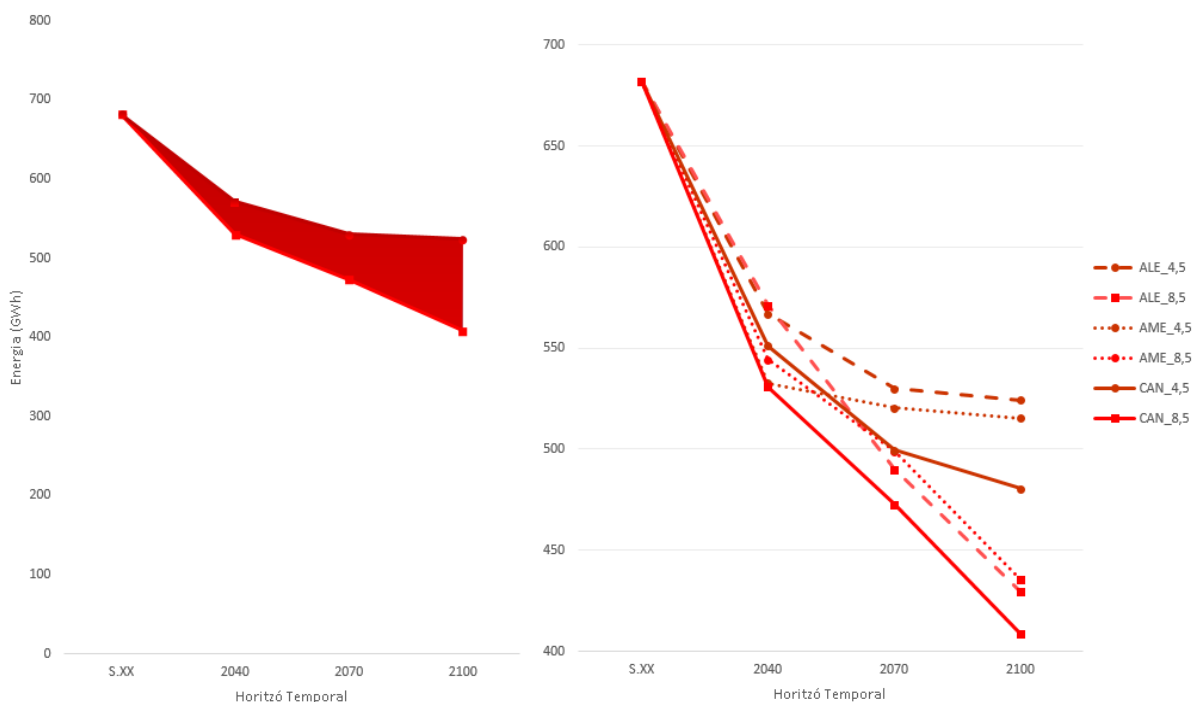
Calefacció

Les projeccions que s'obtenen per a la calefacció al terciari provoquen decrements del consum que fluctuen entre un -23% i un -40% al 2100 segons l'escenari i el model considerats.

Els descensos més substancials tenen lloc per l'escenari 8.5 mentre que els corresponents al 4.5 són més suaus tot i que igualment significatius.

De nou, el model canadenc és el que obté els resultats més extrems.

Gràfic 68: Evolució temporal del consum energètic per calefacció al sector terciari en escenaris de canvi climàtic



Font: Barcelona Regional

Cal destacar en aquest cas, que el fet d'haver fet servir una metodologia diferent que en el cas del sector residencial ens porta a una conclusió si més no cal parar atenció, i és que en cap escenari ni model el consum de calefacció passa a ser nul.

En aquest sentit, convindria poder uniformitzar l'anàlisi, però per això seria desitjable disposar de més informació d'aquests sectors i subsectors i realitzar simulacions dinàmiques que permetin ajustar les demandes tant per les tipologies del sector residencial com pels subsectors del terciari. Cal dir en aquest cas que el sector terciari requeriria un esforç addicional.

Refrigeració

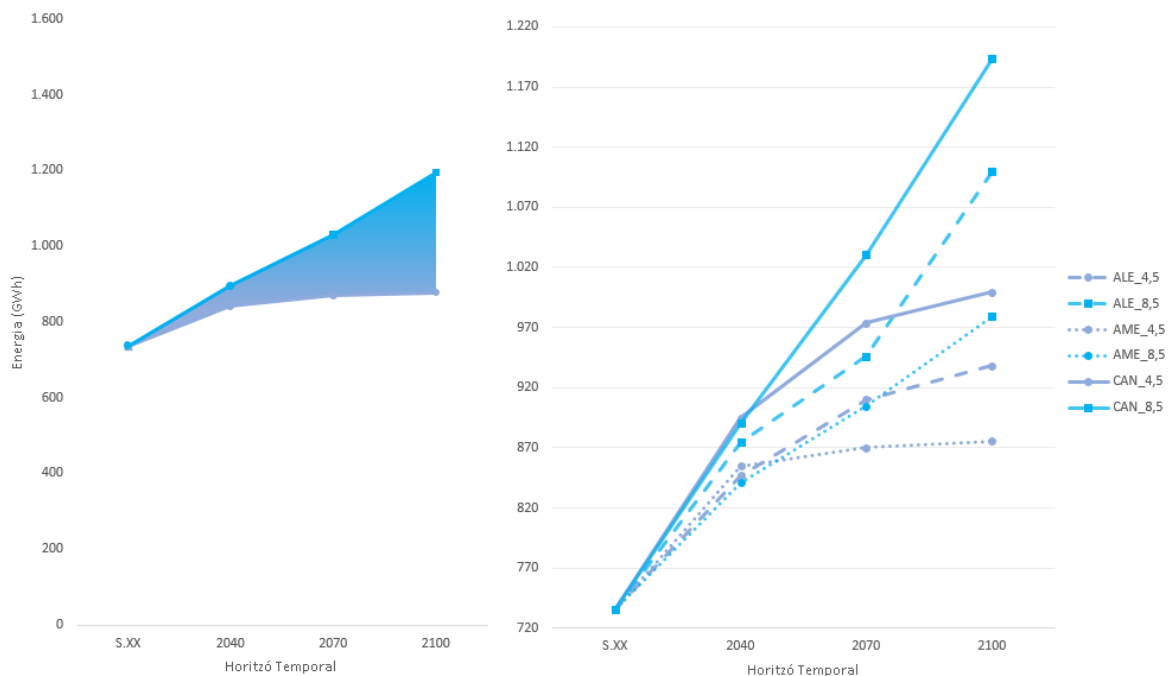
El gràfic 68 posa de manifest que el consum de refrigeració creixerà, a l'horitzó 2100, entre un 28% i un 62% segons l'escenari i el model considerats. Aquest augment és força substancial, sobretot tenint en compte que només pren en consideració només l'efecte físic i no el possible increment de sistemes de refrigeració en el sector terciari²⁶.

²⁶ Cal mencionar que en general una gran part d'establiments ja compten amb sistemes d'aire condicionat i per tant aquest segon efecte no tindria tant pes com en el sector residencial.

Els resultats més extrems s'obtenen segons l'escenari 8.5 del model canadenc. Es rellevant que, segons aquest model, els resultats per l'escenari 4.5 sobrepassin els que s'obtenen per l'escenari 8.5 segons els altres 2 models. Això denota que el model canadenc comporta en general uns increments temperatures més elevats que la resta de models i implica uns resultats més extrems.

En general es verifica una tendència en què els increments de consum es van reduint a mesura que s'avança en els horitzons temporals en els escenaris 4.5. En canvi, els escenaris 8.5 descriuen una tendència que fa intuir comportaments d'augment sostingut.

Gràfic 69: Evolució temporal del consum energètic per refrigeració al sector terciari en escenaris de canvi climàtic



Font: Barcelona Regional

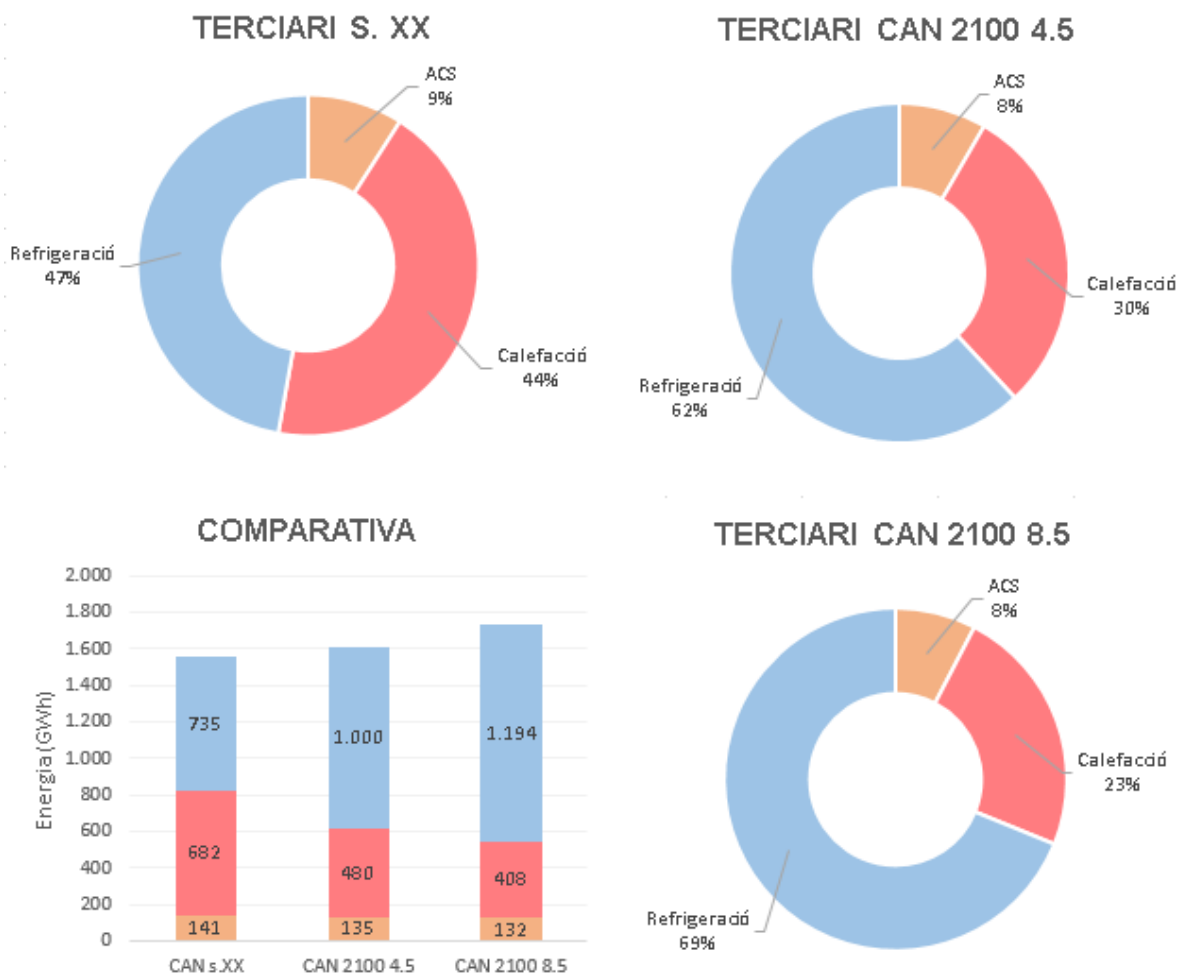
Comparativa de l'escenari de referència amb els escenaris de canvi climàtic

Al gràfic 69 es pot veure una comparativa entre la distribució d'usos a l'escenari de referència i aquesta mateixa distribució en els 2 escenaris de canvi climàtic (4.5 i 8.5) per l'horitzó temporal 2100 al sector terciari i pel model Canadenc.

L'anàlisi dels resultats explicita que el consum d'energia per a usos tèrmics al terciari augmentaria lleugerament per efecte del canvi climàtic esdevenint aquest increment més gran a l'escenari 8.5 (+11%) que a l'escenari 4.5. (+4%).

Tot i que els augments no siguin molt rellevants, l'aspecte més destacable és com canviarien les proporcions dels consums anuals, passant la refrigeració del 47% a l'escenari de referència a gairebé el 69% al 2100 per l'escenari RCP 8.5.

Gràfic 70: Comparativa de la distribució dels usos energètics al sector terciari en l'escenari de referència i en escenaris de canvi climàtic segons el model canadenc

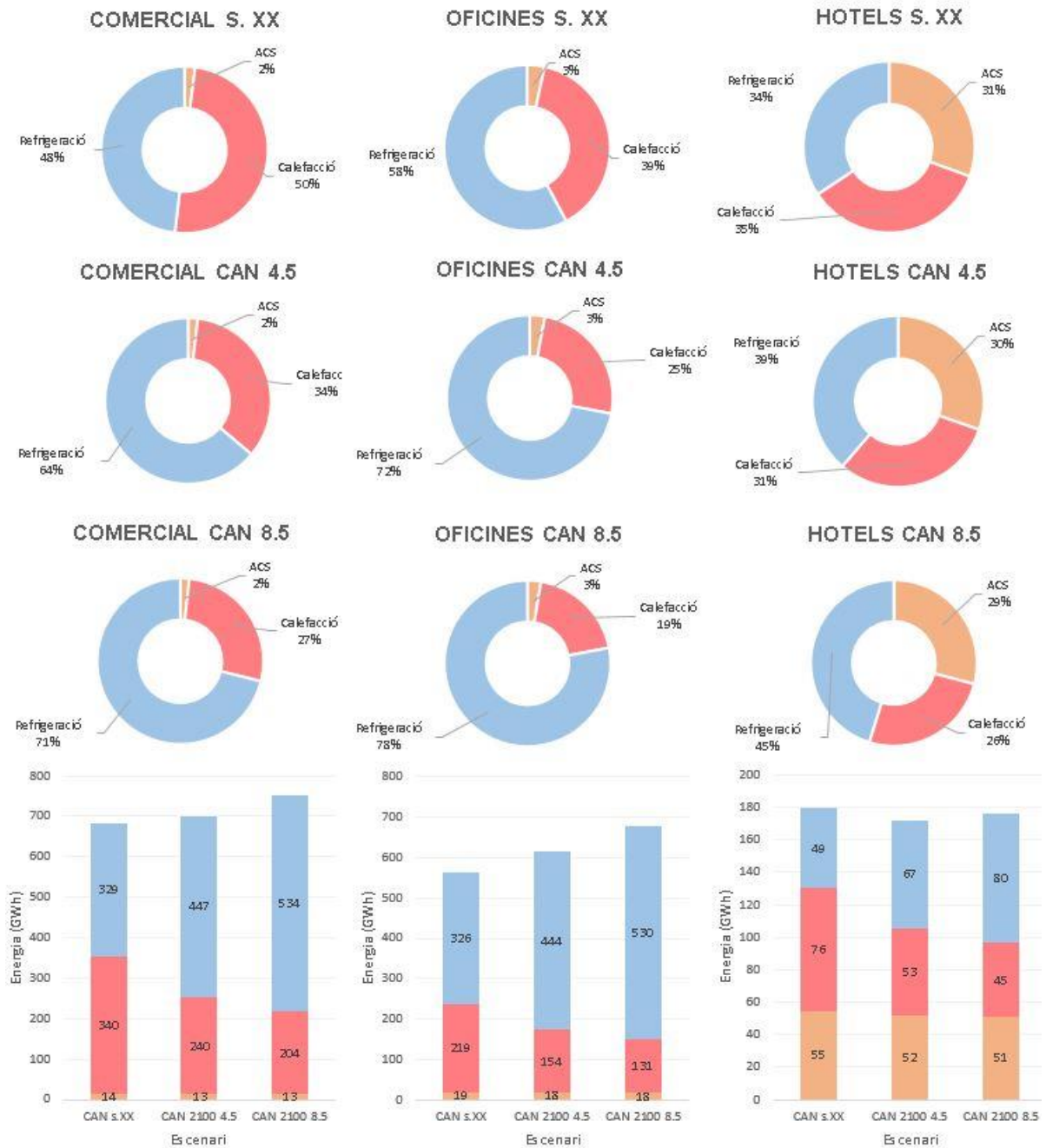


Font: Barcelona Regional

A diferència del que passava al sector residencial, el considerable augment de la refrigeració al terciari seria capaç de compensar les disminucions de consum que patirien l'ACS i, sobretot, la calefacció, obtenint-se com a resultat uns consums d'energia tèrmica superiors en els escenaris de canvi climàtic que en l'escenari de referència.

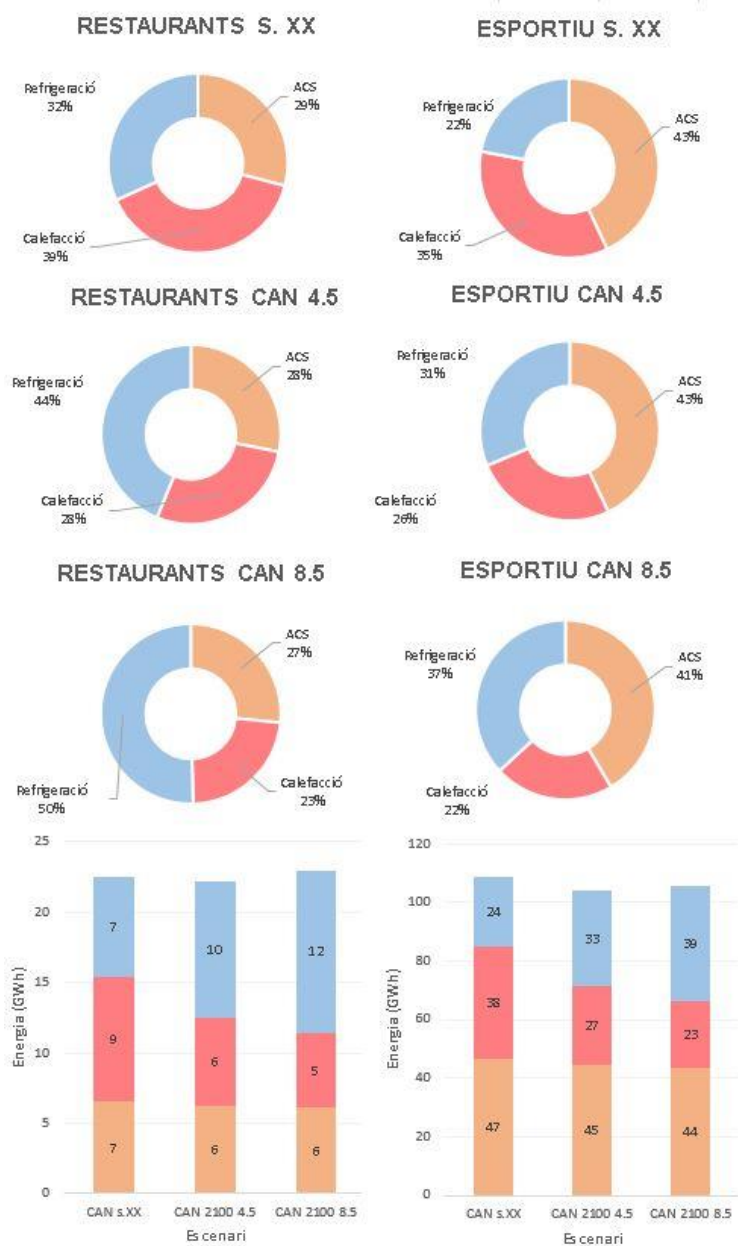
Donat que la distribució d'usos inicials al terciari no és homogènia per tots els subsectors, un augment de l'ús de refrigeració i una disminució de l'ús de calefacció i ACS, provoca efectes diferents sobre la distribució d'usos energètics en escenaris de canvi climàtic segons els subsector considerat. A continuació, es representa una comparativa entre la distribució d'usos actuals i la que s'espera segons l'escenari 8.5 l'any 2100 en el model canadenc. Els resultats mostren un augment significatiu de la refrigeració en especial en aquells sectors (comercial i oficines) on el consum d'ACS és reduït en relació al total.

Gràfic 71: Comparativa de la distribució dels usos energètics al sector terciari per subsector (comercial, oficines i hotelier) en l'escenari de referència i en escenari de canvi climàtic 8.5 2100 segons el model canadenc



Font: Barcelona Regional

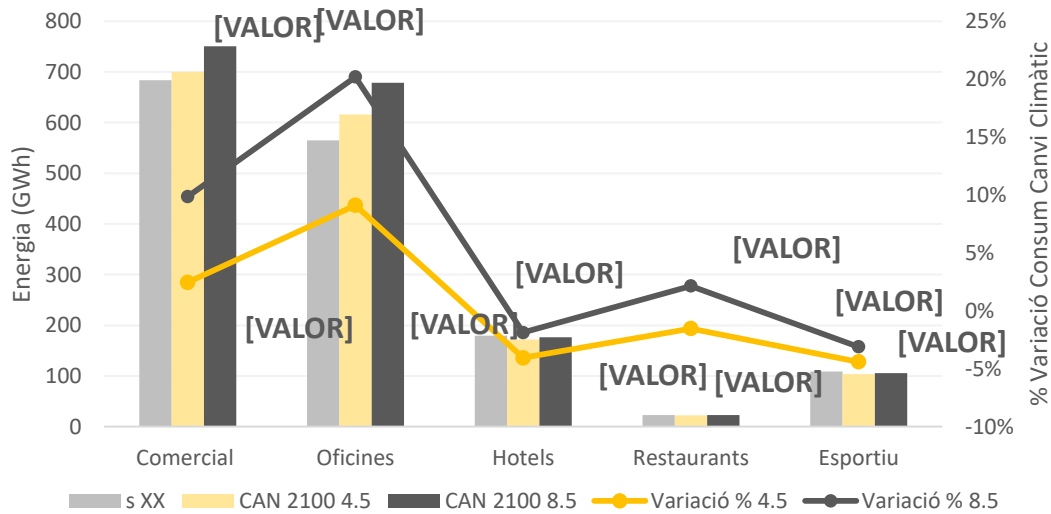
Gràfic 72: Comparativa de la distribució dels usos energètics al Sector Terciari per subsector (restaurants i esportiu) en l'escenari de referència i en escenari de Canvi Climàtic 8.5 2100 segons el model canadenc



Font: Barcelona Regional

Al següent gràfic es mostra com precisament, els subsectors comercial i d'oficines són els més presents a la ciutat de Barcelona i els que impliquen un major increment en la refrigeració i per tant en l'increment del consum.

Gràfic 73: Comparativa de la distribució del consum energètic al Sector Terciari en l'escenari de referència i en escenaris de Canvi Climàtic segons el model canadenc

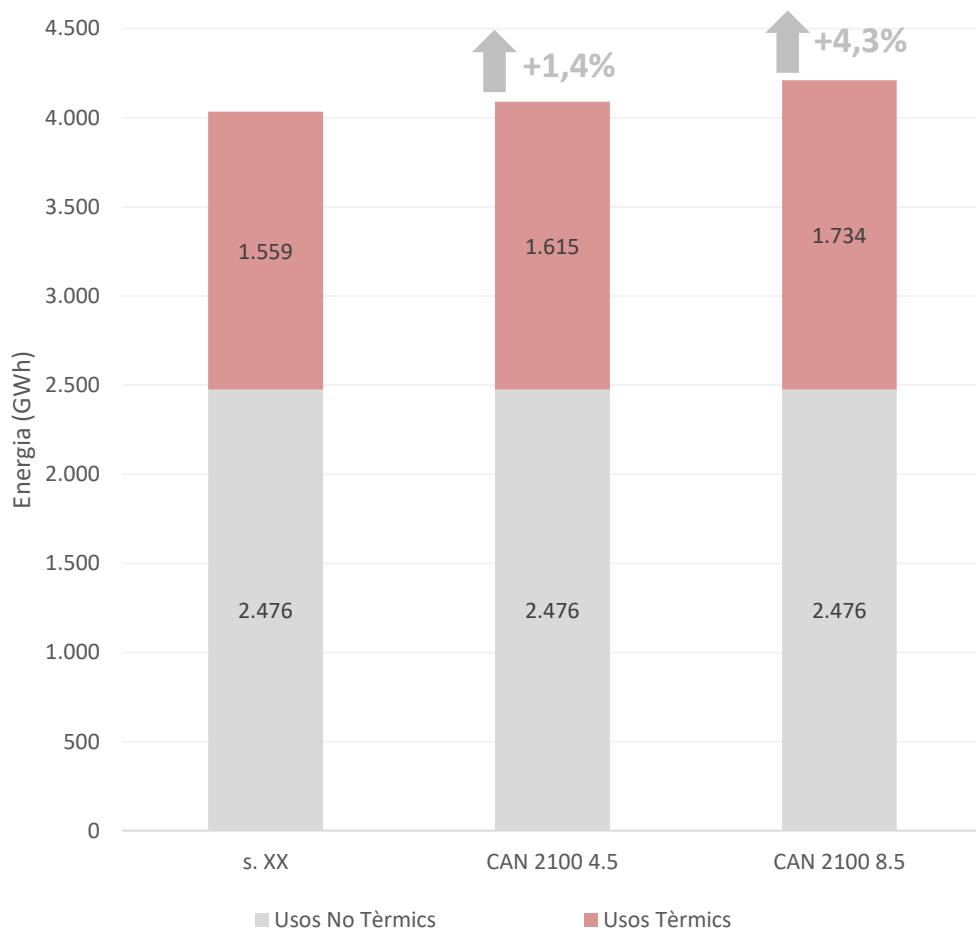


Font: Barcelona Regional

Els resultats anteriors mostren les variacions que experimentaria cada subsector terciari en relació al consum d'energia final per a usos tèrmics. Si es considera la variació agregada de tot el terciari s'obté que el consum per a usos tèrmics augmentaria un 3,6% en l'escenari 4.5 i un 11,2% en el 8.5.

De manera anàloga a com s'ha fet pel sector residencial, cal avaluar quina variació de consum total (considerant tant usos tèrmics com no tèrmics) es pot esperar. Els resultats obtinguts posen de manifest que el consum al sector terciari augmentaria en escenaris de canvi climàtic a raó d'un 1,4% en el 4.5 i un 4,3% en el 8.5. A continuació s'adjunta un gràfic que il·lustra aquests resultats:

Gràfic 74: Estimació de l'evolució del consum d'energia final al sector terciari de Barcelona en escenaris de canvi climàtic, considerant la metodologia M2 i el model Canadenc



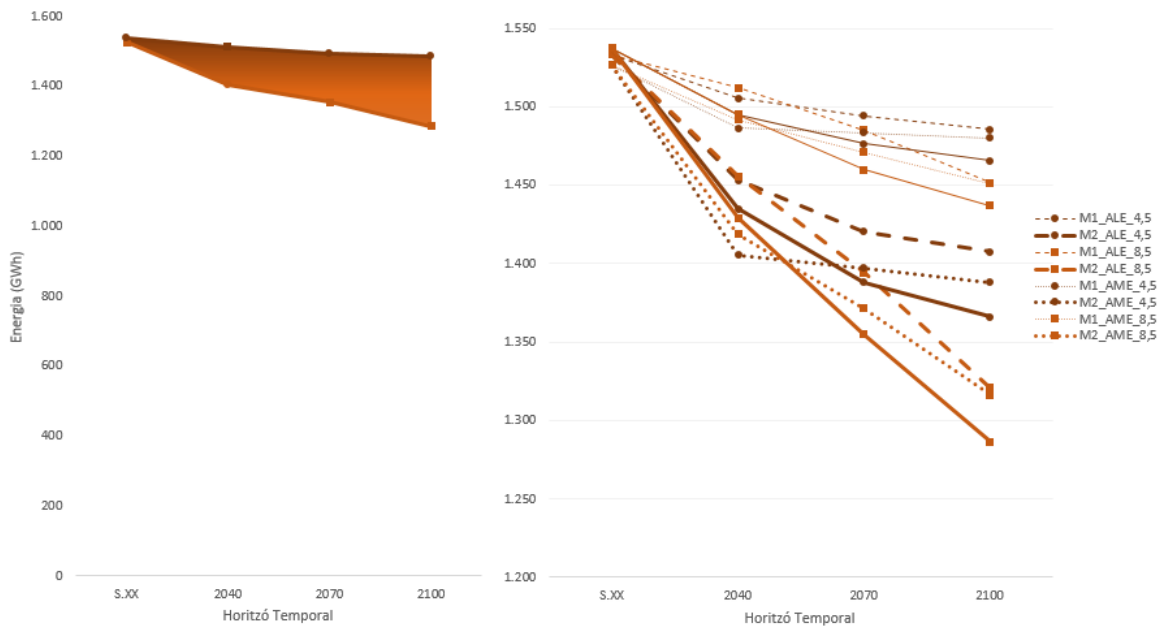
Font: Barcelona Regional

2.2.3.3 Agregat residencial i terciari

En l'agregat es manifesten uns comportaments que s'expliquen a partir d'analitzar i entendre els resultats obtinguts de l'anàlisi del sector residencial i el terciari per separat.

ACS

Gràfic 75: Evolució temporal del consum energètic per ACS als sectors residencial i terciari en escenaris de canvi climàtic



Font: Barcelona Regional

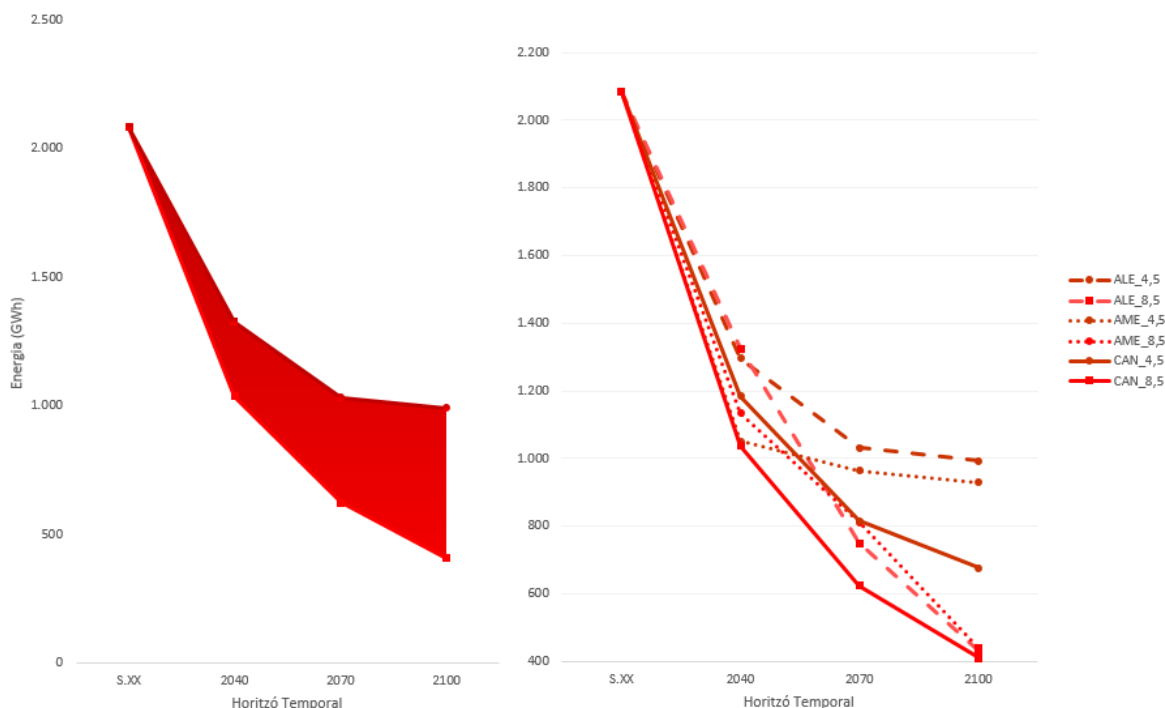
L'evolució de consum d'ACS posa de manifest que la davallada de consum agregat està molt relacionada amb el descens del consum al residencial i, en menor mesura pel subtil descens al terciari.

L'efecte físic provoca variacions més discretes que l'agregat de l'efecte físic i el de comportament, sent el resultat més crític el corresponent al model Canadenc a l'escenari 8.5 amb davallades del -6,50% (efecte físic) i del -16,31% (efecte físic+ efecte de comportament).

La diferenciació per escenari posa de manifest que, en general, els escenaris 4.5 provoquen consums superiors que els escenaris 8.5 amb independència del model considerat i que aquesta tendència es fa més robusta a mesura que hom es mou cap a horitzons temporals més llunyans.

Calefacció

Gràfic 76: Evolució temporal del consum energètic per calefacció als sectors residencial i terciari en escenaris de canvi climàtic



Font: Barcelona Regional

Pel que fa a la calefacció, s'observa una tendència similar a la del residencial on els models convergeixen a un valor a l'horitzó 2100 per a l'escenari 8.5 i, en canvi, divergeixen significativament a per l'escenari 4.5. Es verifica que el model Canadenc retorna els resultats més extrems.

Al sector residencial s'observava un alt grau de variabilitat dels resultats segons l'escenari considerat. En l'anàlisi agregat, sembla que el comportament del terciari compensa parcialment aquesta tendència .

Segons el model Canadenc, la davallada en el consum de calefacció agregat a l'horitzó 2100 seria del -80,4% per l'escenari 8.5 mentre que esdevindria del -67,5% per a l'escenari 4.5.

Una de les observacions que es pot fer a la vista dels resultats obtinguts és que la disminució del consum de calefacció facilita els processos d'adaptació a un nou clima donat que no existeix un pressió adaptativa com la que si que es fa evident pel cas de la refrigeració.

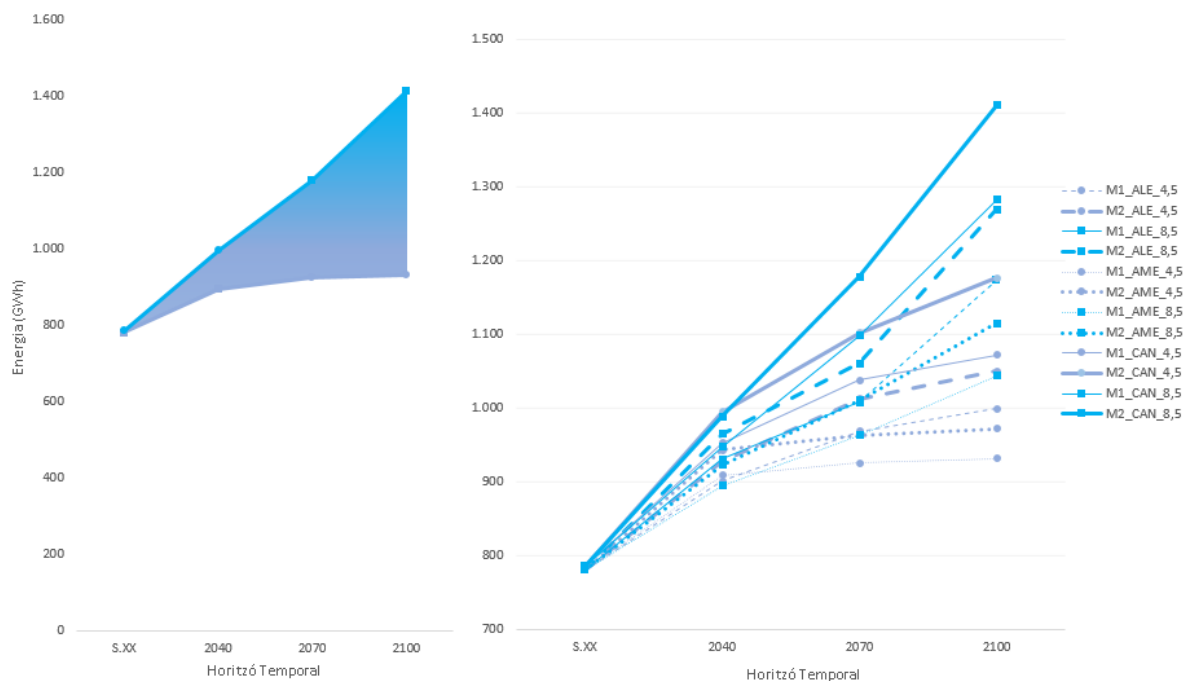
Refrigeració

L'anàlisi de l'evolució del consum de refrigeració posa de manifest una evolució de creixement pràcticament lineal en els escenaris 8.5 i desacceleració de la variació a mesura que s'avança en el temps quan es consideren els escenaris 4.5.

S'aprecia una distinció prou clara entre els resultats obtinguts quan només es quantifica l'afectació de l'efecte físic que quan es quantifica l'efecte físic i de comportament o increment d'instal·lacions conjuntament malgrat en el cas agregat, aquesta diferenciació és menys clara que en els resultats desagregats en el sector residencial.

Cal aclarir que la distinció entre l'efecte físic i el físic i de comportament combinats només aplica al residencial i, per tant, els resultats que s'obtenen són consistents amb el que es podria haver esperat donat que l'agregació del terciari genera una major superposició dels resultats factoritzats per metodologia, en especial en els horitzons temporals 2040 i 2070.

Gràfic 77: Evolució temporal del consum energètic per refrigeració als sectors residencial i terciari en escenaris de canvi climàtic



Font: Barcelona Regional

L'anàlisi posa de manifest que el consum de refrigeració augmentaria a finals de segle un 79,6% en l'escenari 8.5 i un 49,78% al 4.5 tenint en compte els efectes físic i de comportament, i un 63,26% al 8.5 i un 36,46% al 4.5 si només es considera l'efecte físic, en ambdós casos considerant el model canadenc que és el més crític.

Destaca la gran variabilitat que s'obté segons el model utilitzat, que pot arribar a tenir una incidència més gran sobre els resultats que altres factors com la metodologia o l'escenari considerat. Com a conseqüència, el grau d'incertesa a l'hora de donar una xifra concreta és molt elevat i una xifra descontextualitzada pot portar a errors importants en la interpretació dels resultats.

La diagnosi duta a terme posa de manifest que la refrigeració es consumeix molt més intensivament al sector terciari que al residencial inclús en escenaris de canvi climàtic però d'alguna manera l'increment és més gran al sector residencial, sobretot si es té en compte el possible increment d'instal·lacions com a efecte de l'increment de les temperatures.

L'observació dels mapes resultat de la imatge 20 indiquen que els majors augments en refrigeració podrien esperar-se al voltant dels centres comercials i de les zones amb alta concentració de sòl d'oficines en relació a la superfície residencial.

Com a exemple de grans variacions de consum de refrigeració es troben les zones on prepondera l'ús comercial i d'oficines, i es poden destacar les que hi ha a l'entorn de:

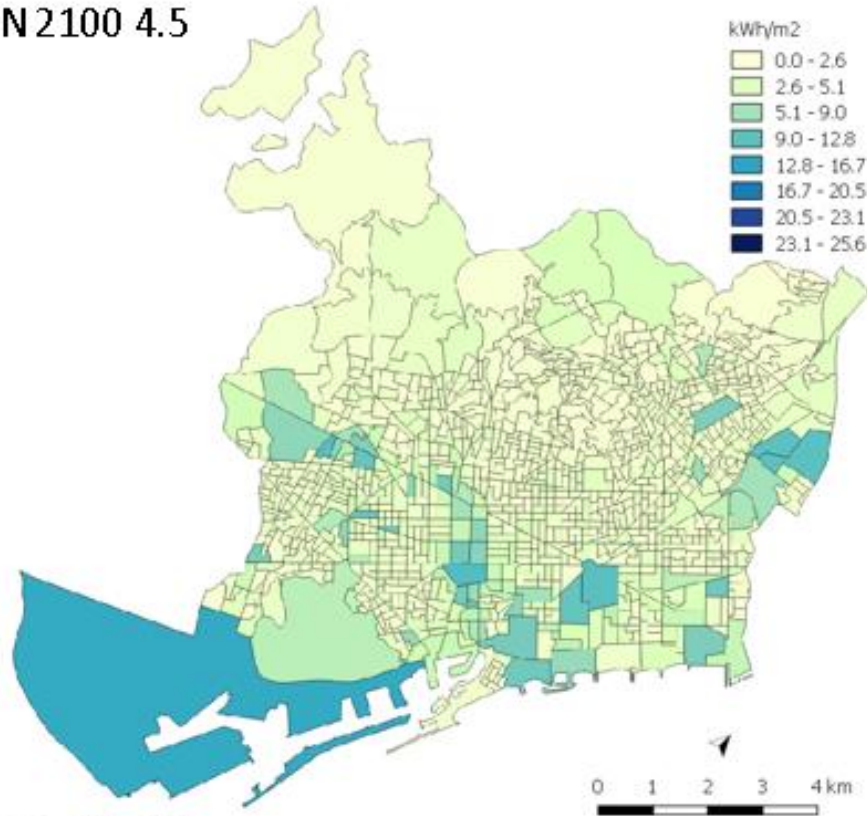
- La Plaça Catalunya
- La Plaça de les Glòries
- La Maquinista
- La Plaça de Maria Cristina
- L'illa Diagonal

Altres zones on predominen bàsicament els usos d'oficines, com l'el Port i el barri de la Marina del Prat Vermell, també destaquen per un fort increment en la refrigeració.

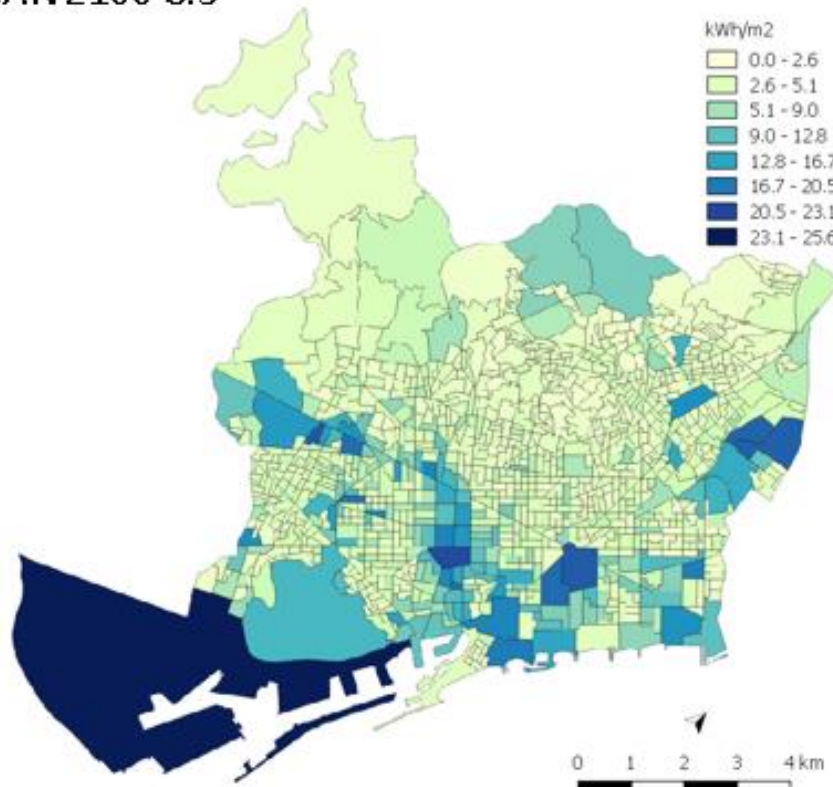
En aquest cas però cal anar en compte amb les conclusions que es poden extreure de la lectura del mapa. A la zona Franca una alta concentració de sòl industrial (exclòs de la projecció energètica) fa que el terciari responsable de les variacions en el consum de refrigeració es centri a edificis o zones concretes. Per tant, s'ha de tenir molt en compte que les projeccions no incorporen els augments de consum de refrigeració que es podrien atribuir al sector industrial.

Imatge 20: Variació del rati de consum de refrigeració al sector residencial i terciari segons l'escenari 4.5 i el 8.5 a finals de segle.

CAN 2100 4.5



CAN 2100 8.5



Font: Barcelona Regional

Pel que fa a les variacions percentuals del rati de consum de refrigeració agregat que es poden esperar es posa de manifest que les zones on més canviaria el consum en valor relatiu tenen una sèrie de comportaments similars. A les seccions censal identificades com a vulnerables (imatge 21) s'hi verifica, en general, una baixa relació de superfície construïda de terciari en relació a la superfície residencial. La vulnerabilitat es faria més accentuada en seccions on el terciari és pràcticament inexistent. Es posa de manifest que malgrat els augments absoluts poden atribuir-se a un augment de consum al terciari, en valor percentual, les àrees on més hi augmentarà el consum en valor relatiu seran aquelles àrees on el residencial tingui un major pes, i sobretot en aquells casos on les tipologies constructives denotin un pitjor comportament en èpoques de calor.

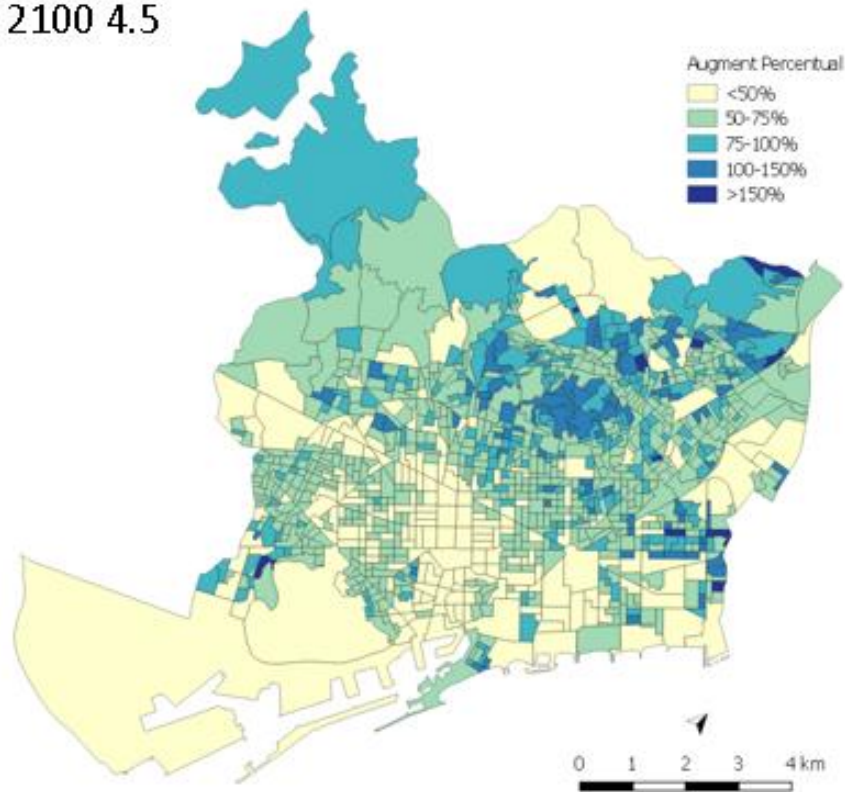
Així, en l'anàlisi agregat s'observen comportaments d'augment pronunciats a les següents àrees (entre parèntesi l'escenari on s'observa un comportament més vulnerable):

- Can Peguera (4.5 i 8.5)
- Sectors del Verdum (4.5 i 8.5)
- Sectors de La Verneda i La Pau (4.5 i 8.5)
- Algunes zones de Sant Martí de Provençals (4.5 i 8.5)
- Àmbits de la Trinitat Nova (8.5)
- Ciutat Meridiana (8.5)

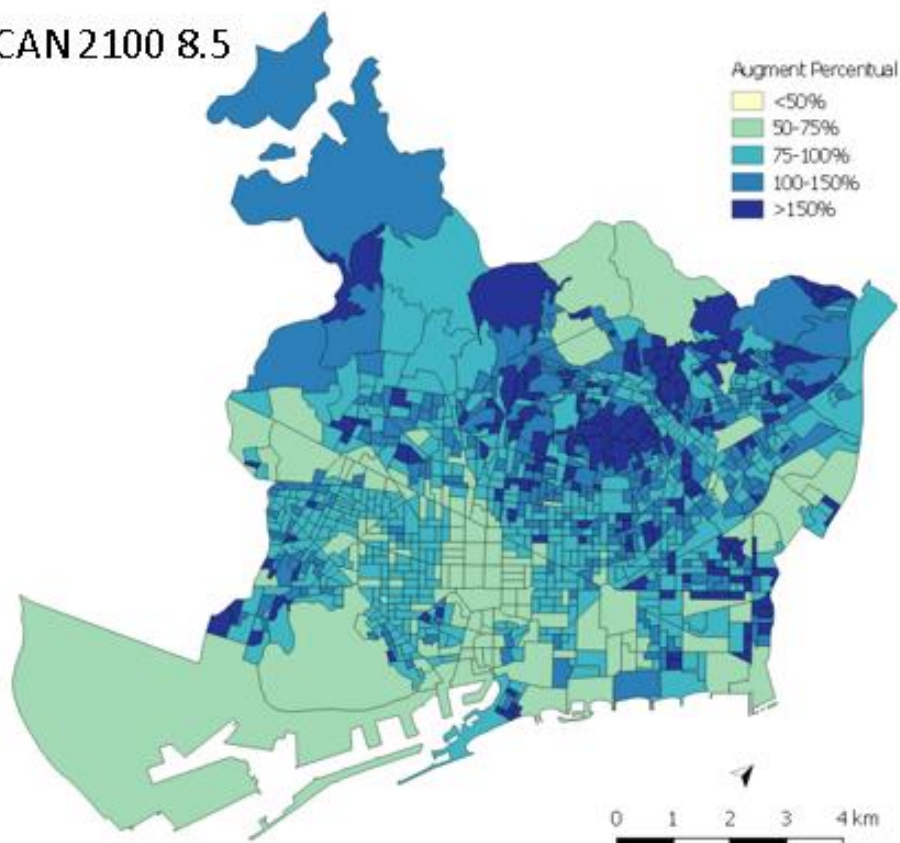
En definitiva les zones afectades són àmbits on la construcció presenta característiques que fan que tingui un pitjor comportament, i que per tant amb un increment de les temperatures es pugui esperar que tindran un major demanda i a la vegada es veuran abocats a la necessitat d'instal·lar nous sistemes a habitatges que actualment no en disposen.

Imatge 21: Variació del rati de consum de refrigeració al sector residencial i terciari segons l'escenari 4.5 i el 8.5 a finals de segle.

CAN 2100 4.5



CAN 2100 8.5

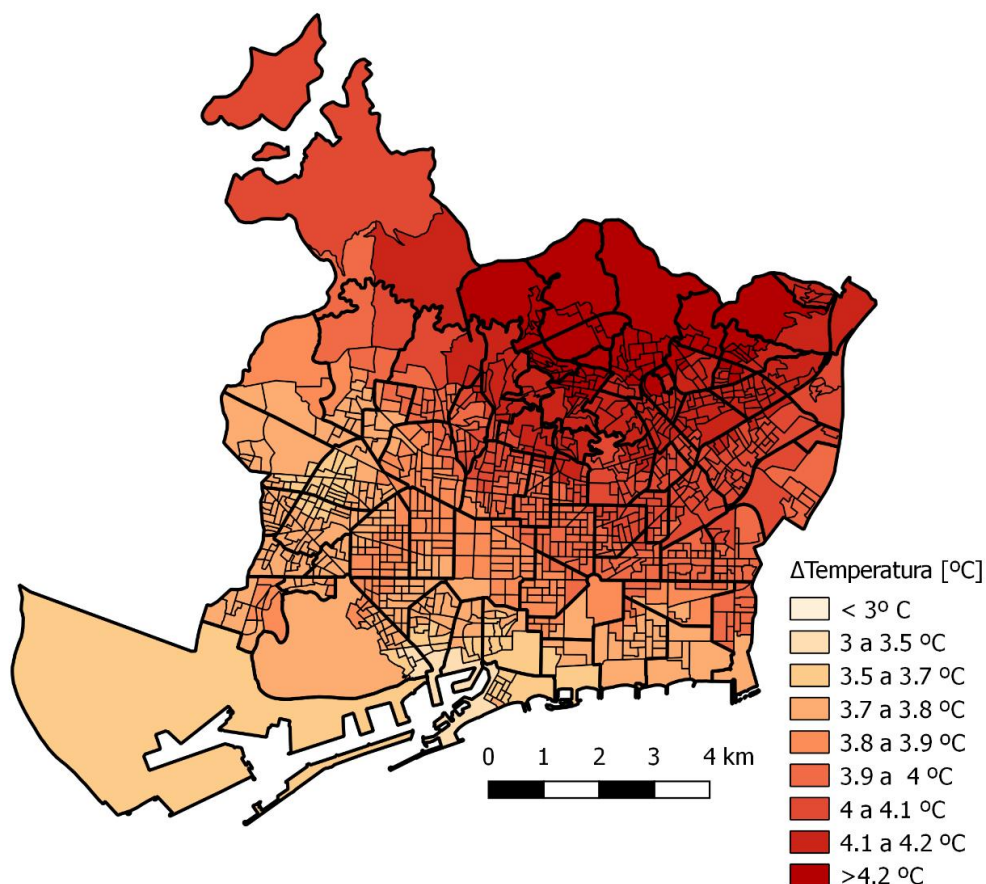


Font: Barcelona Regional

Fins ara, totes les projeccions de canvi climàtic que s'han realitzat s'han basat en unes projeccions de temperatures considerant un valor uniforme pel conjunt de la ciutat de Barcelona. Per la projecció hora-hora de temperatures per un any tipus duta a terme per l'SMC s'ha pres com estació meteorològica de referència el Raval però, lògicament, no és precís assumir que la temperatura a diferents punts de Barcelona es correspongui amb aquesta dada única. Com a conseqüència, és d'esperar que els resultats obtinguts sobreestimin els efectes del canvi climàtic sobre el consum de refrigeració a aquelles àrees on s'espera que la temperatura sigui menor a la de la projecció de l'SMC (al Raval) i els subestimïn en aquelles on s'espera que la temperatura sigui major.

Les dades de regionalització a resolució 1x1 km de l'SMC per a l'any 2100 han permès determinar la distribució d'increments de temperatura que es poden esperar a Barcelona per a tots els escenaris de canvi climàtic, però en aquest cas a mode d'anàlisi s'ha pres com a referència l'escenari més extrem (8.5) i el model canadenc²⁷. A continuació, s'adjunta un mapa on es mostra aquesta distribució:

Imatge 22: Distribució d'augment de la temperatura mitjana a Barcelona en l'escenari 8.5 segons el model canadenc



Font: Barcelona Regional amb dades de l'SMC

²⁷ Els resultats segons el model canadenc són els més extrems. Si bé quan es feia la mediana (apartat 2.2.1) s'obtenia un augment de la temperatura de +3 °C pel conjunt de la ciutat, si es té en compte el model canadenc aquest augment esdevé de gairebé +4°C

Un cop coneguda la distribució d'increments de temperatura i la distribució d'increments del rati de consum de refrigeració s'han categoritzat aquestes variables definint 2 indicadors de vulnerabilitat creixent: baix (verd), moderat (groc) i alt (vermell).

Els criteris de categorització s'han establert de la següent manera:

- Per l'indicador d'increment de la temperatura:
 - **Baix** per increments inferiors a 3.7°C
 - **Moderat** per increments compresos entre 3.7 i 4°C
 - **Alt** per increments superiors a 4°C
- Per l'indicador l'increment del rati de consum de refrigeració:
 - **Baix** per increments inferiors a 6 kWh/m²
 - **Moderat** per increments compresos entre 6 i 12 kWh/m²
 - **Alt** per increments superiors a 12 kWh/m²

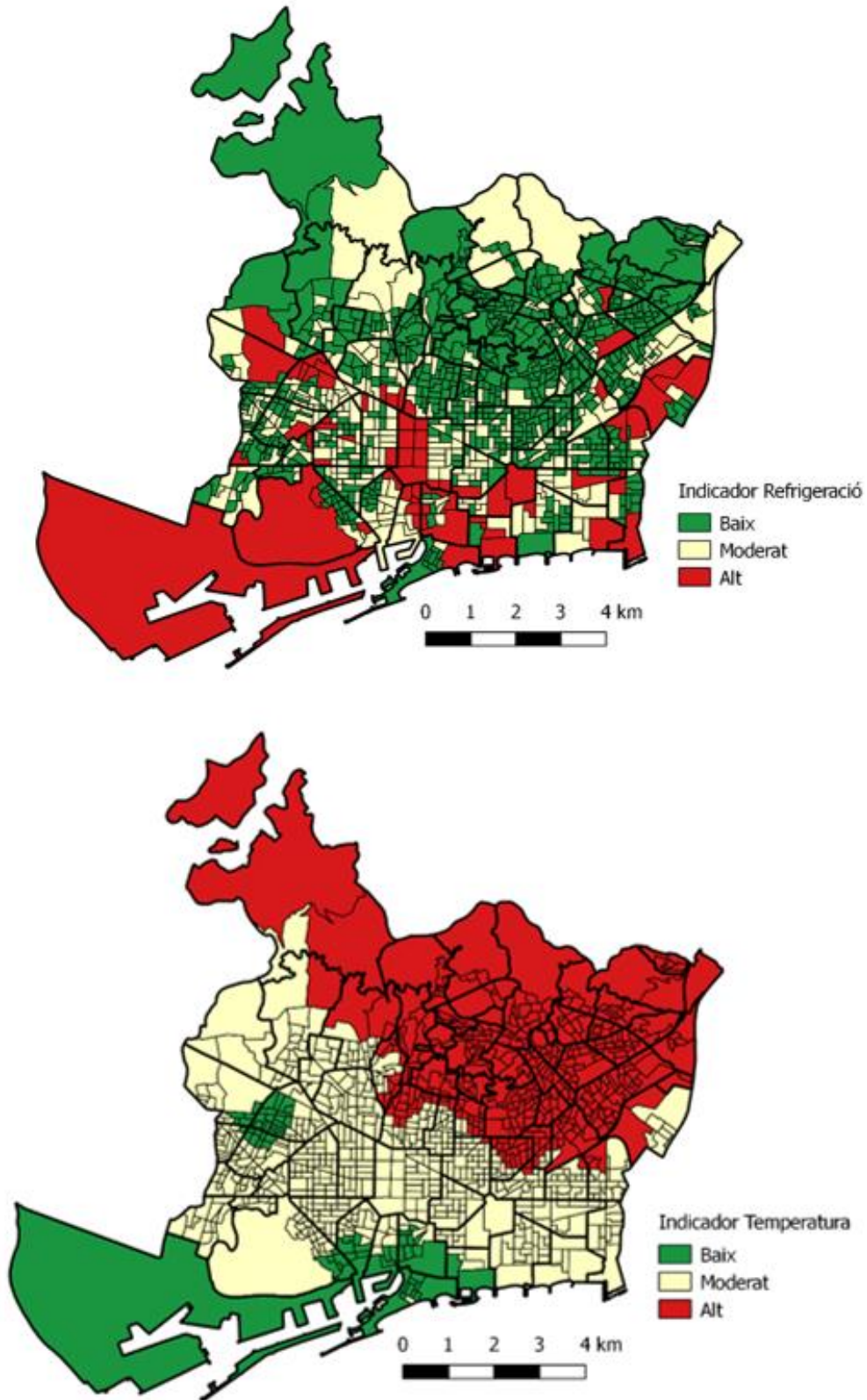
A cada secció censal se li ha assignat un indicador de vulnerabilitat per increment de temperatura i un altre per increment de rati de consum de refrigeració. El creuament d'aquestes assignacions ha generat un índex combinat conformat de 5 categories que indiquen qualitativament la vulnerabilitat que s'espera per a cada secció censal.

Per definir aquesta categorització s'han tingut en compte les diferents combinacions entre els índexs base (temperatura i consum de refrigeració). L'índex combinat pren un valor baix-baix (si tant l'índex de temperatura com el de consum de refrigeració són baixos), baix-moderat (si un d'ells pren valor baix i l'altre moderat), moderat-moderat (si ambdós prenen valors moderat), moderat-alt (si un pren valor alt i l'altre moderat) i alt-alt (si ambdós prenen valors alt).

A continuació es presenten els resultats que s'han obtingut. L'indicador que fa referència a l'increment del rati de consum de refrigeració destaca com a zones de grau de vulnerabilitat alt aquelles zones on o bé s'hi troben àrees comercials o d'oficines o bé zones residencials amb una alta representativitat de les tipologies H8.

Pel que fa a l'indicador de temperatura, la categorització a 3 nivells provoca una diferenciació per àrees força marcada. Els barris que es localitzen a la part superior del mapa (orientació nord-oest geogràfica) obtenen graus de vulnerabilitat alta mentre que per la fracció central és moderada i per zones properes al mar -excepte el front litoral a la part dreta del mapa (nord-est geogràfic) resulta ser baixa.

Imatge 23: Indicadors del grau de vulnerabilitat a l'increment del rati de consum de refrigeració (a) i a l'increment de la temperatura (b)

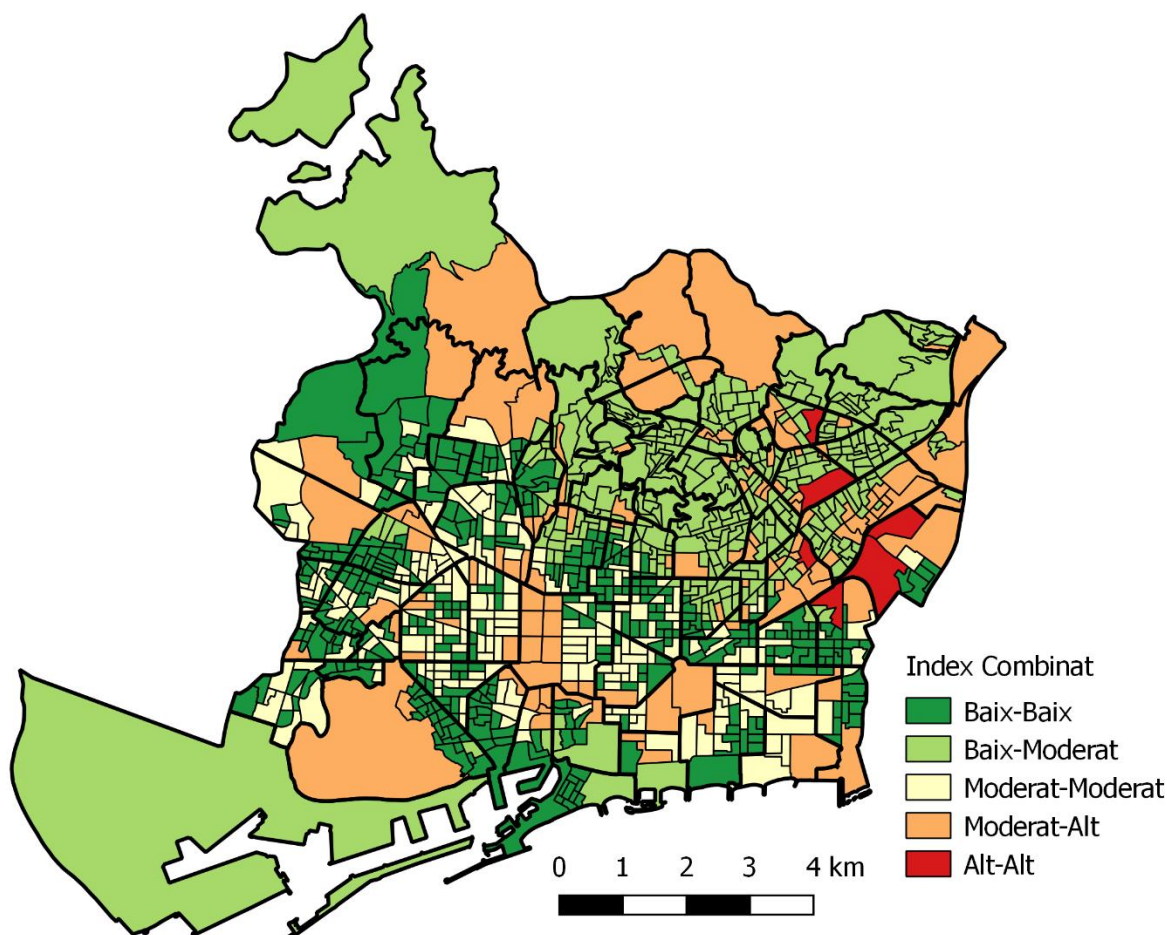


Font: Barcelona Regional

A continuació es presenta la distribució de vulnerabilitat que té en compte una distribució no homogènia de la temperatura a futur. S'identifiquen com a zones **molt vulnerables** certes seccions censals del barri de Bon Pastor, Porta, La Guineueta, Sant Martí de Provençals i la Sagrera on a una vulnerabilitat alta associada a l'augment de refrigeració s'afegeix una vulnerabilitat també alta pel que fa als eventuais increments de la temperatura a futur. El barri on s'identifica una major vulnerabilitat és el Bon Pastor.

Com a zones amb un grau de vulnerabilitat moderat-alt tenen major interès aquelles on a un indicador de consum de refrigeració moderat, s'afegeix un valor de l'indicador d'augment de temperatura alt. En aquests casos esdevé que les estimacions elaborades a nivell ciutat i presentades a la imatge 19 poden patir cert biaix si es té en compte l'efecte de la temperatura.

Imatge 24: Índex combinat del grau de vulnerabilitat a la temperatura i a l'increment de refrigeració



Font: Barcelona Regional

Especialment aquests efectes tenen lloc a les seccions censals situades a la part superior del mapa (on els efectes de la temperatura poden augmentar una vulnerabilitat moderada pel que fa a l'augment del consum de refrigeració). Les zones que s'identifiquen corresponen a barris com la Trinitat Vella, Vallbona i certes seccions censals de Montbau, Horta, Vallvidreda i el Tibidabo, Sant Gervasi-Bonanova, la Vall d'Hebrón, La Guineueta, Sant Andreu, Vilapicina, El Guinardó, La Sagrera... En aquestes zones és possible que

s'intensifiqui l'augment de consum de refrigeració respecte el representat a la imatge 19 on es considerava una distribució uniforme de les temperatures a la ciutat.

Agregat d'usos

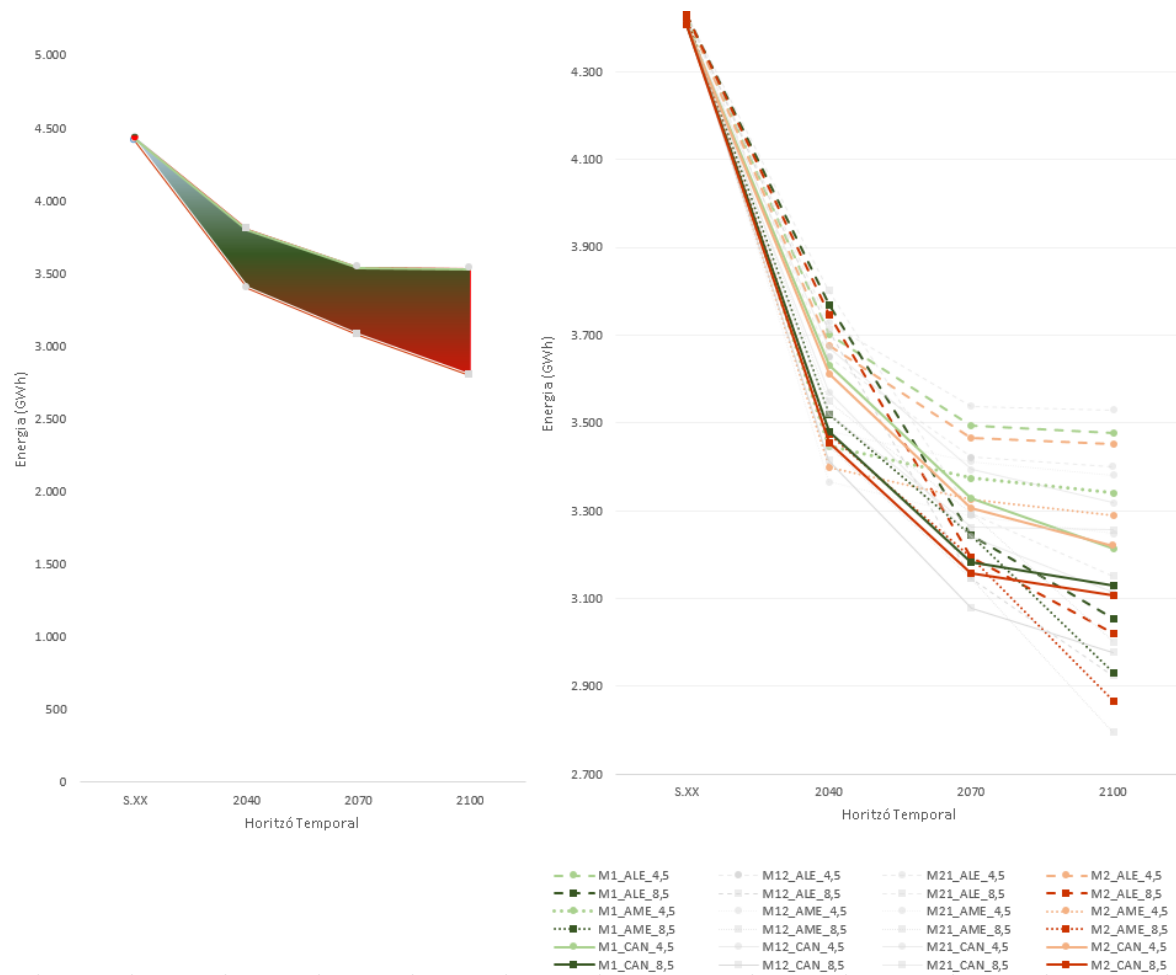
Tot i que en general només s'han considerant dues metodologies, M1 que només té en compte l'efecte físic a l'ACS i refrigeració, i M2 que té en compte l'efecte físic i de comportament també a l'ACS i refrigeració, en aquest cas s'ha volgut representar metodologies intermèdies:

- M_{21} : Considera efecte físic per ACS i refrigeració i només factor de comportament per l'ACS
- M_{12} : Considera efecte físic per ACS i refrigeració i només factor de comportament per la refrigeració

L'agregat d'usos posa de manifest que la metodologia M2 (considerada la més extrema ús per ús) no provoca el canvi de consum més brusc en escenaris de canvi climàtic. Anàlogament, el model americà es presenta com el més extrem (major variació per a l'escenari 8.5 i metodologia M_{21} , sense considerar l'efecte comportament, o increment d'instal·lacions, per la refrigeració) posant de manifest que el model on més varia l'ús d'energia en escenaris de canvi climàtic (canadenc) no és on més ho fa en l'agregat.

Aquest fet és conseqüència que la davallada en ACS i especialment en calefacció es veuen compensats parcialment pels increments en refrigeració, i que segons la metodologia i l'escenari aquesta compensació és menor.

Gràfic 78: Evolució temporal del consum energètic per l'agregat d'usos tèrmics als sectors residencial i terciari en escenaris de canvi climàtic segons model, escenari i metodologia emprada

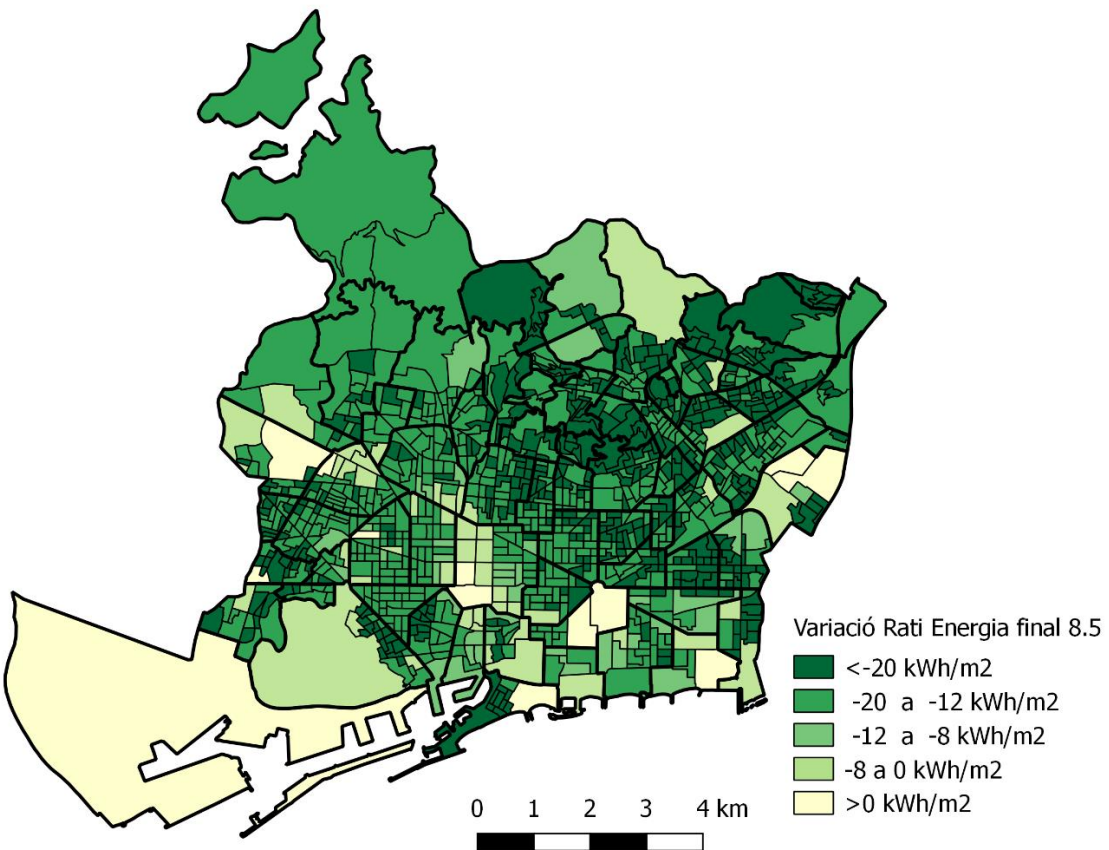
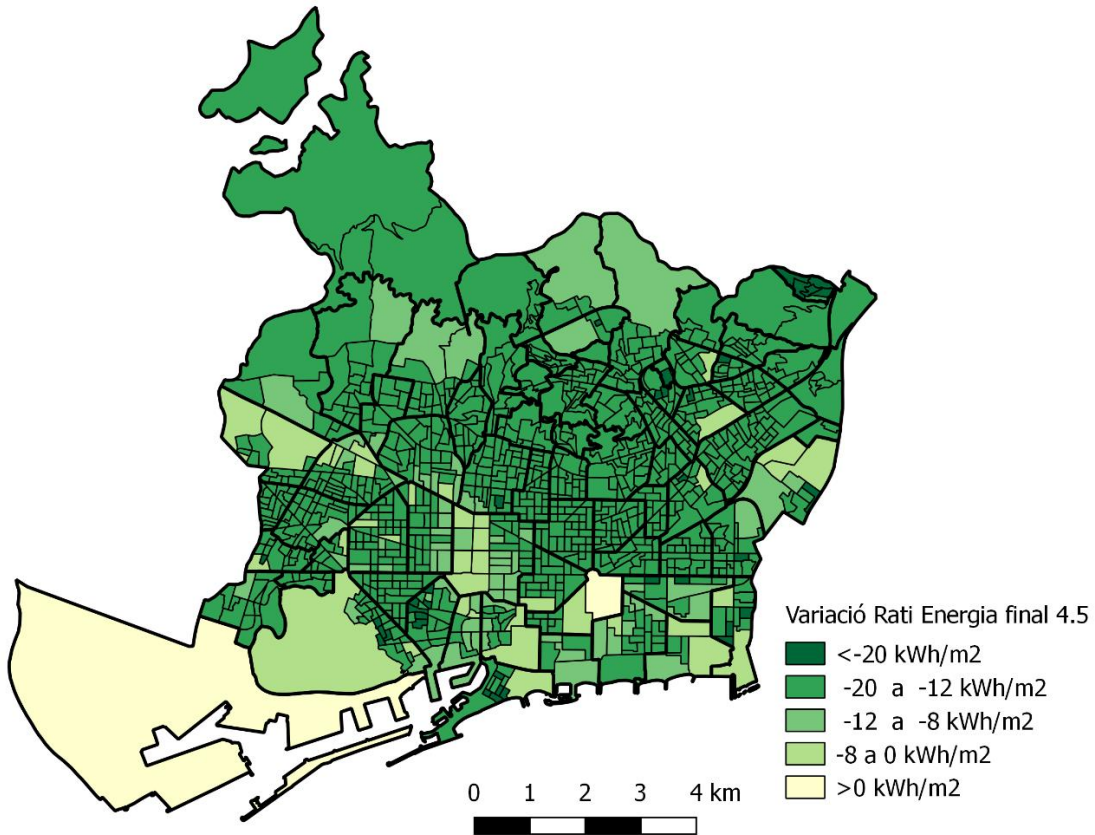


Font: Barcelona Regional

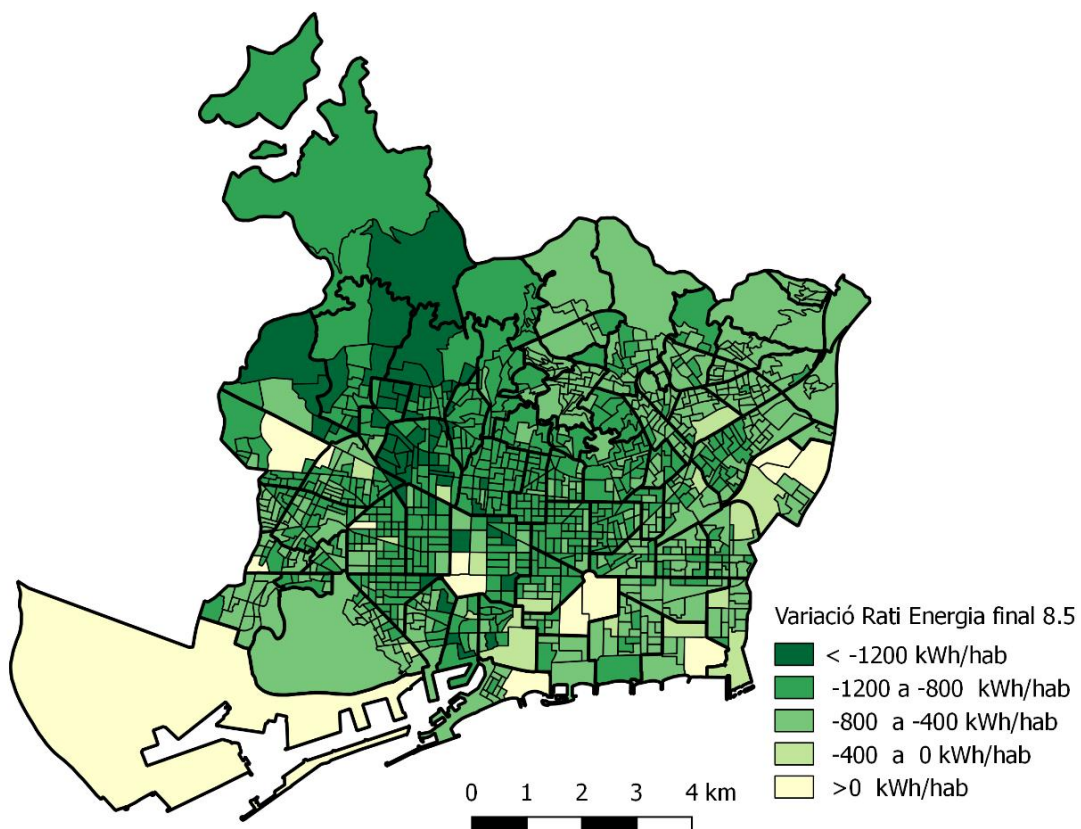
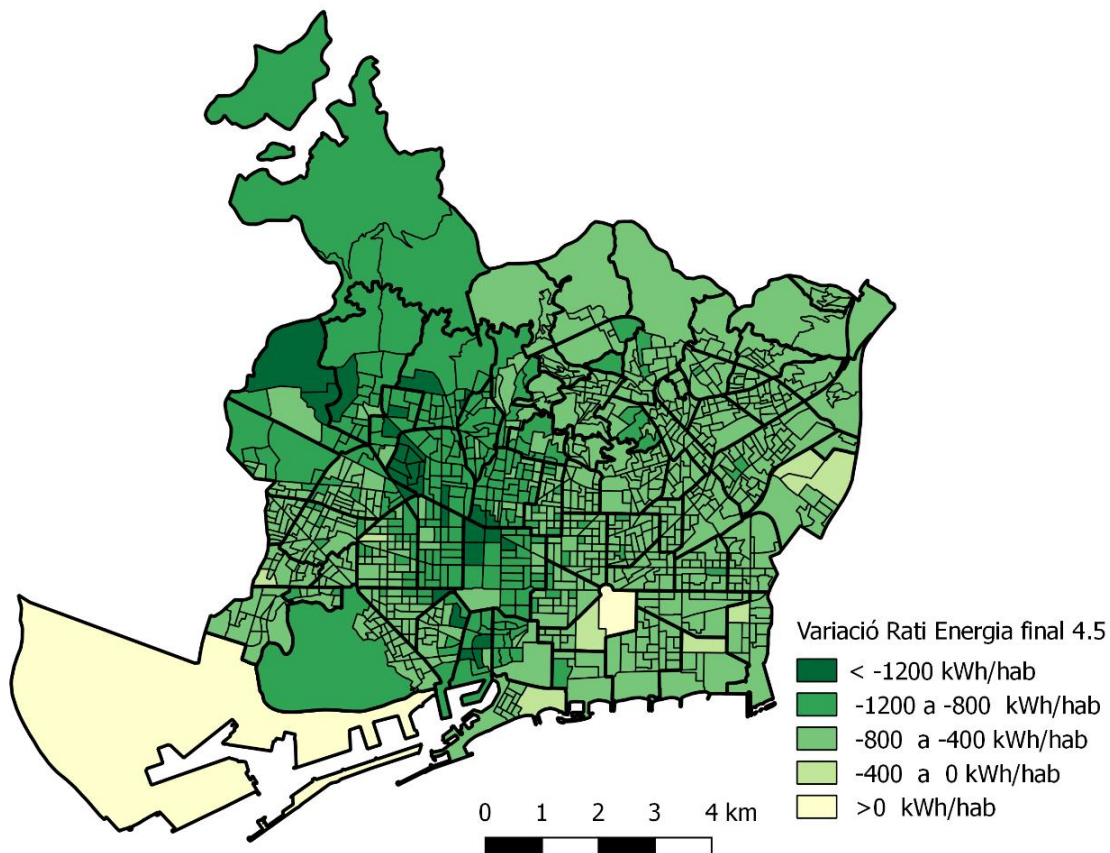
S'aprecia una diferenciació de comportament clara segons l'escenari considerat. Els 4.5 obtindrien davallades de consum més moderades que els 8.5 tant en valor absolut com en valor relatiu.

Als següents mapes es representen les variacions en els consums tèrmics dels sectors residencial i terciari i la seva distribució a la ciutat. Com ja s'ha esmentat en general predominen els decreixements pel predomini del consum residencial i només en algunes zones amb una major presència de terciari hi ha un creixement. Els mapes es presenten tant per superfície de sostre construït com per habitant.

Imatge 25: Variació del rati de consum d'energia final per unitat de superfície (a) 4.5 (b) 8.5



Imatge 26: Variació del rati de consum d'energia final per habitant (a) 4.5 (b) 8.5

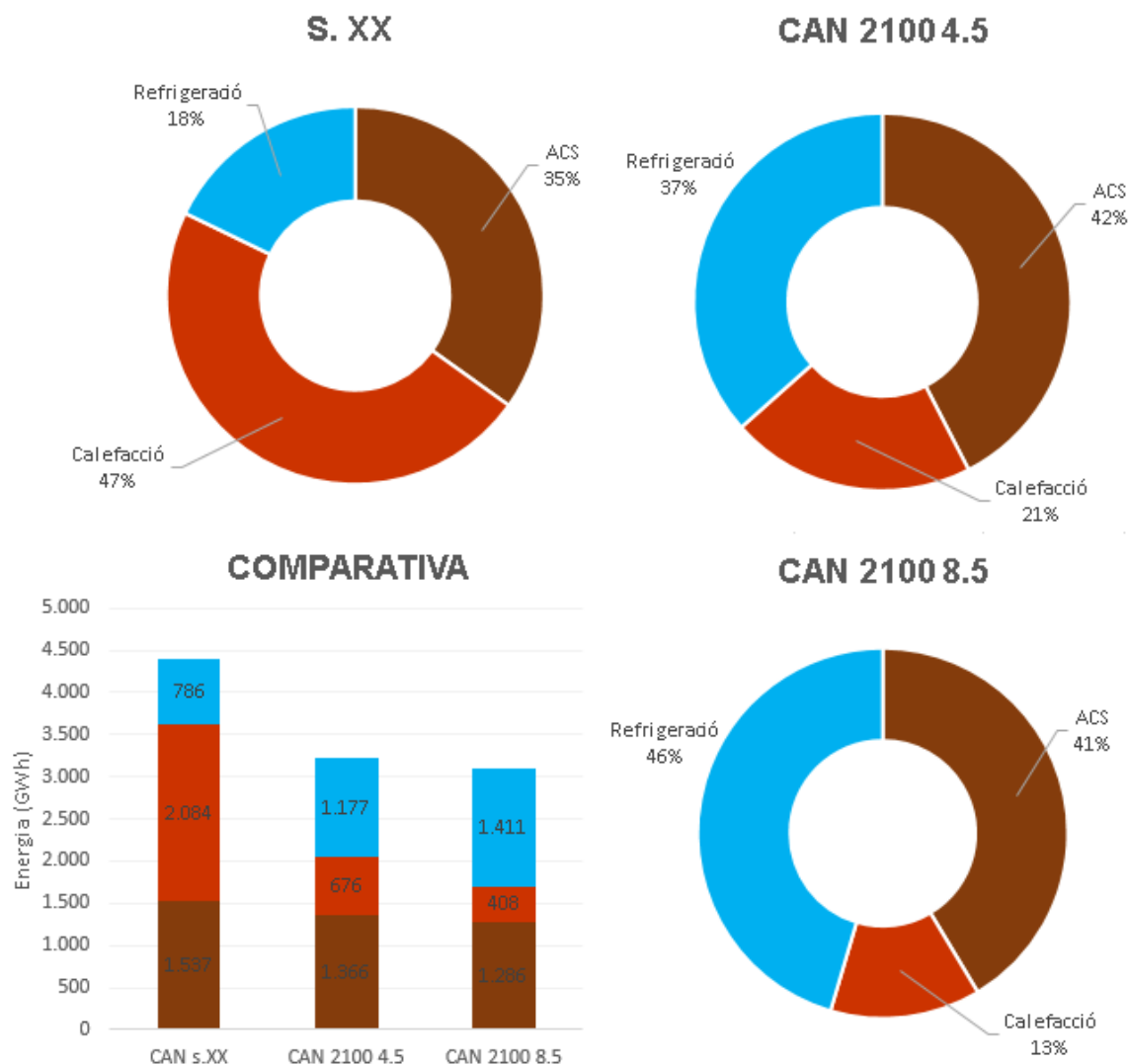


Font: Barcelona Regional

Comparativa de l'escenari de referència amb els escenaris de canvi climàtic per usos

En l'agregació del residencial i el terciari s'obtenen diferents resultats segons cadascuna de les metodologies utilitzades. Per tal de poder comparar l'escenari de referència amb els de canvi climàtic, es compararan els escenaris obtinguts segons la Metodologia M2 pel model Canadenc que és la que genera uns resultats més extrems (variacions parcials).

Gràfic 79: Comparativa de la distribució dels usos energètics al sector residencial i terciari en l'escenari de referència i en escenaris de canvi climàtic segons el model canadenc



Font: Barcelona Regional

Pel que fa a les variacions de consum per a usos tèrmics total es posa de manifest una disminució del -26,9% en l'escenari 4.5 i del -29,5% a l'escenari 8.5.

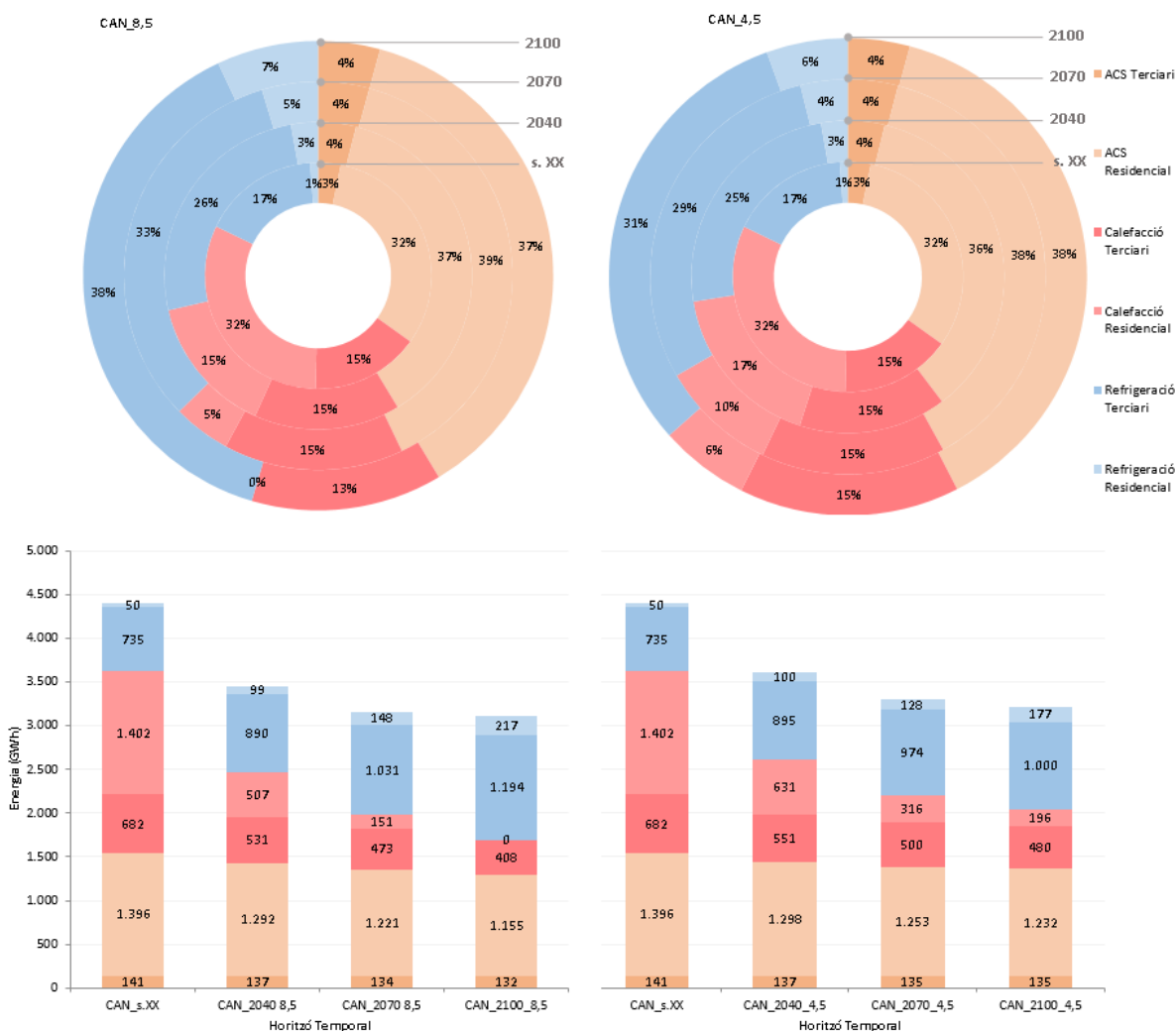
Pel que fa a la comparativa de la distribució per usos, els resultats fan palès que l'ús d'energia per a refrigeració augmentarà radicalment podent arribar a consolidar-se, segons les projeccions de l'escenari 8.5, com ús d'energia (per a usos tèrmics) majoritari (45 %). Segons aquest escenari, la calefacció es reduiria dràsticament arribant a representar únicament el 13% del consum tèrmic total. La variació que es pot esperar de l'ACS és menor i el pes de l'ACS sobre la distribució per usos es modifica sobretot a partir de les variacions que experimenten la refrigeració i la calefacció.

Els resultats del 8.5 contrasten amb els que s’obtidrien segons l’escenari 4.5 on els canvis no són tan contundents. Tot i així en el 4.5 també hi ha un descens molt marcat de la calefacció, que passa a representar el 21% dels consums tèrmics, i un augment ferm de la refrigeració incrementant la seva contribució als consums tèrmics fins a uns 37%.

Per tal d’entendre millor les diferències entre ambdós escenaris, s’ha considerat oportú analitzar no només la distribució d’usos a l’horitzó temporal 2100 sinó també fer-ne un seguiment al llarg del temps.

La següent gràfica compara els consums per ús desagregats per sector en els escenaris 4.5 i 8.5 en els diferents horitzons temporals.

Gràfic 80: Comparativa de la distribució dels usos energètics al sector residencial i terciari en l’escenari de referència i en escenaris de canvi climàtic segons el model canadenc



Font: Barcelona Regional

De l’anàlisi de les gràfiques d’anell, es pot destacar el fet que el consum d’ACS al residencial es mantingui força constant com a percentatge del total en ambdós escenaris. D’igual manera, la calefacció al terciari es manté en un valor al voltant del 15% també pels dos escenaris. S’observa que la refrigeració, sobretot la del terciari, augmenta la seva quota sobre el total de forma més dràstica per l’escenari 8.5 que pel 4.5 especialment en l’horitzó temporal 2100.

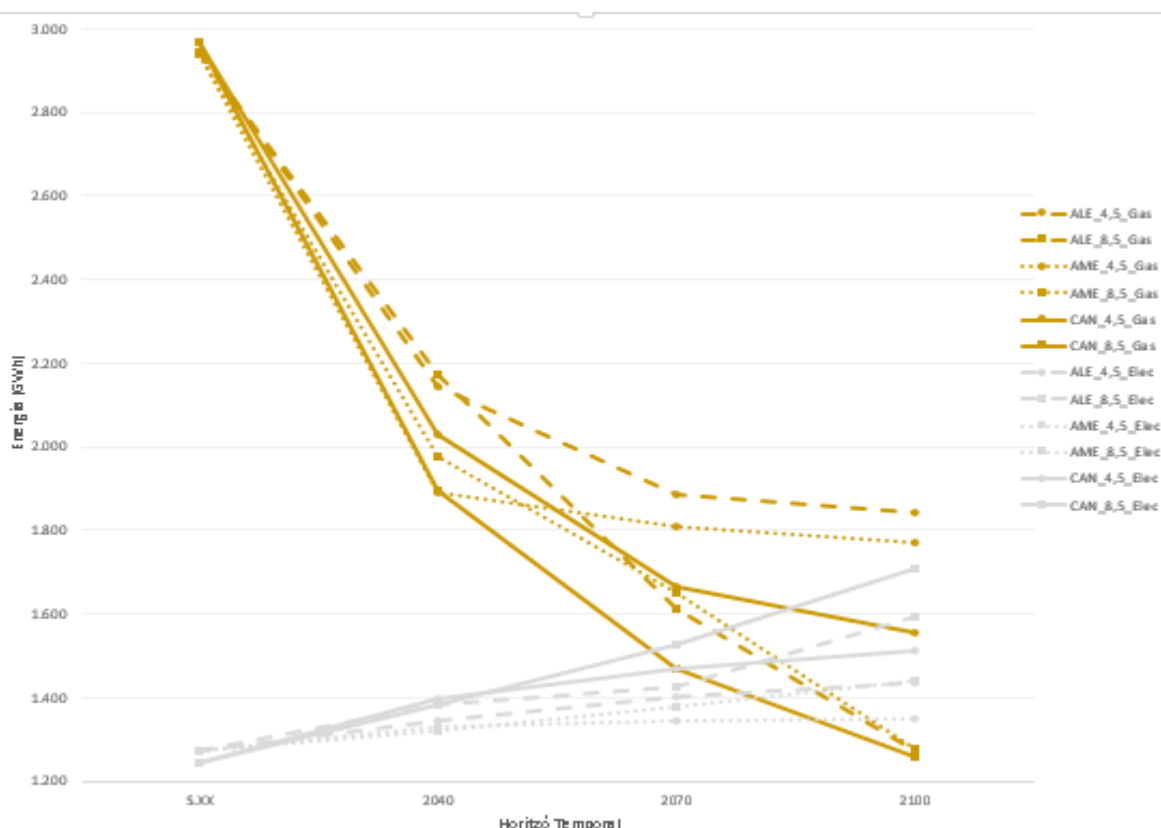
Pel que fa a les gràfiques d'evolució temporal (barres), s'aprecia un important descens de l'ús d'energia que té lloc en escenaris de canvi climàtic en relació a l'escenari de referència. Aquesta tendència es manifesta tant en l'escenari 4.5 com en el 8.5 sent més accentuada pel darrer.

Aquests resultats semblen indicar que el consum energètic tèrmic en un clima més càlid és inferior que en un clima temperat. Altres estudis transversals²⁸ (cross-section) també han identificat una tendència similar (Gangoells et al. 2016) quan han intentat explicar la distribució del consum energètic sobre el territori a l'Estat Espanyol identificant un consum energètic superior a zones temperades que a zones més càlides. L'explicació d'aquesta constatació rau sobretot en l'important pes que té l'ús d'energia per calefacció sobre els fluxos energètics totals a dia d'avui, especialment al sector residencial.

Comparativa de l'escenari de referència amb els escenaris de canvi climàtic pel tipus d'energia final consumida

Cal destacar que per aquest anàlisi en funció del tipus d'energia final consumida no s'ha fet cap estimació a futur de canvi tecnològic, i per tant només surt com a conseqüència de constatar les variacions que es podrien produir en el consum com a resultat del canvi climàtic.

Gràfic 81: Comparativa de l'evolució de les fonts energètiques en escenaris de canvi climàtic segons el model canadenc (M2)



²⁸ És un tipus d'estudi que intenta quantificar diferències, en aquest cas de consum energètic en únic moment temporal.

Font: Barcelona Regional

L'anàlisi duta a terme permet constatar que el canvi climàtic té un impacte sobre la distribució dels usos d'energia que condiona la forma en què aquesta es consumeix. El fet que la refrigeració es proveeixi amb energia elèctrica i que la calefacció i l'ACS es proveixin majoritàriament mitjançant gas natural, implica que en escenaris de canvi climàtic el consum d'electricitat tendirà a augmentar mentre que el consum de gas tendirà a disminuir. Per simplicitat i claredat s'ha representat únicament l'evolució del gas i l'electricitat (95,5% del total) ometent l'energia solar i el GLP.

La gràfica 76 permet identificar les tendències especificades segons les quals es materialitza un augment del consum d'electricitat i una disminució del consum de gas que es va fent més pronunciada a mesura que s'avança al llarg dels escenaris temporals.

2.2.3.4 Comparativa amb el consum total de la ciutat

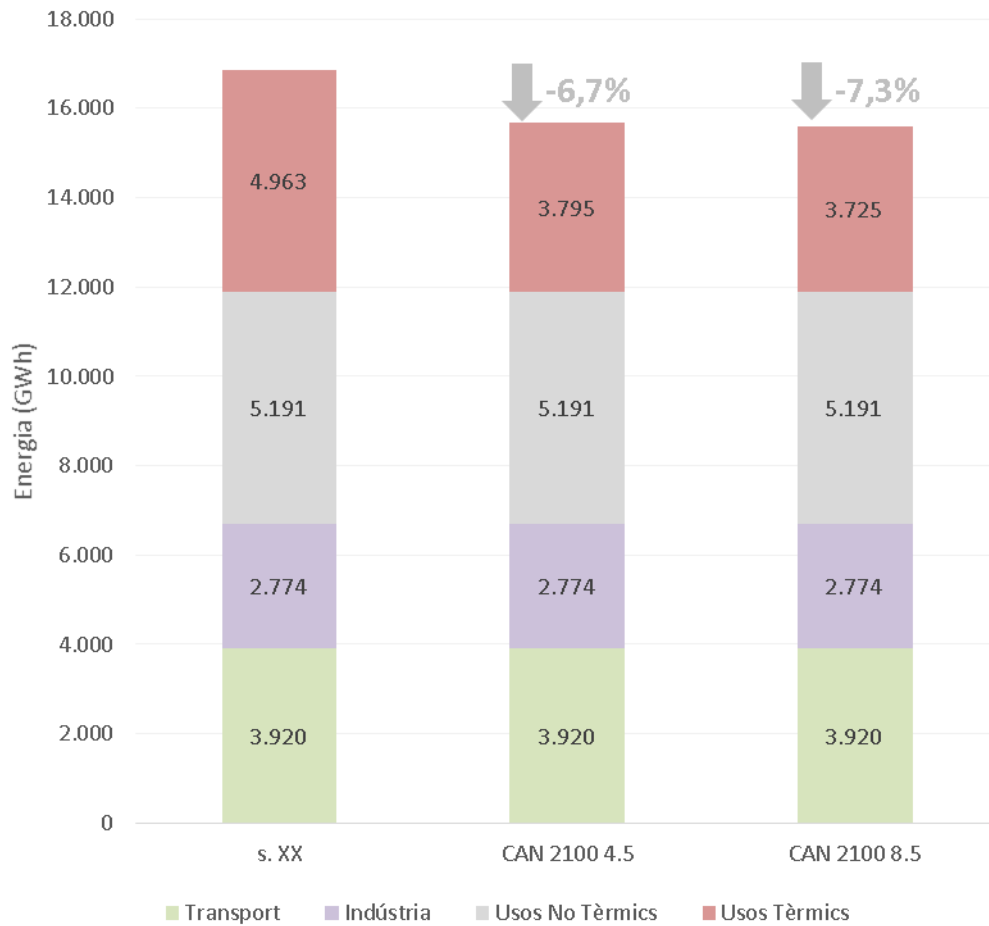
Havent projectat únicament el consum energètic per a usos tèrmics dels sectors residencial i terciari, s'ha volgut determinar quins augments o disminucions es poden esperar pel que fa al consum energètic d'energia final total de la ciutat, un cop aquests s'hagin agregat als consums corresponents dels altres sectors.

Per realitzar aquest càlcul s'ha considerat que els consums energètics tant pel sector transport com l'industrial romanen constants i s'han efectuat 3 càlculs: un per a l'escenari de referència, un altre per a l'escenari 4.5 segons el model canadenc i amb la metodologia M2 i un altre amb el mateix model i metodologia però per a l'escenari 8.5.

Donat que pel terciari no s'ha considerat el consum corresponent d'alguns subsectors (edificis municipals, hospitals, museus i biblioteques) per manca de dades disponibles, s'han hagut d'estimar els consums corresponents d'aquests subsectors assumint una relació entre usos tèrmics i no tèrmics igual a la del conjunt del terciari considerat (comercial, oficines, hotels, restaurants, esportiu).

L'agregat del gràfic 82 remarca **que l'impacte del canvi climàtic provocaria un decrement del consum d'energia final a Barcelona d'un -6,7 % a l'escenari 4.5 i d'un -7,3% en l'escenari 8.5.**

Gràfic 82: Estimació de l'evolució del consum d'energia final de la ciutat de Barcelona en escenaris de canvi climàtic, considerant la metodologia M2 i el model Canadenc



Font: Barcelona Regional

2.2.4 Potencial afectació del canvi climàtic sobre les fonts energètiques

L'afectació del canvi climàtic sobre la generació es pot tenir en compte a dos escales: d'una banda es pot analitzar l'impacte que el canvi climàtic té sobre els recursos locals i el potencial de generació de Barcelona i, de l'altra, els possibles canvis que es poden produir en la distribució del mix energètic (que cobreix el consum energètic no abastable mitjançant recursos locals.)

La generació resta condicionada a la disponibilitat dels recursos energètics, que condicionen la quantitat d'energia primària disponible. Els recursos energètics es poden classificar majoritàriament en fòssils, relacionats amb un stock (generalment procedent de l'exterior) i renovables que es corresponen amb fluxos d'energia més relacionats amb les condicions climàtiques i més supeditats a la disponibilitat de recursos locals.

És important diferenciar entre recurs i generació donat que el primer es relaciona amb un ús potencial que pot ocórrer o no. El potencial d'expansió de la generació renovable restarà condicionada a com aquests recursos potencials evolucionen i a si aquests potencials s'aprofiten o no.

Hidràulica

La generació hidràulica resta supeditada a la disponibilitat d'aigua i als cicles hidrològics. El recurs hidràulic per a la generació hidroelèctrica és el resultat d'excessos d'aigua (resultat de les interrelacions entre precipitacions, desglaç i evapotranspiració) que es transformen en cabals que s'associen a una determinada capacitat de generació. La metodologia que s'utilitza per quantificar l'impacte del clima sobre la hidràulica consisteix en traslladar variables climàtiques de llarga durada en cabal que alhora permet ser traduït en capacitat de generació.

Models hidrològics a macroescala han estimat els impactes sobre els cabals hidroelèctrics a Europa com a conseqüència del canvi climàtic²⁹. La reducció de recurs estimava una producció potencial entre el -20% i el -50% de la generació hidroelèctrica. Si bé aquests valors a gran escala podrien no correspondre's amb la realitat a Catalunya, poden servir com a primeres aproximacions.

La regionalització dels paràmetres d'influència a l'hora d'estimar el potencial hidroelèctric futur al nostre territori s'han obtingut del document *Aigua i Canvi Climàtic* del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat que posava de manifest alguns dels efectes que es podrien esperar a Catalunya en relació a certes variables climàtiques d'interès.

Segons l'estudi citat, a Catalunya s'espera:

- Una menor precipitació.
- Una major evapotranspiració (+5% en període 2025-2040 i de +15% fins a +30% en període 2070-2100).
- Una disminució de l'aportació anual (-5% en període 2025-2040 i entre un -10 i un -30% en el període 2070-2100)

²⁹ Lehner et al. (2005)

- Una menor provisió d'aigua per desglaç (les conclusions de l'estudi no són estadísticament significatives).
- Un augment de la probabilitat d'esdeveniments de pluges intenses i l'augment de la torrencialitat de les mateixes podrà provocar pèrdues de potencial de generació (per evitar eventuais inundacions i/o desbordaments).

Les interrelacions entre les variables citades (precipitació, evapotranspiració i desglaç) provocaran potencials de generació hidroelèctrica canviant que encara no permeten ser quantificats de manera clara. El que està clar és que la informació que es pugui obtenir de l'estudi històric de la generació hidroelèctrica a les centrals actuals no pot ser l'única informació disponible i, que aquesta informació, hauria d'anar sempre complementada per informació de capacitat futura (estudis de potencial) que permetin tenir en compte, per exemple, l'evolució esperada del potencial de generació d'una determinada conca en diferents escenaris de canvi climàtic malgrat aquestes anàlisis restin subjectes a un grau d'incertesa.

Aquest recurs no és local, sinó que respon a una de les contribucions al mix elèctric que garanteix el subministrament de la ciutat.

De l'anàlisi de l'origen de l'energia final que es consumeix a Barcelona segons el mix energètic espanyol, es conclou que l'energia d'origen hidràulic representa al voltant del 7%. Si el recurs hidràulic es redueix per efecte del canvi climàtic es podria produir una reducció d'aquests valors.

Eòlica

La disponibilitat de recurs eòlic resta força condicionat a les condicions climàtiques. La densitat d'energia del vent es determina a partir del balanç energètic global i dels moviments atmosfèrics que se'n deriven. El mecanisme principal pels quals el canvi climàtic afecta l'energia eòlica es relaciona amb la distribució geogràfica i la variabilitat associada a la velocitat del vent. L'impacte d'aquestes variacions pot modificar la quantitat de recurs disponible i la localització geogràfica del mateix així com també la qualitat i la fiabilitat del subministrament que es pugui derivar de la potència ja instal·lada.

En el marc del projecte ESCAT del Servei Meteorològic de Catalunya (2012), es preveia una disminució del d'entre el -2 i el -4% de la velocitat del vent a 10 m a Catalunya en el període 2000-2051 en relació als valors del període 1971-2000. D'igual manera, es preveia un major rang de variabilitat interanual, un augment de la freqüència de mesos poc ventosos i una disminució de la dels mesos molt ventosos.

L'energia eòlica no pot ser emmagatzemada i, per tant, la variabilitat natural horària de la velocitat del vent té un impacte significatiu sobre l'energia que generen les turbines eòliques. Això implica que l'anàlisi dels impactes sobre la generació eòlica no pugui fer-se únicament amb mitjanes de variació sinó que cal que tingui en compte la distribució de freqüència de la velocitat del vent. Malgrat tot, les projeccions climàtiques tenen limitacions a l'hora de reproduir la distribució temporal de velocitat del vent o els canvis que es puguin produir en la seva direcció.

Com a conseqüència, és possible que l'energia eòlica pugui ser més vulnerable als efectes del canvi climàtic que, per exemple, la hidràulica tot i que com a avantatge, els sistemes

eòlics acostumen a tenir menors vides útils que permeten fer-los més adaptables a llarg termini.

A Barcelona pràcticament no hi ha generació eòlica, i la que es pugui consumir a Barcelona amb aquest origen procedeix del mix elèctric que s'importa a la ciutat. L'energia d'origen eòlic a Barcelona és del 9% si es considera el mix l'espanyol i aquesta aportació es podria veure's afectat en la mesura que els parcs d'aerogeneradors distribuïts al territori espanyol es puguin veure afectats per aquestes variacions que podria provocar el canvi climàtic.

Des del punt de vista local, el recurs eòlic a l'àrea de Barcelona no és abundant tal i com es desprèn dels diferents mapes eòlics generats³⁰, i segons les tendències comentades, en escenaris de canvi climàtic encara es podria reduir aquest potencial.

Biomassa

La generació d'energia a Barcelona a partir de biomassa es fa principalment des de la central d'Ecoenergies i en aquest cas s'aprofita part de la biomassa generada pel manteniment dels parc i jardins de Barcelona i també per la importació de biomassa del Consorci Forestal de Catalunya.

Per altra banda, en l'àmbit de l'AMB, l'any 2012 es va dur a terme un estudi per quantificar el potencial de biomassa primària posant-se de manifest les zones on existeix un major potencial d'explotació.

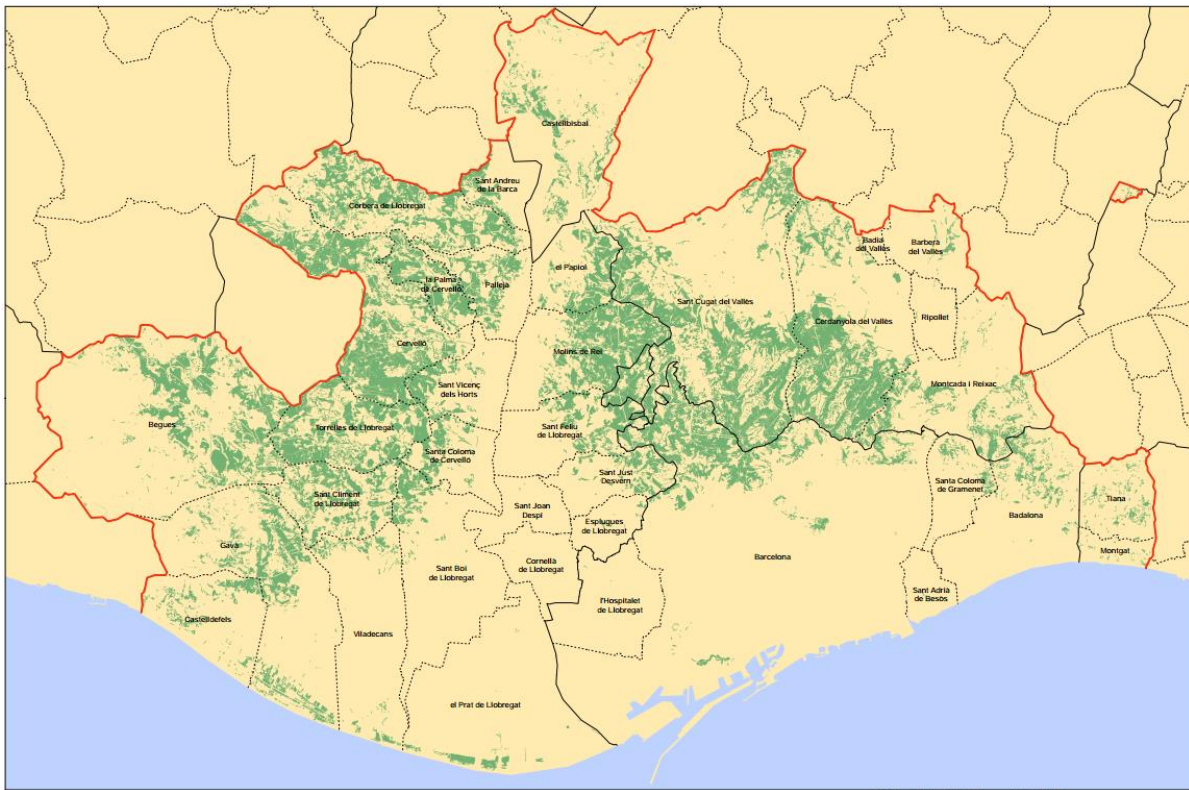
Del mapa s'identifica que a Barcelona, la principal font de biomassa d'origen local es troba als boscos del Parc de Collserola. L'explotació de recursos de forestals de Collserola va créixer a mesura que la industrialització va provocar una expansió dels combustibles fòssils. L'abandonament de les terres de conreu i l'ús creixent de combustibles fòssils van anar relegant l'ús energètic de la biomassa a un segon pla motivant-ne una acumulació creixent al Parc de Collserola³¹.

Per aquest motiu els boscos del Parc de Collserola representen avui dia una font de recursos energètics. Actualment existeix un increment creixent per aprofitar aquests recursos i a l'àrea metropolitana ja s'estan duent a terme projectes i iniciatives orientades a treure profit de la biomassa local.

³⁰ Barcelona ha desenvolupat el seu propi mapa de potencial eòlic, i l'AMB dins del marc del PSAMB també ha dut a terme el projecte *Estudi del potencial de generació d'energia minieòlica a l'AMB (2014)* segons el qual es calculava el potencial minieòlic de l'àrea metropolitana de Barcelona a diferents alçades 10, 20, 30, 40 i 50m

³¹ BOADA, Martí (2003). Boscos de Catalunya: història i actualitat del món forestal.

Imatge 27: Àrees de bosc accessible a l'AMB



Font: Estudi del potencial productiu de biomassa primària a l'AMB

L'impacte del canvi climàtic sobre la biomassa és incert i depèn de les característiques de cada territori. Diversos estudis³² han intentat quantificar l'impacte del canvi climàtic sobre la producció de biomassa conclouent que majors temperatures provoquen augments en la producció de biomassa. Aquest tipus d'estudis, no obstant, estan molt condicionats a la geografia i climatologia local i, per tant, poden no tenir una validesa completa per la ciutat.

El canvi climàtic i, sobre tot, l'increment de la temperatura es reflecteix en la resposta fenològica de les plantes.

Quan es fa atenció als canvis fenològics a escala mundial ens trobem amb alteracions tan importants com ara l'augment d'un 20% de l'activitat biològica en els últims 30 anys a causa, en gran part, de l'allargament del període productiu (Peñuelas y Filella 2001).

Les dades de l'índex de vegetació normalitzat (NDVI), corroboren les dades fenològiques dels observadors terrestres, i mostren com en els últims 20 anys, l'estació de creixement dels vegetals s'ha allargat 18 dies a Euràsia, traduint-se en un augment de la biomassa verda, almenys en latituds superiors als 40°. L'increment en la productivitat vegetal de les últimes dècades, que s'havia atribuït a aquest efecte fertilitzant del CO₂ i de les deposicions de nitrogen, pot ser degut també en part a aquest augment de temperatura i a aquest allargament de l'estació de creixement (activitat vegetativa). (Diaz et al. 2006).

³² Per exemple Poudel et al. "Effects of climate change on biomass production and substitution in north-central Sweden." *Biomass and Bioenergy* 35.10 (2011): 4340-355. Web.

Dels estudis anteriors el que es pot afirmar, és que a disponibilitat d'aigua garantida (com és el cas de la biomassa urbana que s'irriga artificialment), un augment de les temperatures provocarà una augment de l'activitat vegetativa. Aquesta conclusió no és tan clara en el cas de la biomassa forestal (com la que es troba a Collserola) donat que en aquest cas dependrà de la distribució de la pluviometria anual. Com ja s'ha comentat en aparats anteriors, les projeccions de canvi climàtic conclouen que existiran canvis en la distribució de la pluviometria al llarg de l'any però no existeix una tendència clara pel que fa a aquesta distribució a futur.

Per altra banda, l'increment de temperatures s'espera que vagi acompanyat d'un increment dels períodes de sequera que poden implicar un estrès hídric per a la vegetació de les masses forestals i afectar així el seu creixement, a banda d'incrementar el risc d'incendi.

Per tant, es difícil predir quina podria ser la tendència del potencial d'aquest recurs, tot i que cal dir que el recurs local, centrat bàsicament en Collserola no esdevé suficientment significatiu quan es contrasta amb el consum total de la ciutat.

Solar

L'afectació del canvi climàtic sobre el recurs solar pot manifestar-se com a conseqüència d'una modificació del contingut de vapor d'aigua a l'atmosfera, la nuvolositat i les característiques dels núvols que afecten a la transmissivitat atmosfèrica. Les tendències de les variacions que es podrien experimentar són variables i específiques per a cada àrea geogràfica i no s'han trobat estudis regionalitzats que analitzin futurs potencials solars a la regió de Barcelona.

Sí existeix certa evidència que la nuvolositat augmentarà lleugerament per efecte del canvi climàtic. Al Tercer informe del Canvi Climàtic a Catalunya es repassa la literatura que parla de nuvolositat en escenaris de canvi climàtic. Sánchez-Lorenzo et al. (2012) identifiquen un augment del +0,4 %/decenni en la nuvolositat total anual al nord-est peninsular entre 1913 i 2010, però amb un descens marcat des del decenni de 1960 (-1,1 %/decenni). Aquest fet es correspon amb la insolació (nombre d'hores de sol efectiu), que marca un increment anual significatiu des del decenni de 1980 fins al present (Sánchez-Lorenzo et al., 2007) i que queda confirmat per les dades d'insolació dels observatoris de l'Ebre i Fabra. Prenent com a període comú el 1968-2014, el BAIC 2014 assenyala un increment anual de +68 hores/decenni i +83 hores/decenni, respectivament, a tots dos punts.

A més de la nuvolositat, la temperatura de l'aire també pot modificar l'eficiència de les cel·les fotovoltaïques i tenir una afectació sobre la generació tant solar tèrmica com fotovoltaïca.

La magnitud d'aquests canvis dependrà del tipus de panells que s'utilitzin i de les diferents orientacions i localitzacions en què s'ubiquin. En general, es pot concloure que els impactes que tindran lloc al sector solar per efecte del canvi climàtic seran poc importants i no alteraran el potencial de generació que es pugui desenvolupar a la ciutat.

Gas natural i centrals termoelèctriques

En general no s'espera que el canvi climàtic tingui una influència sobre les reserves de combustibles fòssils però sí que pot provocar modificacions pel que fa a l'accessibilitat a aquests recursos, per exemple, fent accessibles certes zones de la regió àrtica o de Sibèria que fins ara restaven inexplorades. Per tant, existeix una incertesa relativa a l'eventual

explotació de nous jaciments de gas i petroli a zones molt fredes que podrien afectar la geopolítica global.

En relació als processos de transformació de l'energia primària, el canvi climàtic podria afectar la producció elèctrica de les centrals termoelèctriques afectant-ne la seva eficiència i la quantitat de d'aigua necessària per refrigerar-les. Els impactes que es poden esperar deriven del fet que tant el funcionament cicle de Rankine com el de Brayton (que s'utilitzen a centrals de cicle combinat com són les del Besòs o el Port) es veu afectat per les condicions de l'ambient (temperatura, pressió, humitat relativa i disponibilitat d'aigua). Alguns estudis han estudiat la modificació de l'eficiència i la capacitat de generació en condicions de temperatura modificades. Un augment de la temperatura de 33°C en la temperatura ambient provocaria reduccions del 8% de l'eficiència i del 25% de la potència d'una turbina de gas de cicle simple³³. Si s'escalen aquests resultats als augments de temperatura de canvi climàtic, la magnitud d'aquestes variacions resulta ser poc important.

Malgrat aquests canvis poden ser petits, un modest canvi a la temperatura de l'ambient pot representar una disminució prou significativa de generació total a regions com Barcelona on la generació tèrmica té un pes molt considerable sobre la generació total (>80%).

³³ Davcock et al. (2004) Generation cost forecasting using online thermodynamic models

3. CONCLUSIONS



La ciutat de Barcelona porta ja molts anys fent un seguiment dels consums que es duen a terme a nivell de ciutat. En aquest el Pla de Millora Energètica de Barcelona (PMEB) al 2002 va esdevenir un excel·lents punt de partida, i aquesta tasca s'ha seguit fent tant amb la redacció d'un nou pla, el Pla de l'Energia, Canvi Climàtic i Qualitat de l'aire (PECQ) i el desenvolupament dels successius balanços de l'energia.

Aquest seguiment permet conèixer en profunditat els consums energètics a Barcelona a escala de ciutat i per sectors, però també s'han establert metodologies per poder aproximar la distribució d'aquests consums per subsectors i tipologies constructives (al sector residencial). Precisament aquest treball pren com a referència aquestes metodologies i les dades base que es desprenen del Pla de l'Energia, Canvi Climàtic i Qualitat de l'aire i del balanç energètic de 2013 de l'observatori de l'Energia de l'Ajuntament de Barcelona i esdevenen la base per definir un escenari de referència situat a l'any 2013,

A partir de diverses metodologies obtingudes de l'adaptació de literatura de referència s'ha pogut desenvolupar projeccions a futur de consum per a diferents usos energètics tèrmics (ACS, calefacció i refrigeració) dels sectors avaluats en escenaris de canvi climàtic (4.5 i 8.5) i a través de tres horitzons temporals d'anàlisi (2040, 2070 i 2100) per poder conèixer-ne els seus potencials efectes sobre el consum energètic a Barcelona.

Cal especificar, però, que la metodologia emprada compta amb certes limitacions que es poden classificar en tres categories: **manca de dades**, **manca d'estudis de referència** i **impossibilitat de dur a terme simulacions dinàmiques**.

En primer lloc, existeix una **manca de dades** latent, sobretot pel que fa a la quantitat i distribució d'equips de refrigeració a la ciutat que possibilitarien una estimació més acurada de l'àrea climatitzada a l'escenari de referència i, conseqüentment, de les projeccions estimades en escenaris de canvi climàtic. Aquesta falta de dades també es manifesta en relació a l'absència de ratis energètics actualitzats pels subsectors terciaris omesos en l'anàlisi: museus i biblioteques, edificis municipals i edificis d'atenció sanitària (hospitals, CAPs, clíniques...).

En segon lloc, existeix **una manca d'estudis** que examinin els efectes que les variacions climàtiques poden tenir sobre l'adopció d'equips de refrigeració. La irrupció d'equips d'aire condicionat s'ha estudiat tradicionalment com a conseqüència de canvis econòmics i tecnològics però en menor mesura des de la vessant climàtica. Noves investigacions haurien d'aportar major solidesa a les projeccions desenvolupades en el present capítol.

En tercer lloc, la **simulació dinàmica** permetria obtenir resultats més exactes de la demanda tèrmica teòrica dels edificis podent-se així diferenciar-se més els resultats obtinguts mitjançant la metodologia 1 que únicament té en compte els efectes físics del canvi climàtic i la metodologia 2, que té en compte tant els efectes físics com els de comportament així com també identificar majors diferències entre les diferents tipologies constructives. De la mateixa manera, es podrien definir ratis energètics més acurats per a cada escenari i horitzó temporal afinant l'exactitud dels resultats obtinguts.

L'estudi s'ha limitat a valorar aquelles afectacions sobre els consums que tenen el seu origen en la variabilitat climàtica associable al canvi climàtic ometent potencials efectes sobre els consums originats per factors d'altra índole com poden ser els econòmics, demogràfics o els socials.

També s'han exclòs de l'anàlisi les potencials afectacions sobre consums on el canvi climàtic tindria una incidència menor (consum d'electricitat per usos no tèrmics) o en aquells sectors on, per les seves característiques, l'afectació del canvi climàtic no presenti una tendència clara (sector transport i sector industrial).

Per tant, l'anàlisi s'ha limitat a projectar l'evolució del consum energètic dels usos energètics tèrmics (ACS, calefacció i refrigeració) en el sector de l'edificació tant residencial com terciari considerant constants els consums dels altres usos i sectors no projectats.

Tot i que l'anàlisi s'ha fet per a tots els horitzons temporals, per tres models climàtics (alemany, americà i canadenc), diverses metodologies, en general s'ha aprofundit aquells que corresponen a un escenari més extrem que correspon al model canadenc, pel 2100 i la metodologia (M2) que té en compte els factors físics i de comportament. Són aquests també els resultats que es destaquen en aquestes conclusions.

Els resultats obtinguts a finals de segle conclouen que el **consum energètic per a usos tèrmics al sector residencial** disminuiria entre el **-44%** i el **-56%** segons l'escenari considerat (4.5 i 8.5 respectivament) i que aquests decrements serien del **-25%** i del **-29,6%** respectivament si es comparat respecte al consum energètic **per a tots els usos del sector residencial**. Aquestes disminucions són molt importants i es justifiquen a partir del fet que el consum energètic per a calefacció podria esdevenir nul en l'escenari més extrem i no seria compensat pel considerable augment de la refrigeració que, malgrat tot, es quadruplicaria en valor absolut provocant-se un augment relatiu en el consum de refrigeració residencial del **334%**. Pel que fa a l'anàlisi per tipologies, es posa de manifest que les més velles patirien majors decrements que les noves tant en valor relatiu com en absolut.

L'anàlisi regionalitzat ha tret a la llum que les zones on existeix una major presència de tipologies antigues patirien majors augments relatius del rati de consum de refrigeració mentre que els majors augments del rati de consum de refrigeració en valor absolut tindrien lloc a barris on hi predominen tipologies més noves.

Els augments de rati de refrigeració absoluts relatius augmentaran força a barris on hi existeixen tipologies constructivament deficientes com als barris de Can Peguera i del Bon Pastor així com a altres zones com el casc antic, el Poble Sec o Gràcia. Altrament s'espera que el rati de refrigeració absolut augmenti més significativament a barris on avui dia ja hi abunden les instal·lacions d'AC com pot ser el barri de Diagonal Mar i en el qual hi abunden tipologies associades a un alt consum de refrigeració.

Pel que fa al sector terciari, els consum per a usos tèrmics augmentaria entre un **3,6%** i un **11,2%** (4.5 i 8.5) respectivament i el consum energètic per a tots els usos augmentaria entre un **1,4%** i un **4,3%**. Aquests resultats es justifiquen per un major pes de la refrigeració sobre la distribució del consum energètic en el sector terciari i d'una menor disminució de la calefacció conseqüència de la metodologia diferenciada en relació al residencial.

Els augments més significatius es produirien al sector oficines on els augments del consum d'energia per usos tèrmics podria esdevenir de fins al 20,2% en l'escenari més extrem al sector oficines i de fins al 9,9% en el subsector comercial sobretot a causa del considerable augment de la refrigeració. A sectors amb una distribució de consum entre els usos tèrmics on la refrigeració no és tant significativa s'hi esperen variacions entre el -4,1% i el -1,9% (hotels), entre el -3,1% i el -4,4% (esportiu) i entre el -1,5% i el 2,1% (restaurants).

En l'agregat (residencial i terciari) per a usos tèrmics s'esperen variacions entre el -26,9% i el -29,5% que esdevenen del -15,4% i del -16,8% respectivament si es consideren tant usos tèrmics com no tèrmics en els anteriors sectors.

Si es tenen en compte els consums de tots els sectors (residencial, terciari, transport i industrial) considerant invariants pel canvi climàtic els 2 últims **Barcelona disminuiria entre un -6,7% (4.5) i un -7,3% (8.5) el seu consum energètic a finals de segle.**

No cal oblidar que, malgrat una disminució del consum energètic sembla indicar majors facilitats a l'hora de desenvolupar estratègies d'adaptació, els canvis en el consum energètic de la ciutat provocaran canvis en els patrons de consum dels ciutadans. L'ús de la calefacció es veurà fortament reduït però no és menys cert que l'increment de l'ús de la refrigeració, sobretot aquell produït a causa de noves instal·lacions de refrigeració augmentarà notablement la demanda d'electricitat de la ciutat.

L'electrificació del sector energètic induïda en part per la mobilitat elèctrica, però també per una tendència a una major penetració de les tecnologies de climatització elèctriques i per cada vegada una major dependència d'aquesta energia per la progressiva introducció de noves tecnologies podria fer entrar els diferents sectors en competència pel recurs elèctric, especialment en episodis d'altres temperatures esdevenint aquests fenòmens més probables en presència de canvi climàtic, comportant una major necessitat d'infraestructures de distribució a la ciutat.

Els estudis de vulnerabilitat en el marc del PSAMB ja preveïen potencials augments considerables de la demanda de potència elèctrica necessària per satisfer les necessitats de la ciutat. Aquí es vol reiterar aquesta tendència així com les seves possibles conseqüències.

A més a més, la necessitat de tendir a un sistema energètic més distribuït i de caminar vers la sobirania energètica provoca que el subministrament energètic de la ciutat depengui cada cop més de les condicions climàtiques que variaran de manera incerta a futur. Si bé l'efecte del canvi climàtic serà reduït sobre els recursos locals (solar, eòlic, biomassa) aquest pot afectar la generació de les diferents tecnologies que constitueixen el mix de generació energètica. La producció hidroelèctrica que ja pateix cicles més secs alternats amb d'altres més humits que repercuteixen sobre el mix, es podrien veure accentuats, amb una tendència a la reducció del recurs derivat dels efectes del canvi climàtic. El recurs eòlic també es podria veure's afectat a la baixa tot i que aquesta tendència no és ni tan marcada ni tan clara.

4. RECOMANACIONS



Les propostes que es deriven de l'elaboració del present treball poden classificar-se essencialment en dues categories.

D'una banda, cal fer èmfasi sobre aquelles mesures destinades a millorar l'accessibilitat a les dades i a la fiabilitat d'aquestes tant per millorar l'exactitud i la precisió dels anàlisis que s'han dut a terme en el present capítol, així com per facilitar-ne el seu seguiment al futur.

De l'altra, és precís destacar les mesures que poden prendre les administracions, els ciutadans i el sector privat per facilitar les estratègies d'adaptació.

Pel que fa a les **propostes de millora de l'anàlisi i seguiment** caldria:

- **Dur a terme una anàlisi dinàmica del comportament tèrmic dels edificis en escenaris de canvi climàtic:** les projeccions climàtiques de l'SMC permeten la simulació del comportament esperat dels edificis en presència de canvi climàtic. Aquestes simulacions permetrien obtenir noves demandes d'energia, específiques per a cadascuna de les diferents tipologies edificatòries i facilitarien l'obtenció de comportaments més diferenciats segons la tipologia considerada.
- **Avaluar la necessitat de definició de noves tipologies:** les directives europees com l'EPBD (Energy Performance Building Directive) aposten per aconseguir edificis energèticament eficients i d'ús d'energia gairebé nul (NZEB). Nous escenaris normatius haurien de provocar canvis significatius sobre el disseny constructiu que justificarien la necessitat de definir alguna nova tipologia.
- **Assegurar que l'assignació de ratis energètics considerats és correcta:** cal garantir que els ratis energètics de consum de base que han fixat l'escenari de referència estan actualitzats i que es corresponen amb la distribució del consum per sectors, subsectors i tipologies de la ciutat.
- **Assegurar una assignació de ratis energètics per aquells subsectors del terciari que no en disposen:** caldria incorporar els ratis energètics dels subsectors terciaris corresponents a museus i biblioteques, edificis d'atenció sanitària i edificis municipals per poder actualitzar els resultats de l'estudi efectuant així un anàlisi exhaustiu i específic per a cada subsector.
- **Monitoritzar la penetració de sistemes de refrigeració a la ciutat:** les dades a nivell Barcelona que s'han utilitzat per l'estudi estan força desactualitzades i, per tant, la seva fiabilitat és limitada. És important garantir una disponibilitat de dades en aquesta matèria per confirmar o modificar les tendències que s'han tingut en compte per elaborar aquest estudi.
- **Impuls de nous estudis orientats a quantificar l'impacte que el canvi climàtic podria tenir sobre el sector del transport:** la bibliografia que estudia l'impacte del transport sobre el clima és molt extensa mentre que la que analitza els impactes del clima sobre el consum energètic del transport és encara molt minsa. Caldria impulsar estudis en aquesta àrea sobretot tenint en compte la transició d'un sistema de transport basat en els combustibles fòssils en un que s'espera que es basi cada cop més en l'electricitat.

- **Obtenció de dades energètiques més localitzades:** tot i que aquesta necessitat no és específica del canvi climàtic, pel fet de ser una reivindicació gairebé permanent de l'Ajuntament de Barcelona, es creu necessari plantejar la necessitat d'obtenir dades més detallades tan per sectors com geogràficament per poder identificar diferències de comportament en funció del barri i per poder relacionar-ho amb temes socials i econòmics, a banda de avaluar la incidència dels canvi climàtics sobre les diferents tipologies i concretar més les zones amb majors necessitats d'actuacions.

Tot i que del balanç global es pugui interpretar que el canvi climàtic podria tenir un efecte positiu sobre la ciutat des del punt de vista dels fluxos energètics, cal pensar que si bé des del punt de vista de la calefacció és veritat, el que s'ha d'aconseguir que en la mesura del possible es minimitzi l'increment en refrigeració i en aquest sentit cal pensar quines estratègies cal anar perfilant per fer-ho possible en el futur. En aquest sentit es **proposa per facilitar l'adaptació:**

- **Adaptació de la normativa dels edificis:** cal potenciar la reducció de demanda de refrigeració i mantenir el nivell d'exigència amb la calefacció (cal evitar que per reduir les demandes de refrigeració les de calefacció es vegin augmentades, tot i així caldrà analitzar quin és el equilibri òptim i segurament caldrà també una revisió de les normes a mesura que els efectes del canvi climàtic es vagin consolidant). La transposició de la directiva sobre NZEB hauria d'esdevenir una oportunitat en aquest sentit.
- **Programes de rehabilitació:** Barcelona té la majoria del edificis construïts i consolidats i per tant l'actuació sobre l'edificació existent és clau per assolir els objectius. A partir dels anàlisis territorials (i aquells de major detall que es puguin desenvolupar en el futur) cal establir prioritats per fer front a les tipologies amb un pitjor comportament i especialment en zones o barris on això es pot veure agreujat per un major increment de la temperatura i pels condicionants socials i econòmics. Cal implementar sistemes de gestió que permetin actuacions a gran escala i que d'alguna manera incentivin la reserva de fons econòmics de les comunitats per desenvolupar actuacions que millorin el comportament dels edificis.
- **Generació local amb recursos garantits:** cal avaluar quines són les estratègies de generació local que millor s'adaptin a les futures demandes i als potencials de generació local tenint en compte per una banda el canvi climàtic, però també l'escassetat de recursos i estudiar quines normatives o incentius permeten maximitzar aquest aprofitament.
- **Estratègies per la millora energètica i de l'eficiència del sector terciari:** el fet de ser el sector més vulnerable i que pot provocar increments nets derivats del canvi climàtic fan necessàries estratègies específiques per aquest sector, tant pel que fa a mesures constructives, d'eficiència, d'ús i de generació.
- **Adaptació de les xarxes de distribució:** anàlisi de com les xarxes, especialment l'elèctrica s'ha de dissenyar i modificar per adaptar-se a aquests canvis de patrons de consum, i això a la vegada sigui compatible amb la modificació del model de generació, potenciant la generació local.

Una vegada plantejades les propostes específiques d'adaptació al sector energètic, cal integrar-les dins d'un marc d'acció holístic. Algunes de les mesures d'adaptació aquí plantejades (descentralització de la generació i producció mitjançant recursos locals) poden entrar en competició per l'ús del sol amb mesures d'adaptació en altres àmbits. Per exemple, l'ocupació de cobertes per solar fotovoltaica o solar tèrmica podria competir amb la implementació de *green roofs* o l'horticultura urbana als terrats. Com a conseqüència, és important identificar les sinèrgies amb altres sectors de manera que les solucions i propostes d'adaptació assegurin escenaris on les mesures energètiques configurin escenaris de propostes de guany-guany (win-win).

5. BIBLIOGRAFIA



Aebischer, B., Henderson, G., Jakob, M. i Catenazzi, G. (2007). *Impact of climate change on thermal comfort, heating and cooling energy demand in Europe*. ECEEE 2007 Summer Study. 859-870.

Agència de l'Energia de Barcelona i Barcelona Regional.(2016). *L'energia a Barcelona 2013.Balanç de ciutat i municipal*

Ajuntament de Barcelona (2011).*Pla de l'Energia, el Canvi Climàtic i la Qualitat de l'aire de Barcelona 2011 – 2020 (PECQ)*.

Ajuntament de Barcelona (2006). *Ordenança Solar Tèrmica*. Agència de l'Energia de Barcelona.

Àrea Metropolitana de Barcelona, Esteyco i Barcelona Regional (2014) *Estudi sobre la Vulnerabilitat del subministrament energètic al Canvi Climàtic a l'AMB. PSAMB*

Àrea Metropolitana de Barcelona (2014).*Estudi del potencial de generació d'energia minieòlica a l'AMB. PSAMB*

Àrea Metropolitana de Barcelona, *Pla de Sostenibilitat Ambiental de l'àrea metropolitana de Barcelona 2014-2020 (PSAMB)*.

Àrea Metropolitana de Barcelona, Servei Meteorològic de Catalunya i Barcelona Regional (2016). *Escenaris climàtics regionalitzats a l'Àrea Metropolitana de Barcelona (Projecte ESAMB)*

Àrea Metropolitana de Barcelona, Servei Meteorològic de Catalunya i Barcelona Regional (2017). *Generació d'escenaris climàtics regionalitzats a molt alta resolució per a l'AMB, ESAMB Fase II*.

Auffhammer, M. i Mansur, E. (2014). *Measuring Climatic Impacts on Energy Expenditures: A Review of the Empirical Literature*. Energy Economics. 14: 522-530.

Blázquez et al. (2013). *Residential electricity demand in Spain: New empirical evidence using aggregate data*. Energy Economics. 36: 648-657.

Boada, M. (2003). *Boscós de Catalunya: història i actualitat del món forestal*.

Burch, J.i Christensen C. (2007). *Towards Development of an Algorithm for Mains Water Temperature*. Proceedings of the 2007 ASES Annual Conference

Código Técnico de la Edificación (2006).*Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE)*.

Comissió Europea (2006). *Ecoheatcool Report*

Comissió Europea (2006). *The European Cold Market*

Comissió Europea i IDAE (2011). *Análisis del consumo energético del sector residencial en España*. SECH-SPAHOUSE

Corbera, E. i Besnard, M. (2010). *L'aigua i el canvi climàtic a la Mediterrània*. Centre

Davis,L. I Gertler,P. (2015). *Contribution of air conditioning adoption to future energy use under global warming*. PNAS

- De la Flor, F.J.S., Lissén, J.M.S. & Domínguez, S.Á.,(2006). *A new methodology towards determining building performance under modified outdoor conditions*. Building and Environment, 41(9), pp.1231–1238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.035>.
- Deerns SL i Barcelona Regional (2013) *Informe final. Optimització de la demanda. Sector 12 del Barri de la Marina*.
- Díaz, M., Felis, N., Martín, R., Molina, A., Toa, N. (2006). *Canvi ambiental global al Parc de Collserola*. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Dirks, James A. et al. (2015). *Impacts of Climate Change on Energy Consumption and Peak Demand in Buildings: A Detailed Regional Approach*. Energy 79 (2015): 20–32.
- Eskeland, G.S. & Mideksa, T.K., (2010). *Electricity demand in a changing climate*. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 15, 877-897.
- Fons Monetari Internacional (2016), *World Economic Outlook*.
- Fouquet, R. (2012) *Economics of Energy and Climate Change: Origins, Developments and Growth*. BC3 Working Paper Series 2012-08. Basque Centre for Climate Change (BC3). Bilbao, Spain.
- Fung, W. Y., Lam, K. S., Hung, W. T., Pang, S. W. & Lee, Y. L.(2006). *Impact of urban temperature on energy consumption of Hong Kong*. Energy. 31, 2623–2637 (2006).
- Generalitat de Catalunya (2006). *Decret 21/2006 d'ecoeficiència*.
- Gerin et al. (2014). *Seasonal variation of hot and cold water consumption in apartment buildings*. CIBW062 Symposium, 2014.
- Guan, L. (2009) *Preparation of future weather data to study the impact of climate change on buildings*. Building and Environment, 44(4), pp. 793-800.
- Gutiérrez-Escolar et al. (2014). *A New System to Estimate and Reduce Electrical Energy Consumption of Domestic Hot Water in Spain*. Energies 2014, 7, 6837-6855.
- Hamlet, A.F. et al. (2010). *Effects of projected climate change on energy supply and demand in the Pacific Northwest and Washington State*. Climatic Change (2010) 102: 103. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9857-y>
- Hekkenberg et al.(2009). *Dynamic temperature dependence patterns in future energy demand models in the context of climate change*. Energy, 34(11), 1797-1806. [10.1016/j.energy.2009.07.037](http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2009.07.037)
- Hendron et al. (2004). *Development of an Energy Savings Benchmark for All Residential End-Uses*".
- Huang J, Hanford J, Yang F. (1999). *Residential heating and cooling loads component analysis* Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- ICAEN (2014). *Estudi de caracterització del parc existent d'edificis d'habitatge de Catalunya. Definició de les tipologies més representatives, així com els paquets de mesures òptimes per a la millora de l'eficiència energètica amb la seva avaluació econòmica, (AHC i ERF, 2014- Projecte MARIE)*

ICAEN i IDAE (2009). *Conducció eficient per a conductors de vehicles industrials*.

ICAEN, Generalitat de Catalunya (2012). *Pla de l'Energia i Canvi Climàtic de Catalunya 2012-2020 (PECAC)*.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.

Jakob, M. et al (2007). *Impact of climate change in the tertiary sector of Europe (EU27+2)*

Jakob, M., Catenazzi, G., Eberhard, J., Shukla, A. (2007). *Impact of climate change in the tertiary sector of Europe (EU27+2)*. Centre for Energy Policy and Economics, ETH Zurich

Kaden, R i Kolbe, TH (2013) *City-Wide Total Energy Demand Estimation of Buildings Using Semantic 3D City Models and Statistical Data*; ISPRS Ann Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci, 2013;1(1):163–171

Labandeira, X. et al. (2011). *Estimation of elasticity price of electricity with incomplete information*. Energy Economics 34 (3), 627-633

Martin-Vide et al. (2017). *Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Institut d'Estudis Catalans i Generalitat de Catalunya. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya.

McNeil, M. i Letschert, V. (2008). *Future Air Conditioning Energy Consumption in Developing Countries and what can be done about it: The Potential of Efficiency in the Residential Sector*

MINETUR i IDAE (2013). *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)*

MINETUR, Secretaria d'energia (2013). *La energia en España 2013*.

Oct 26;294(5543):793-5. PubMed PMID: 11679652.

Papakostas, K. et al. (1995). *Residential hot water patterns in Greece*.

Parker, D. S. (2002). *Research Highlights from a Large Scale Residential Monitoring Study in a Hot Climate*.

Peñuelas J, i Filella I. (2001). *Phenology. Responses to a warming world*. Science.

Poudel et al. (2011) *Effects of climate change on biomass production and substitution in north-central Sweden*. Biomass and Bioenergy 35.10 (2011): 4340-355.

Sailor, D. J., i Pavlova, A. A. (2003). *Air conditioning market saturation and long-term response of residential cooling energy demand to climate change*. Energy, 28(9), 941-951. DOI: [10.1016/S0360-5442\(03\)00033-1](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(03)00033-1)

UNESCO de Catalunya.

Unió Europea (2010). *Directiva 2010/31/UE del Parlament Europeu i del Consell: Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*

Unió Europea (2014). *ENTRANZE: Policies to ENforce the TRAnstition to Nearly Zero ENergy buildings in the EU- 27*

Valor , E., Meneu, V., & Caselles, V. (2001). *Daily air temperature and electricity load in Spain*. J. Appl. Meteor. 40, 1413–1421.

Wolfram, C. et al. (2012). *How Will Energy Demand Develop in the Developing World?*

6. ANNEXOS



Mapes

1. Consum energètic per superfície construïda per a usos tèrmics als sectors residencial i terciari a Barcelona (kWh/m²)
2. Variació del consum energètic per superfície de refrigeració als sectors residencial i terciari a Barcelona -RCP 8.5 any 2100 vs actual- (kWh/m²)
3. Índex combinat del grau de vulnerabilitat associat a l'increment del consum de refrigeració i a l'increment de la temperatures a l'escenari RCP 8.5 any 2100.
4. Consum energètic per superfície per a usos tèrmics als sectors residencial i terciari a Barcelona -RCP8.5 any 2100 vs actual- (kWh/m²)

