



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,  
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

## GRAU EN ENGINYERIA EN TECNOLOGIES INDUSTRIALS

### TREBALL FINAL DE GRAU

# Estudi de la influència de la temperatura ambient en la demanda d'energia per a climatització i ventilació en edificis de pública concurrència

#### **Autor**

Arnaud Gatell Perez

#### **Director**

Maria Gonçalves Ageitos. Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció

#### **Co-director**

Marcel Macarulla Martí. Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció

#### **MEMÒRIA**

---

Terrassa, 10 de juny del 2018



## SUMARI DE CONTINGUTS

SUMARI DE FIGURES .....	I
SUMARI DE GRÀFICS .....	II
SUMARI DE TAULES .....	V
RESUM .....	VII
AGRAÏMENTS .....	VIII
1. Objecte de l'estudi.....	1
2. Abast de l'estudi.....	2
3. Requisits de l'estudi .....	3
4. Justificació de l'estudi .....	4
4.1 Evolució del consum energètic per sectors a Catalunya .....	4
4.2 Modelització de la demanda energètica .....	5
5. Antecedents .....	7
5.1 Legislació.....	7
5.2 Estudis previs .....	8
6. Plantejament i anàlisi de les solicions .....	9
6.1 Plantejament del problema .....	9
6.2 Avaluació d'alternatives .....	9
6.3 Justificació de la solució proposada .....	11
7. Recerca de dades de temperatura ambient.....	12
7.1 Recollida i tractament de les dades.....	12
8. Funcionament i execució del model de simulació de demanda energètica .....	13
8.1 Funcionament del model.....	13
8.2 Execució del model .....	13
9. Representació gràfica dels resultats .....	15

9.1	Diagrama de barres.....	16
9.2	Diagrama d'anell.....	17
3.3	Mapa de demanda anual segons la localització .....	18
10.	Automatització del procés de recollida, execució i representació dels resultats .....	19
10.1	Diagrama de flux del programa.....	19
10.2	Mòdul runner.....	21
10.3	Mòdul HTMLParserAndCSVGenerator.....	21
10.4	Mòdul simulatorRunner .....	24
10.5	Mòdul energyDemandDataConverter .....	25
10.6	Mòdul graphsGenerator.....	27
10.7	Mòdul mapGenerator.....	28
11.	Anàlisi dels resultats.....	29
11.1	Els climes de Catalunya .....	29
11.2	Anàlisi individual de les localitzacions .....	33
11.2.1	<i>Vielha</i> .....	33
11.2.2	<i>El Perelló</i> .....	34
11.2.3	<i>El Pont de Vilomara</i> .....	35
11.2.4	<i>Sant Pere Pescador</i> .....	37
11.2.5	<i>Raiimat</i> .....	38
11.2.6	<i>Blancafort</i> .....	40
11.2.7	<i>Barcelona</i> .....	41
11.2.8	<i>Tarragona</i> .....	43
11.2.9	<i>Girona</i> .....	44
11.2.10	<i>Vic</i> .....	46
11.2.11	<i>Tremp</i> .....	47
11.2.12	<i>Solsona</i> .....	49
11.2.13	<i>Canyelles</i> .....	50
11.2.14	<i>Puigcerdà</i> .....	52
11.3	Anàlisi conjunt de les localitzacions .....	54
11.4	Anàlisi per regions climàtiques.....	58
11.5	Anàlisi de la dependència de la demanda amb l'altitud .....	60
11.6	Anàlisi de la dependència de la demanda amb la latitud .....	61



11.7	Validació de les dades calculades .....	62
12.	Impacte ambiental de l'estudi .....	63
13.	Planificació de l'estudi .....	66
14.	Planificació de la següent fase de l'estudi i recomanacions .....	70
15.	Resum del pressupost.....	72
16.	Conclusions .....	73
17.	Bibliografia .....	75

## SUMARI DE FIGURES

Figura 1. Evolució del consum d'energia final per sectors (4) .....	4
Figura 2. Evolució del pes dels diferents sectors en el consum d'energia final (4).....	5
Figura 3. Mapa d'estacions executades pel model. ....	14
Figura 4. Mapa de la demanda total acumulada l'any 2017 per a cada localització. .....	18
Figura 5. Diagrama de flux del programa. ....	20
Figura 6. Diagrama de la classe dayData. ....	22
Figura 7. Diagrama de la classe station. ....	22
Figura 8. Diagrama de flux del mòdul HTMLParserAndCSVGenerator. ....	23
Figura 9. Diagrama de la classe simulatorRunner. ....	24
Figura 10. Diagrama de la classe energyDemandDataConverter.....	25
Figura 11. Diagrama de la classe graphsGenerator. ....	27
Figura 12. Diagrama de la classe mapGenerator. ....	28
Figura 13. Mapa de la demanda d'energia total l'any 2017 per a cada localització. .....	54

## SUMARI DE GRÀFICS

Gràfic 1. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Vic l'any 2017 .....	16
Gràfic 2. Diagrama d'anell de la demanda energètica a Vic l'any 2017 .....	17
Gràfic 3. Temperatura mitjana, màxima, mínima i amplitud tèrmica mensual mitjana de l'any 2017 per als diferents grups climàtics i tipus de clima de Catalunya (1)(11).....	32
Gràfic 4. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Vielha l'any 2017 .....	34
Gràfic 5. Demanda energètica total a Vielha l'any 2017 dividida en percentatges.....	34
Gràfic 6. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a El Perelló l'any 2017 .....	35
Gràfic 7. Demanda energètica total a El Perelló l'any 2017 dividida en percentatges.....	35
Gràfic 8. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a El Pont de Vilomara l'any 2017 .....	36
Gràfic 9. Demanda energètica total a El Pont de Vilomara l'any 2017 dividida en percentatges.....	37
Gràfic 10. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Sant Pere Pescador l'any 2017 .....	38
Gràfic 11. Demanda energètica total a Sant Pere Pescador l'any 2017 dividida en percentatges .....	38
Gràfic 12. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Raïmat l'any 2017 .....	39
Gràfic 13. Demanda energètica total a Raïmat l'any 2017 dividida en percentatges .....	40

Gràfic 14. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Blancafort l'any 2017.....	41
Gràfic 15. Demanda energètica total a Blancafort l'any 2017 dividida en percentatges.....	41
Gràfic 16. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Barcelona l'any 2017.....	42
Gràfic 17. Demanda energètica total a Barcelona l'any 2017 dividida en percentatges.....	43
Gràfic 18. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Tarragona l'any 2017. ....	44
Gràfic 19. Demanda energètica total a Tarragona l'any 2017 dividida en percentatges.....	44
Gràfic 20. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Girona l'any 2017. ....	45
Gràfic 21. Demanda energètica total a Girona l'any 2017 dividida en percentatges.....	46
Gràfic 22. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Vic l'any 2017. ....	47
Gràfic 23. Demanda energètica total a Girona l'any 2017 dividida en percentatges.....	47
Gràfic 24. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Tremp l'any 2017.....	48
Gràfic 25. Demanda energètica total a Tremp l'any 2017 dividida en percentatges.....	49
Gràfic 26. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Solsona l'any 2017. ....	50
Gràfic 27. Demanda energètica total a Solsona l'any 2017 dividida en percentatges.....	50

Gràfic 28. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Canyelles l'any 2017 .....	51
Gràfic 29. Demanda energètica total a Canyelles l'any 2017 dividida en percentatges.....	52
Gràfic 30. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Puigcerdà l'any 2017.....	53
Gràfic 31. Demanda energètica total a Puigcerdà l'any 2017 dividida en percentatges.....	53
Gràfic 32. Demanda d'energia mensual per les localitzacions estudiades (kWh).....	56
Gràfic 33. Dispersió de la demanda energètica mensual pel conjunt de localitzacions estudiades (kWh).....	57
Gràfic 34. Demanda d'energia anual mitjana (kWh) de l'any 2017 segons els tipus de clima.....	59
Gràfic 35. Dispersió i relació de dependència entre altitud i demanda energètica.....	60
Gràfic 36. Dispersió i relació de dependència entre latitud i demanda energètica.....	61

## SUMARI DE TAULES

Taula 1. Classificació climàtica de Catalunya (11).....	30
Taula 2. Classificació de les localitzacions estudiades segons el seu clima i dades de temperatura de l'any 2017 (1).....	31
Taula 3. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Vielha (1)(11).....	33
Taula 4. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica d'El Perelló (1)(11).....	34
Taula 5. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica d'El Pont de Vilomara (1)(11).....	36
Taula 6. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Sant Pere Pescador (1)(11).....	37
Taula 7. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Raïmat (1)(11).....	39
Taula 8. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Blancafort (1)(11).....	40
Taula 9. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Barcelona (1)(11).....	42
Taula 10. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Tarragona (1)(11).....	43
Taula 11. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Girona (1)(11).....	45
Taula 12. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Vic (1)(11).....	46
Taula 13. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Tremp (1)(11).....	48
Taula 14. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Solsona (1)(11).....	49

Taula 15. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Canyelles (1)(11).....	51
Taula 16. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Puigcerdà (1)(11).....	52
Taula 17. Classificació de les localitzacions estudiades segons el seu clima i dades de demanda d'energia de l'any 2017 (11) .....	58
Taula 18. Valors dels factors d'emissió associats al mix elèctric calculats per l'OCCC (13). .....	64
Taula 19. Dades estimades de l'impacte ambiental de l'estudi. ....	64
Taula 20. Planificació temporal inicial de les tasques.....	67
Taula 21. Planificació temporal final de les tasques. ....	68
Taula 22. Cost total de l'estudi.....	72



## RESUM

El present estudi tracta la influència de la temperatura ambient en la demanda d'energia en edificis per tal de mantenir les condicions de confort interiors, pel que fa a climatització i qualitat de l'aire.

L'objectiu ha estat avaluar com varia la demanda segons el mes de l'any i la localització. Per assolir aquest objectiu, s'ha fet ús de dades extretes del Servei Meteorològic de Catalunya corresponents a l'any 2017 (1) i d'un model de simulació de la demanda energètica desenvolupat per investigadors de la UPC (2)(3).



## AGRAÏMENTS

A la Maria Gonçalves pel seu assessorament i ajuda en el transcurs d'aquest estudi.

Al Marcel Macarulla i els seus col·laboradors per la seva contribució amb el model de càlcul de demanda energètica.

Als meus familiars i amics, que m'han recolzat i guiat en tot el camí previ a aquest estudi i durant el mateix.

A tots aquells que treballen dia a dia en el camp de l'eficiència energètica per contribuir a la protecció del medi ambient i a la millora del planeta Terra.



## 1. Objecte de l'estudi

L'objectiu d'aquest estudi és avaluar la influència de la temperatura ambient en la demanda energètica d'un edifici de pública concorrència per tal de mantenir les condicions de confort interiors considerant la climatització i renovació de l'aire.

Amb les dades obtingudes gràcies a l'estudi es podrà analitzar el comportament de la demanda d'energia en funció del període climatològic o mes de l'any. Això, es farà en les diferents localitzacions d'estudi dins del territori de Catalunya, de les quals s'estudiaran els respectius climes i la seva relació amb la demanda.

## 2. Abast de l'estudi

La relació d'objectius a tractar són els següents:

- Generar els programes necessaris per tal d'automatitzar el procés d'execució del model de demanda energètica des de l'entrada de les dades de temperatura fins a la obtenció dels resultats i la seva representació gràfica.
- Representar gràficament els resultats, pel que fa a la demanda energètica, calculats pel model respecte a la temperatura ambient per analitzar la seva dependència.
- Interpretar els resultats obtinguts pel període temporal de les dades de temperatura ambient d'entrada.
- Analitzar els resultats obtinguts pel model en funció de la localització geogràfica.
- Analitzar i estimar possibles tendències en funció del territori i del període climatològic o mes de l'any.

### 3. Requisits de l'estudi

Essent un estudi entre la relació de la temperatura ambient i la demanda energètica en edificis, no s'escau l'acompliment de cap tipus de requisits econòmics ni legals.

Pel que fa als requisits tècnics, s'han d'acomplir els següents:

- L'interval màxim de temps que pot haver entre els registres de temperatura ambient és d'una hora.
- Les dades de temperatura ambient han d'haver estat registrades en un mínim de quatre localitzacions geogràfiques diferents dins del territori de Catalunya.
- Les sèries de dades de temperatura ambient han de tenir un mínim de dos anys de registres.

## 4. Justificació de l'estudi

L'eficiència energètica és un dels objectius que la humanitat ha d'assolir en el present segle XXI per tal de fer sostenible la vida de les generacions actuals i futures en el planeta Terra.

És amb aquest objectiu que esdevé una necessitat, entre d'altres, estudiar la demanda energètica per a la ventilació i climatització dels edificis per tal d'ajustar-ne el consum, mantenint unes determinades condicions de confort.

### 4.1 Evolució del consum energètic per sectors a Catalunya

A Catalunya, l'any 2014 el consum d'energia per part dels sectors domèstic i serveis tenia un pes del 27,3% en el conjunt del consum d'energia final, segons dades de l'Istitut Català d'Energia (ICAEN) (4).

A continuació, les figures 1 i 2 mostren l'evolució des de l'any 1990 al 2014 del consum d'energia final per sectors, així com el pes de cada sector en el mateix. D'acord amb les dades, es pot veure com l'evolució en el consum energètic dels sectors domèstic i serveis ha tendit a augmentar, tot i les mesures adoptades en els darrers anys.

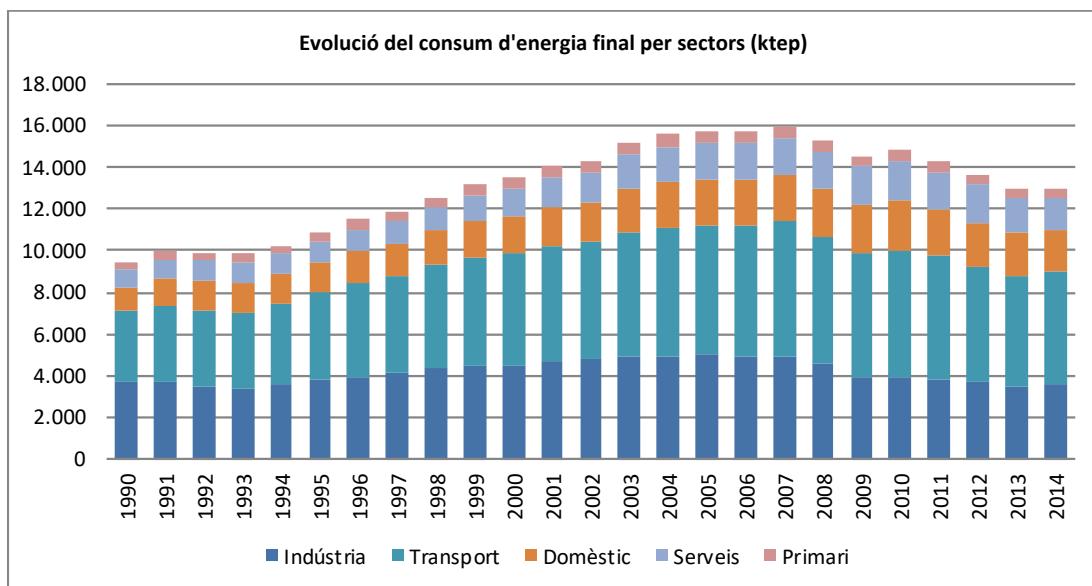


Figura 1. Evolució del consum d'energia final per sectors (4).

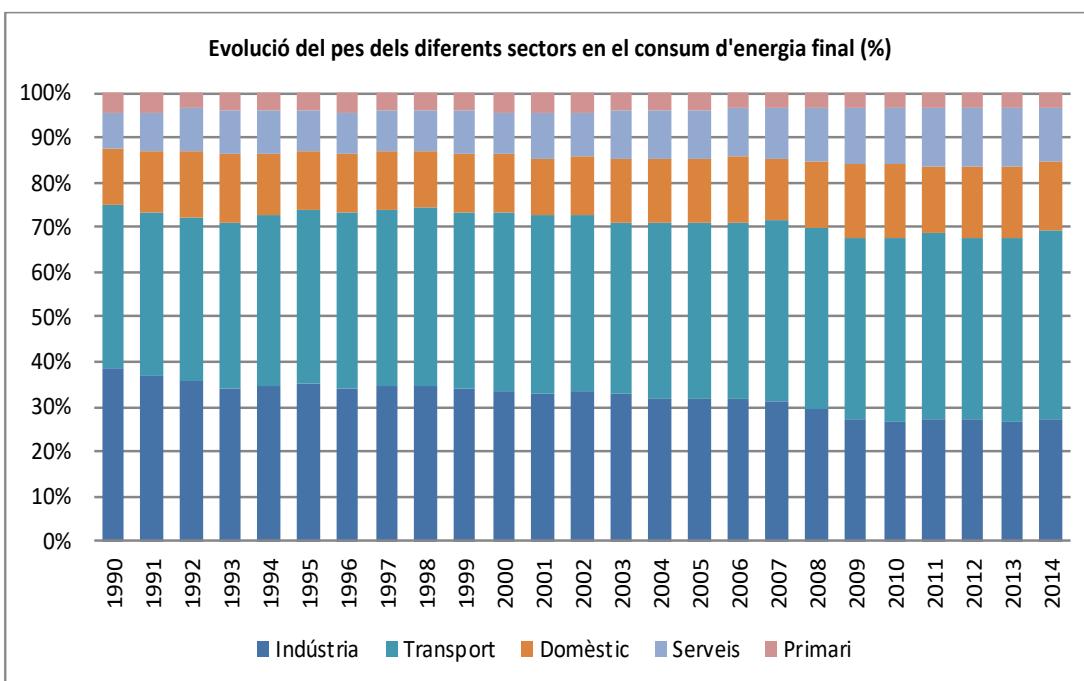


Figura 2. Evolució del pes dels diferents sectors en el consum d'energia final (4).

#### 4.2 Modelització de la demanda energètica

Gràcies a un model informàtic desenvolupat per investigadors de la UPC, el qual és capaç de calcular la demanda energètica en funció de la temperatura i concentració de CO<sub>2</sub> exteriors, i realitzant una recerca de dades de temperatura ambient pels mateixos períodes temporals arreu del territori de Catalunya, és possible estudiar la relació entre demanda energètica i temperatura ambient per tal de mantenir unes determinades condicions de confort (veieu el capítol 8 per saber més sobre el funcionament de l'anomenat model).

La representativitat territorial dels registres de temperatura ens permetrà estudiar la demanda energètica en funció de la localització geogràfica i l'època de l'any. Per tant, s'obtindran dades quantitatives rellevants per a la presa de decisions com, entre d'altres:

- Prioritzar els punts del territori on és més necessari millorar l'eficiència energètica dels edificis.
- Estimar quina és la demanda energètica òptima en diferents punts del territori en funció de l'època de l'any.

- Decidir quina és la ubicació òptima dels edificis per tal de minimitzar el consum energètic.

Aquest treball té per objecte aconseguir dades rellevants sobre les tendències de demanda energètica en edificis en funció de la temperatura ambient per tal de millorar l'eficiència energètica dels mateixos.

Per assolir l'objectiu anterior, cal automatitzar el procés de recollida i tractament de dades, execució del model i anàlisi dels resultats que fins a l'inici d'aquest estudi es fa de forma manual o, en alguns casos, no es fa. Gràcies a l'automatització d'aquest procés es podran obtenir més resultats en menys temps.

## 5. Antecedents

### 5.1 Legislació

El sector de l'habitatge i dels serveis, format en la seva majoria per edificis, absorbia més del 40% del consum final d'energia i seguia una tendència a l'alça l'any 2002, segons dades de la Unió Europea (UE) (5). Per aquest motiu i per acomplir amb les mesures acordades al Protocol de Kyoto, es va assenyalar la importància que el foment de l'eficiència energètica havia de tenir en les polítiques comunitàries.

D'aquesta manera, el 16 de desembre del 2002 es va adoptar la Directiva 2002/91/CE del Parlament Europeu i del Consell. A Espanya, les exigències de la mateixa es van transposar en el Reial decret 47/2007 mitjançant el qual es va aprovar un procediment bàsic per a la certificació d'eficiència energètica d'edificis de nova construcció, i quedava pendent de regulació, mitjançant una altra disposició complementària, la certificació energètica dels edificis existents.

Posteriorment, el 19 de maig del 2010, la Directiva 2002/91/CE va ser modificada mitjançant la Directiva 2010/31/UE, relativa a l'eficiència energètica dels edificis. A Espanya, el Reial Decret 235/2013, del 5 d'abril del 2013, va transposar parcialment la Directiva 2010/31/UE, pel que fa a la certificació d'eficiència energètica d'edificis i va refondre el Reial Decret 47/2007 amb la incorporació del Procediment bàsic per a la certificació d'eficiència energètica d'edificis existents.

D'acord amb el Reial Decret 235/2013, a partir de la seva entrada en vigor, el 14 d'abril de 2013, tots els edificis de nova construcció tenen l'obligació d'obtenir el certificat d'eficiència energètica. En el cas dels edificis ja existents, aquesta obligació es va fer efectiva a partir de l'1 de juny del 2013.

Per tant, considerant tots els casos, a partir de l'1 de juny del 2013, als contractes de compra-venda o lloguer de qualsevol edifici va esdevenir exigible el certificat d'eficiència energètica (6)(7).

Posteriorment al Reial Decret 235/2013, el 7 de juny del 2017, va entrar en vigor el Reial Decret 564/2017 pel qual es modifica el Reial Decret

235/2013 per tal de garantir la totalitat de les obligacions substantives de la Directiva 2010/31/UE (8).

Segons l'ICAEN, el passat juny del 2017, Catalunya era la comunitat autònoma amb més registres de certificació energètica d'edificis, superant els 675.000, fet que es va valorar com un èxit (9).

## 5.2 Estudis previs

Aproximadament la meitat del consum d'un edifici en funcionament prové dels sistemes de ventilació, calefacció i aire condicionat, respectivament. Per això, els sistemes de gestió d'energia en edificis juguen un paper clau i ha esdevingut necessari estudiar-los (2).

El present estudi està precedit per d'altres dins del mateix camp en els quals s'ha estudiat la manera de modelitzar la ventilació natural i la concentració de CO<sub>2</sub> en habitacions, mitjançant la modelització de caixa gris. Per a l'estimació de les variables d'interès s'han fet servir en ambdós casos models basats en equacions diferencials estocàstiques, és a dir, amb una part determinista i una de no determinista. Els resultats obtinguts amb aquests estudis es poden aprofitar per predir i analitzar els nivells de ventilació en una determinada habitació. D'aquesta manera, els sistemes de gestió d'energia poden optimitzar el seu funcionament (2)(3).

Per al càlcul de la demanda d'energia en aquest treball, es fa servir un model desenvolupat en els mencionats estudis realitzats per investigadors de la UPC. Aquest, accepta com a paràmetres d'entrada la temperatura exterior i la concentració interior de CO<sub>2</sub>. Pel present estudi es fixarà la concentració de CO<sub>2</sub> exterior i s'introduirà la temperatura exterior registrada en períodes temporals d'igual durada, per diferents localitzacions repartides pel territori de Catalunya.

Cal destacar, que el grau de precisió i la representativitat dels resultats obtinguts està lligada, respectivament, a la qualitat i quantitat de dades obtingudes en la recerca, així com a la fiabilitat del model usat.

## 6. Plantejament i anàlisi de les solucions

### 6.1 Plantejament del problema

A l'inici d'aquest estudi únicament es disposava del model de simulació desenvolupat per investigadors de la UPC i es volia fer un anàlisi de la dependència de la temperatura ambient amb la demanda d'energia per un període mínim d'un any i quatre localitzacions dins del territori de Catalunya. A més, es buscava poder executar el model amb dades actualitzades de manera recurrent en el futur.

Un cop avaluat el problema inicial, en una primera visió general, les principals tasques plantejades han estat:

- Trobar les fonts adequades d'on extreure les dades de temperatura ambient.
- Donar format a les dades d'entrada i sortida del model.
- Analitzar les dades de sortida del model.
- Generar el programari necessari per tal de realitzar tot el procés de forma automàtica.

Al capítol 13 es pot trobar la planificació inicial de les tasques i la seva relació de precedència.

### 6.2 Avaluació d'alternatives

La fiabilitat del present estudi està condicionada en gran mesura per la quantitat, qualitat i representativitat territorial dels registres de temperatura ambient, a més de pel model. Per tant, els objectius en la recerca d'aquestes dades han estat:

- Període màxim de mostreig d'una hora.
- Màxima representativitat territorial possible, limitant la cerca al territori de Catalunya.
- Període mínim d'un any entre el primer i el darrer registre.

Pel que fa a la recerca de dades a la xarxa, s'ha analitzat la viabilitat de les següents alternatives:

- a) **Meteocat:** al lloc web del Servei Meteorològic de Catalunya, s'han pogut trobar dades amb una antiguitat de 2 anys i un període entre registres de 30 minuts en 188 localitzacions a Catalunya. Aquestes dades són enregistrades per la Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques (XEMA).
- b) **AEMET:** al lloc web de l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMET) es registren dades en 34 punts del territori de Catalunya. Els registres disponibles es prenen cada hora i només tenen un dia d'antiguitat. D'aquesta manera, s'ha hagut de descartar aquesta opció per la manca d'antiguitat dels registres disponibles.
- c) **Meteoclimatic:** al lloc web de Meteoclimatic es poden consultar en temps real les dades meteorològiques de múltiples localitzacions del territori d'Espanya.  
Les dades allotjades són facilitades per observadors aficionats. Aquest fet fa que la fiabilitat dels registres no sigui la requerida per al present estudi. A més, no disposa de registres històrics, per tant, s'ha hagut de descartar.
- d) **Ogimet:** al lloc web d'Ogimet es poden trobar informes METAR diaris dels diferents aeroports catalans des de l'any 2005. Els informes METAR contenen les observacions meteorològiques als aeròdroms, en el cas de Catalunya en són 5: Lleida, Reus, Barcelona, Sabadell i Girona. Aquestes observacions tenen un període entre registres de 30 minuts.

Pel que fa al programari encarregat d'automatitzar el procés des de la recollida de dades a la generació dels corresponents gràfics, s'han evaluat dos llenguatges de programació *open-source* molt usats en l'anàlisi estadístic:

- a) **Python:** es tracta d'un llenguatge de propòsit general amb una sintaxi que busca que el codi sigui el més simple i fàcil de llegir possible. La seva corba d'aprenentatge és curta per a usuaris que ja han programat en algun tipus de llenguatge.

**b) R:** es tracta d'un llenguatge orientat a l'anàlisi estadístic. És molt usat en àmbits acadèmics i de recerca. La corba d'aprenentatge és superior a la del llenguatge Python.

Ambdós llenguatges disposen d'una gran comunitat de suport online, així com d'una gran quantitat de llibreries obertes a l'ús de qualsevol usuari (10).

### 6.3 Justificació de la solució proposada

Per a poder analitzar la demanda energètica en funció de la localització geogràfica i, per tant, de la climatologia de cada indret del territori de Catalunya, calia introduir al model registres amb la màxima antiguitat, fiabilitat i del màxim de localitzacions possibles.

De les fonts de dades de temperatura ambient evaluades, s'ha optat per usar els registres del Servei Meteorològic de Catalunya ja que tenen una antiguitat suficient per a l'estudi i una àmplia representativitat territorial i fiabilitat.

Pel que fa al llenguatge de programació, finalment, tot i ser vàlids i útils per aquest cas els dos llenguatges evaluats, s'ha optat per desenvolupar el programa en llenguatge Python degut a la seva facilitat d'aprenentatge en comparació amb el llenguatge R i tenint en compte el temps disponible per a realitzar l'estudi.

## 7. Recerca de dades de temperatura ambient

### 7.1 Recollida i tractament de les dades

Davant la impossibilitat d'obtenir de forma àgil i recurrent les dades, s'ha optat per desenvolupar dins del programari un mòdul amb aquest propòsit. Així, s'ha pogut automatitzar el procés de captació i tractament de les dades.

Aquest mòdul, en la seva primera execució, demora més de 48 hores en captar les dades de 2 anys de registres per les 188 estacions. Un cop es crea un arxiu amb registres de temperatura d'una determinada estació, cada cop que s'executa el programa s'afegeiran al mateix les dades més recents que hi faltin.

D'aquesta manera, el procés és més ràpid i, a més, es tindrà un arxiu acumulatiu que anirà creant un històric amb les dades guardades des de la primera execució.

## 8. Funcionament i execució del model de simulació de demanda energètica

El model de simulació de la demanda energètica és un arxiu del tipus *Functional Mock-up Unit (.fmu)*.

### 8.1 Funcionament del model

Per al càlcul de la demanda energètica, es considera un volum de control de 90 m<sup>3</sup> en el qual s'han de mantenir les següents condicions de confort:

- **Concentració CO<sub>2</sub>:** s'ha de mantenir una concentració al voltant de 1000 ppm. Quan se sobrepassen les 1002 ppm s'activa la ventilació i quan s'assoleixen les 998 ppm es desactiva.
- **Temperatura interior:** s'ha de mantenir entre 21°C i 27°C. Quan se sobrepassen els 27°C s'activa la refrigeració i quan cau per sota dels 21°C s'activa la calefacció. Mentre la temperatura es trobi dins del rang esmentat, el sistema de climatització es manté apagat.

En el càlcul de la demanda d'energia es considera que el volum de control és de parets adiabàtiques i que l'aire que entra de l'ambient exterior s'ha d'escalfar o refredar sense aprofitar l'energia calorífica de l'aire sortint. Per això, a l'hora de realitzar l'anàlisi de les dades de demanda d'energia caldrà aplicar algunes correccions. A més, es deprecien les pèrdues per transport als conductes i només es considera l'energia mecànica necessària per moure l'aire, segons la fórmula:

$$E_{mecànica} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{aire} \cdot v_{aire}^2$$

$$\text{on } v_{aire} = 1,5 \frac{m}{s}$$

### 8.2 Execució del model

L'execució del model té una durada aproximada de 3 hores per estació introduint registres de temperatura de 2 anys. Per això, s'ha decidit executar-lo només per 14 del total de 188 localitzacions de les quals s'han recollit

dades. Les 14 seleccionades s'han escollit seguint un criteri de distribució uniforme i màxima representativitat al llarg del territori, asssegurant que els diferents climes de Catalunya s'analitzen.



Figura 3. Mapa d'estacions executades pel model.

## 9. Representació gràfica dels resultats

Un cop obtingudes les dades corresponents a la demanda energètica calculades pel model de simulació, el programa genera automàticament una sèrie de gràfics per tal de mostrar la informació d'una manera més visual.

Cal destacar que, per tal que el programa generi els gràfics d'una localització, s'ha d'introduir l'arxiu de demanda d'energia en una carpeta concreta.

Gràcies als gràfics generats, és més fàcil i ràpid fer un anàlisi de les diferents relacions de dependència entre les variables temperatura ambient, localització i data.

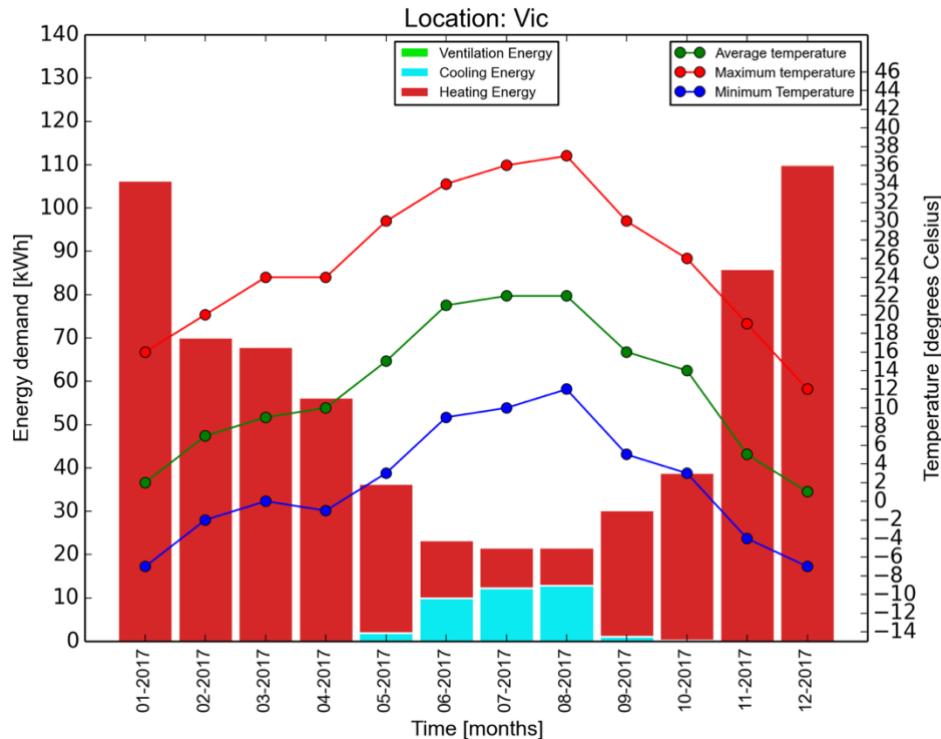
Els gràfics generats pel programa són:

- Diagrama de barres: es genera un per cada localització.
- Diagrama d'anell: es genera un per cada localització.
- Mapa amb les localitzacions i la demanda anual: es genera un sol mapa on es representen el total de localitzacions de les quals s'han generat un diagrama de barres i un diagrama d'anell.

## 9.1 Diagrama de barres

Amb aquest tipus de diagrama s'ha representat la demanda total d'energia i les temperatures mínima, mitjana i màxima en funció del mes de l'any.

A continuació, el gràfic 1 mostra un exemple del gràfic generat.

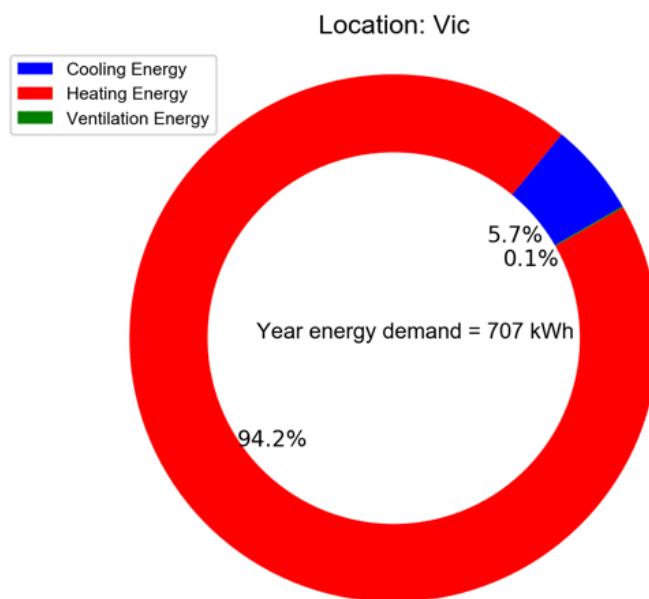


Gràfic 1. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Vic l'any 2017.

## 9.2 Diagrama d'anell

Amb el diagrama d'anell s'ha representat el percentatge de l'energia total demandada que correspon a cada un dels diferents propòsits: ventilació, refrigeració o calefacció. S'ha realitzat un diagrama per a cada localització per analitzar per tal d'identificar quin ús se li dóna a l'energia que es demanda durant un any.

A continuació, el gràfic 2 mostra un exemple del gràfic generat.



Gràfic 2. Diagrama d'anell de la demanda energètica a Vic l'any 2017.

### 3.3 Mapa de demanda anual segons la localització

Amb el total de localitzacions introduïdes per a representar gràficament, es crea, a mode de resum, un mapa amb la demanda total acumulada per l'any estudiat.

El mapa mostra la localització exacta del punt d'enregistrament de dades, que és de mida i color diferent en funció de la demanda anual calculada.

A continuació, la figura 4 mostra un exemple del gràfic generat.

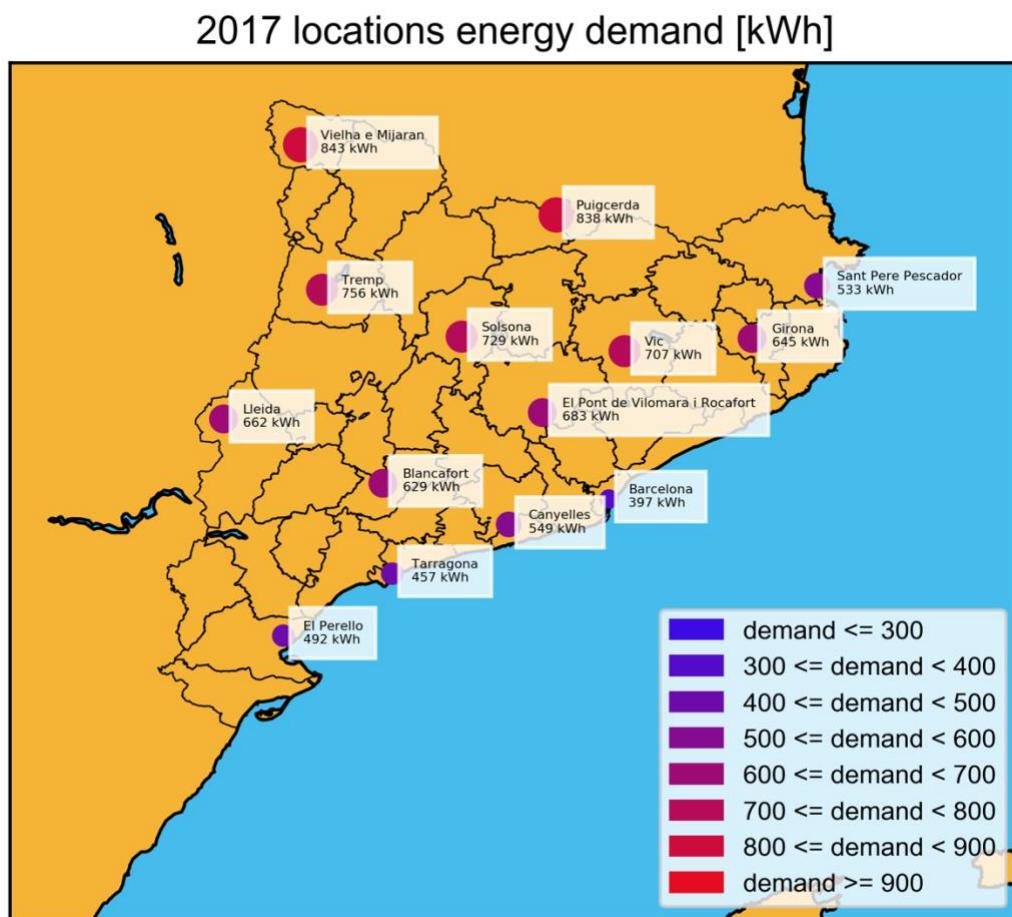


Figura 4. Mapa de la demanda total acumulada l'any 2017 per a cada localització.

## 10. Automatització del procés de recollida, execució i representació dels resultats

L'automatització del procés de captació de dades, obtenció de les dades de demanda energètica i generació de gràfics s'ha realitzat mitjançant el programari creat en llenguatge Python.

Aquest programari ha estat estructurar en diferents mòduls:

- a) Mòdul principal: en primer lloc, un mòdul principal encarregat de dirigir l'execució del programa.
- b) Mòduls especialitzats: en segon lloc, cinc mòduls especialitzats encarregats de desenvolupar una tasca específica dins del programa. Des del mòdul principal es fa la crida a cadascun d'aquests mòduls de forma seqüencial.

En aquest document no s'aprofundirà en l'explicació del funcionament intern del codi, si el lector ho desitja pot trobar la totalitat del codi font, així com el llistat amb la relació de llibreries de codi usades, al document d'annexos.

### 10.1 Diagrama de flux del programa

El diagrama de flux que es mostra a continuació representa el procés complet d'execució del programa. Es tracta d'un resum de les tasques més importants realitzades. També es mostren els arxius generats i els que es necessiten al llarg de tot el procés.

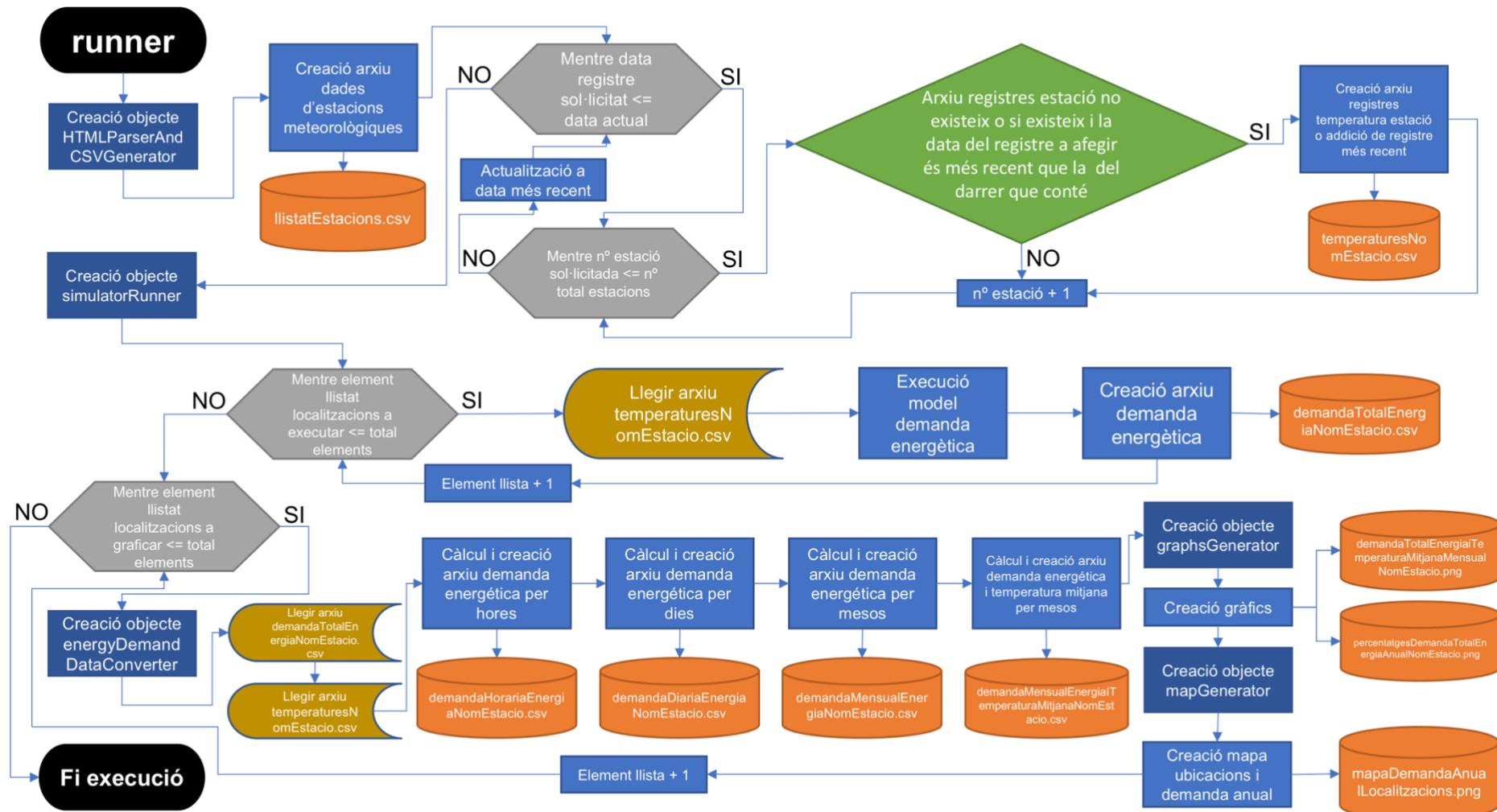


Figura 5. Diagrama de flux del programa.

## 10.2 Mòdul runner

Es tracta del mòdul principal del programa. Des del mateix, es fa la crida als diferents mòduls encarregats de les tasques específiques de manera seqüencial.

El programa disposa de 4 modes de funcionament en funció de si es desitja executar la totalitat del programa o mòduls específics:

0. Execució completa: executa la totalitat del programa.
1. Extracció de dades de temperatura: extreu del web les dades més recents de temperatura i les afegeix a l'arxiu corresponent a cada la localització. Si encara no existeix l'arxiu d'una determinada localització, el crea.
2. Execució del model de demanda: executa el model pel conjunt d'arxius amb registres de temperatura presents a la ruta corresponent.
3. Execució del generador de gràfics: genera els diferents gràfics pel conjunt d'arxius amb registres de demanda energètica presents a la ruta corresponent. Finalment, crea un mapa amb el conjunt de localitzacions i la seva demanda.

## 10.3 Mòdul HTMLParserAndCSVGenerator

És el mòdul encarregat d'extreure les dades de temperatura ambient i crear els corresponents arxius .csv.

En aquest mòdul es fa ús de dues classes per tal de guardar de manera estructurada el conjunt de dades extretes abans d'afegir-les a l'arxiu .csv.

1. dayData: és una classe que conté els registres de temperatura d'un dia. Només conté atributs i, en aquest cas, són per guardar les següents dades:
  - a. day: dia d'enregistrament de les dades.
  - b. month: mes d'enregistrament de les dades.
  - c. year: any d'enregistrament de les dades.

- d. tempByHourDict: diccionari que emmagatzema parelles de dades hora-temperatura.

HTMLParserAndCSVGenerator.HTMLParserAndCSVGenerator.dayData
day : str
month : str
tempByHourDict : dict
year : str

Figura 6. Diagrama de la classe dayData.

- 2. station: és una classe que conté totes les dades d'una estació o localització. Només conté atributs i, en aquest cas, són per guardar les dades:

- a. altitude: altitud en metres.
- b. city: municipi .
- c. code: codi assignat al web *meteo.cat*. Cada estació té un codi únic.
- d. latitude: latitud en graus.
- e. longitude: longitud en graus.
- f. name: nom específic de la localització. Pot coincidir amb el nom del municipi si és la única estació dins del mateix.
- g. region: comarca.
- h. tempData: diccionari que emmagatzema parelles de dades data-dayData.

HTMLParserAndCSVGenerator.HTMLParserAndCSVGenerator.station
altitude : str
city : str
code : str
latitude : str
longitude : str
name : str
region : str
tempData : dict

Figura 7. Diagrama de la classe station.

A continuació, es mostra en un diagrama de flux el conjunt d'*inputs* i *outputs* d'aquest mòdul:



Figura 8. Diagrama de flux del mòdul `HTMLParserAndCSVGenerator`.

Els arxius .csv generats per aquest mòdul tenen, respectivament, l'estrucció de columnes:

- Arxiu `llistatEstacions.csv`:
  - `region`: comarca.
  - `city`: municipi.
  - `name`: nom específic de la localització, pot coincidir amb el nom del municipi si és la única estació dins del mateix.
  - `code`: codi assignat al web `meteo.cat`. Cada estació té un codi únic.
  - `latitude`: latitud en graus.
  - `longitude`: longitud en graus.
  - `altitude`: altitud en metres.
- Arxiu `temperaturesNomEstacio.csv`:
  - `t`: temps en segons transcorregut des del primer registre.
  - `temp`: valor enter de la temperatura en graus Celsius.
  - `date`: data del registre en format *yyyymmdd*.

- hour: hora en temps universal (TU) del registre en format *hh:mm*.

#### 10.4 Mòdul simulatorRunner

És el mòdul encarregat de crear l'entrada necessària per executar l'arxiu .fmu que conté el model de simulació, executar el model i generar un arxiu de sortida amb els resultats.

A continuació, es mostra en un diagrama de flux el conjunt d'*inputs* i *outputs* d'aquest mòdul.

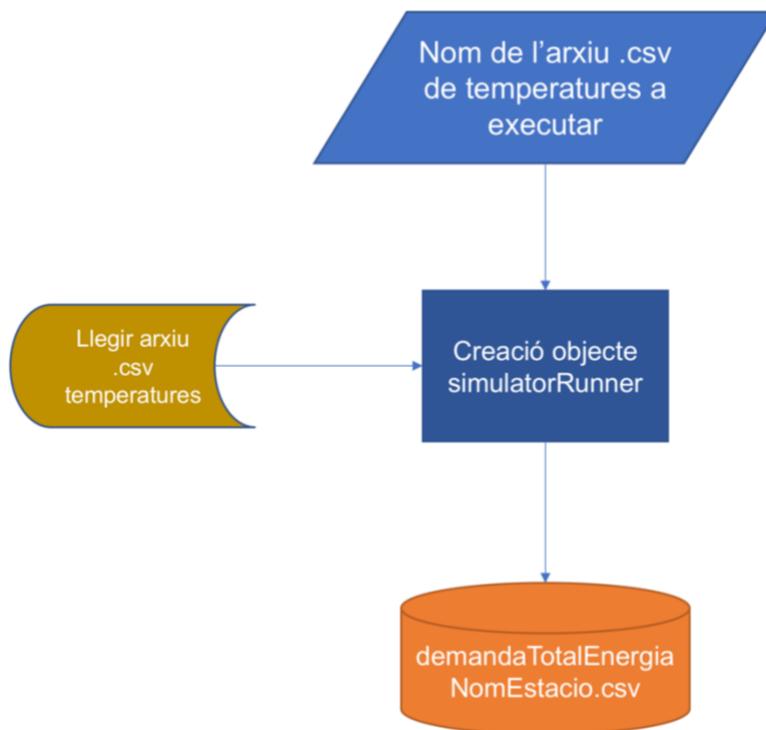


Figura 9. Diagrama de la classe simulatorRunner.

L'arxiu .csv generat per aquest mòdul té l'estrucció de columnes:

- Arxiu *demandatotalEnergiaNomEstacio.csv*:
  - Time[s]: temps en segons des de l'inici de la simulació.
  - Sensor[ppm]: concentració de CO<sub>2</sub> en ppm.
  - E\_ven[kWh]: valor decimal de la demanda d'energia de ventilació acumulada des de l'inici de la simulació en kWh.

- E\_cool[kWh]: valor decimal de la demanda d'energia de refrigeració acumulada des de l'inici de la simulació en kWh.
- E\_heat[kWh]: valor decimal de la demanda d'energia de calefacció acumulada des de l'inici de la simulació en kWh.

## 10.5 Mòdul energyDemandDataConverter

És el mòdul encarregat de generar, a partir dels arxius amb els registres de temperatura i de demanda energètica per segons, nous arxius amb la mateixa informació dividida per hores, dies i mesos, respectivament. També s'afegeix la demanda d'energia total, calculada sumant les tres components: ventilació, refrigeració i calefacció. L'arxiu `demandaNmensualEnergiaTemperaturaMitjanaNomEstacio.csv` conté també les temperatures mitjana, mínima i màxima mensuals.

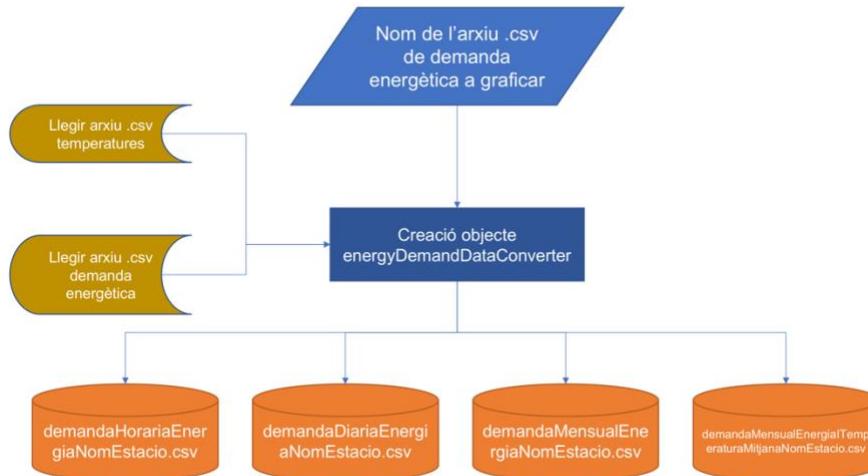


Figura 10. Diagrama de la classe `energyDemandDataConverter`.

Els arxius .csv generats per aquest mòdul tenen, respectivament, l'estrucció de columnes:

- Arxiu `demandaNmensualEnergiaNomEstacio.csv`:
  - day: data del registre en format `yyyymmdd`.
  - hour: hora en temps universal (TU) del registre en format `hh:mm`.

- E\_ven: valor decimal de la demanda d'energia de ventilació en una hora en kWh.
- E\_cool: valor decimal de la demanda d'energia de refrigeració en una hora en kWh.
- E\_heat: valor decimal de la demanda d'energia de calefacció en una hora en kWh.
- E\_total: valor decimal de la demanda d'energia total en una hora en kWh.
- Arxiu demandaDiariaEnergiaNomEstacio.csv:
  - day: data del registre en format yyyyymmdd.
  - E\_ven: valor decimal de la demanda d'energia de ventilació diària en kWh.
  - E\_cool: valor decimal de la demanda d'energia de refrigeració diària en kWh.
  - E\_heat: valor decimal de la demanda d'energia de calefacció diària en kWh.
  - E\_total: valor decimal de la demanda d'energia total diària en kWh.
- Arxiu demandaMensualEnergiaNomEstacio.csv:
  - month: data del mes del registre en format yyyy-mm.
  - E\_ven: valor decimal de la demanda d'energia de ventilació mensual en kWh.
  - E\_cool: valor decimal de la demanda d'energia de refrigeració mensual en kWh.
  - E\_heat: valor decimal de la demanda d'energia de calefacció mensual en kWh.
  - E\_total: valor decimal de la demanda d'energia total mensual en kWh.
- Arxiu demandaMensualEnergiaTemperaturaMitjanaNomEstacio.csv:
  - month: data del mes del registre en format yyyy-mm.

- E\_ven: valor decimal de la demanda d'energia de ventilació mensual en kWh.
- E\_cool: valor decimal de la demanda d'energia de refrigeració mensual en kWh.
- E\_heat: valor decimal de la demanda d'energia de calefacció mensual en kWh.
- E\_total: valor decimal de la demanda d'energia total mensual en kWh.
- AvgTemp: valor enter de la temperatura mitjana mensual en graus Celsius.
- MaxTemp: valor enter de la temperatura màxima mensual registrada en graus Celsius.
- MinTemp: valor enter de la temperatura mínima mensual registrada en graus Celsius.

## 10.6 Mòdul graphsGenerator

És el mòdul encarregat de generar, a partir de l'arxiu amb els registres de demanda energètica i temperatures mensuals, dos arxius gràfics en format .png que representen la informació de manera gràfica. Anteriorment, al capítol 9, s'explica i es mostra el format dels anomenats gràfics.

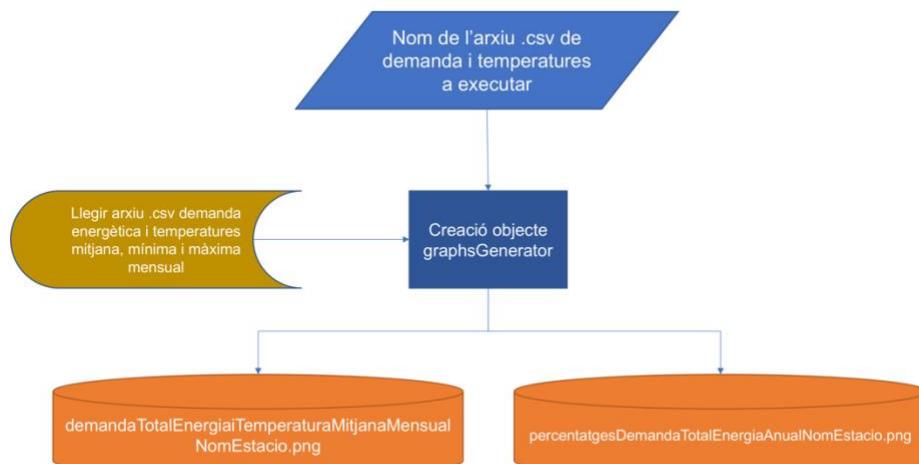


Figura 11. Diagrama de la classe graphsGenerator.

## 10.7 Mòdul mapGenerator

És el mòdul encarregat de generar, a partir dels arxius amb els registres de demanda energètica mensual de cada localització, un mapa en format .png l'estruatura del qual es mostra, amb anterioritat, al capítol 9.

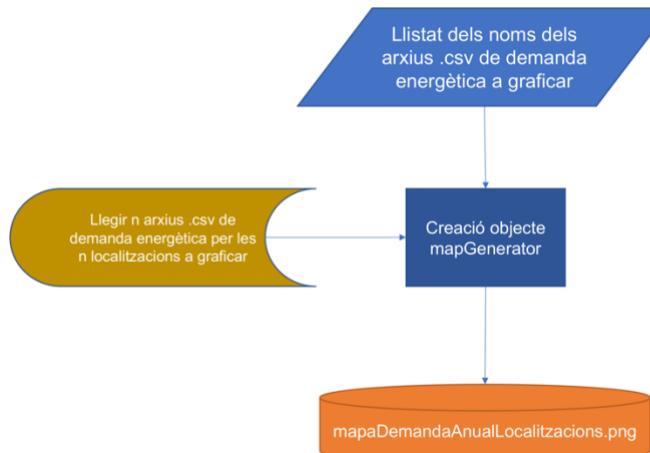


Figura 12. Diagrama de la classe mapGenerator.

## 11. Anàlisi dels resultats

En l'anàlisi dels resultats, es busca estudiar les relacions de dependència existents entre diferents factors i la demanda energètica.

S'ha executat el model de càlcul de demanda d'energia en 14 de les 188 localitzacions de les quals es tenen registres de temperatura ambient. S'ha estudiat únicament l'any 2017, ja que és l'únic any complet del que es disposava de dades.

Cal destacar que, els resultats de demanda d'energia obtinguts han estat considerant tots els dies de l'any i les 24 hores del dia. En aquest anàlisi es fa ús de la totalitat d'aquestes dades, però seria interessant en futurs anàlisis centrats en edificis de pública concurrencia, estudiar només les dades corresponents a les aproximadament 8 hores de duració de la jornada laboral. Així, la demanda estudiada s'ajustaria més a la real i s'evitaria considerar la part de dades del període nocturn, que són innecessàries i que, en determinades localitzacions, mostren, per exemple, demanda d'energia de calefacció en mesos d'estiu.

### 11.1 Els climes de Catalunya

Catalunya, climàticament, es troba localitzada entre la zona de clima marítim temperat de la façana occidental, al nord, i la del desert tropical, al sud (11).

Els grans contrastos d'altitud i d'exposició (orientació i pendent) configuren un mosaic de climes i microclimes. El pes de la geografia (en el sentit més físic) en la climatologia de Catalunya és tan marcat que és difícil generalitzar trets climàtics vàlids per a tot el territori. Entre els factors de més rellevància es troben l'altitud, la disposició del relleu i la relativa llunyania al mar (11).

Pel que fa a l'altitud, a Catalunya la mitjana és apreciable: una tercera part de la seva superfície està situada en una franja altitudinal compresa entre 600 i 1.000 metres, una dècima part es troba entre 1.000 i 2.000 metres i una mica més d'una vintena part supera els 2.000 metres. Es tracta d'unes altituds

considerables, que condicionen fortament la temperatura mitjana anual del territori. Aplicant el gradient tèrmic vertical mitjà a la troposfera, que és -0,65 °C/100 m, la temperatura mitjana anual de Catalunya presenta una variació de més de 20 °C només degut a l'altitud (11).

Per al present estudi, la variable climàtica d'interès és la temperatura. Malgrat els contrastos en els valors a causa de les diferències altitudinals, a Catalunya la temperatura mitjana anual es podria deduir raonablement d'un model de regressió múltiple amb tan sols dues variables: l'altitud i la latitud (11).

Es pot dividir el territori de Catalunya en dos grans grups climàtics, que donen lloc a sis tipus i a quinze subtipus, definits per variables pluviomètriques i tèrmiques: la precipitació mitjana anual (P), el règim pluviomètric estacional (RPE), la temperatura mitjana anual (T) i l'amplitud tèrmica mitjana anual ( $\Delta T$ ) (11).

Taula 1. Classificació climàtica de Catalunya (11).

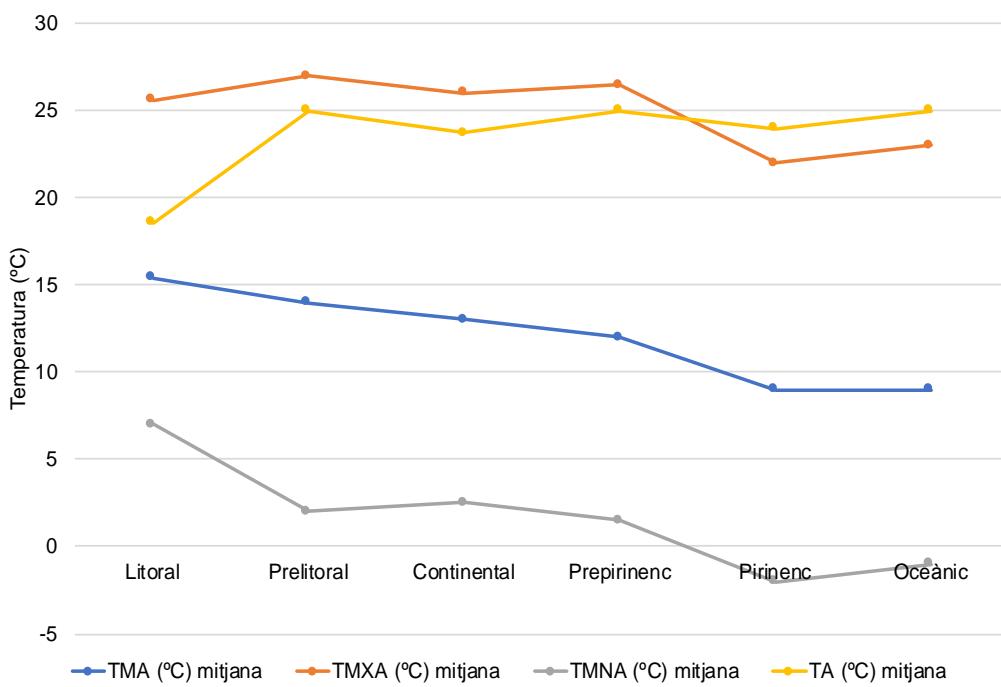
Grups/tipus	Subtipus (exemple)	P (mm)	RPE	T (°C)	$\Delta T$ (°C)
OCEÀNIC	Val d'Aran (Arties)	900-1.100	Equilibrat	6-10	13-15
M	Pirinenc	Oriental (Núria)	1.000-1.200	Màxim a l'estiu i mínim a l'hivern	3-9
E		Occidental (Cabdella)	1.000-1.300		2-9
D	Prepirinenc	Oriental (Olot)	850-1.100	Màxim a l'estiu o a la primavera i mínim a l'hivern	9-12
I		Central (Berga)	750-1.000		16-19
T		Occidental (La Pobla de Segur)	650-900		
E	Continental	Humit o Oriental (Vic)	700-850	Màxim a l'estiu i mínim a l'hivern	11-13
R		Subhumit o Central (Súria)	550-700		12-14
R		Sec o Occidental (Lleida)	350-550	Màxims equinoccials	17-20
A	Prelitoral	Septentrional (Girona)	750-1.000	Màxims equinoccials	14-15
N		Central (Terrassa)	600-900	Màxim a la tardor	11-15
I		Meridional (Prades)	600-800	Màxims equinoccials	15-18
Litoral	Septentrional (St. Feliu de Guíxols)	550-750	Màxim a la tardor	12-14	
	Central (Barcelona)	550-700		14,5-16,5	
	Meridional (Tarragona)	500-600		15,5-17	14-15

En el present estudi, es divideixen els climes de Catalunya en els sis tipus considerats a la taula 1. La taula 2, que es mostra a continuació, classifica les localitzacions estudiades segons el seu clima i mostra les dades de l'any 2017 de temperatura mitjana (TMA), màxima (TMXa) i mínima (TMNa) mensuals mitjanes i amplitud tèrmica mensual mitjana ( $\Delta TA$ ).

Si es comparen els valors de la taula 2, corresponents a l'any 2017, amb els de la taula 1, es pot veure com pel que fa a la temperatura mitjana els valors són coincidents, mentre que pel que fa a amplitud tèrmica difereixen. Això es deu a què les dades de l'any 2017 fan referència a l'amplitud tèrmica mensual mitjana, és a dir, diferència entre la temperatura màxima i mínima mensual, i les dades de la taula 1 consideren l'amplitud tèrmica mitjana anual, que és menor.

Taula 2. Classificació de les localitzacions estudiades segons el seu clima i dades de temperatura de l'any 2017 (1).

Grup climàtic	Tipus de clima	Localització	TMA (°C)	TMXA (°C)	TMNA (°C)	ΔTA (°C)
Oceànic		Vielha	9	23	-1	25
Mediterrani	Pirinenc	Puigcerdà	9	22	-2	24
Mediterrani	Prepirinenc	Tremp	12	27	1	26
		Solsona	12	26	2	24
Mediterrani	Continental	Vic	12	25	2	24
		Raiimat	13	26	2	24
		Blancafort	13	25	3	22
		El Pont de Vilomara	14	28	3	25
Mediterrani	Prelitoral	Girona	14	27	2	25
Mediterrani	Litoral	Barcelona	17	25	11	14
		Tarragona	16	26	8	18
		Canyelles	15	25	5	20
		El Perelló	15	26	7	19
		Sant Pere Pescador	14	26	4	22



Gràfic 3. Temperatura mitjana, màxima, mínima i amplitud tèrmica mensual mitjana de l'any 2017 per als diferents grups climàtics i tipus de clima de Catalunya (1)(11).

El gràfic 3 mostra com, progressivament, des del tipus de clima litoral al pirinenc i l'oceànic, la temperatura mitjana decreix mentre que l'amplitud tèrmica creix, fet rellevant pel que fa a la demanda d'energia.

## 11.2 Anàlisi individual de les localitzacions

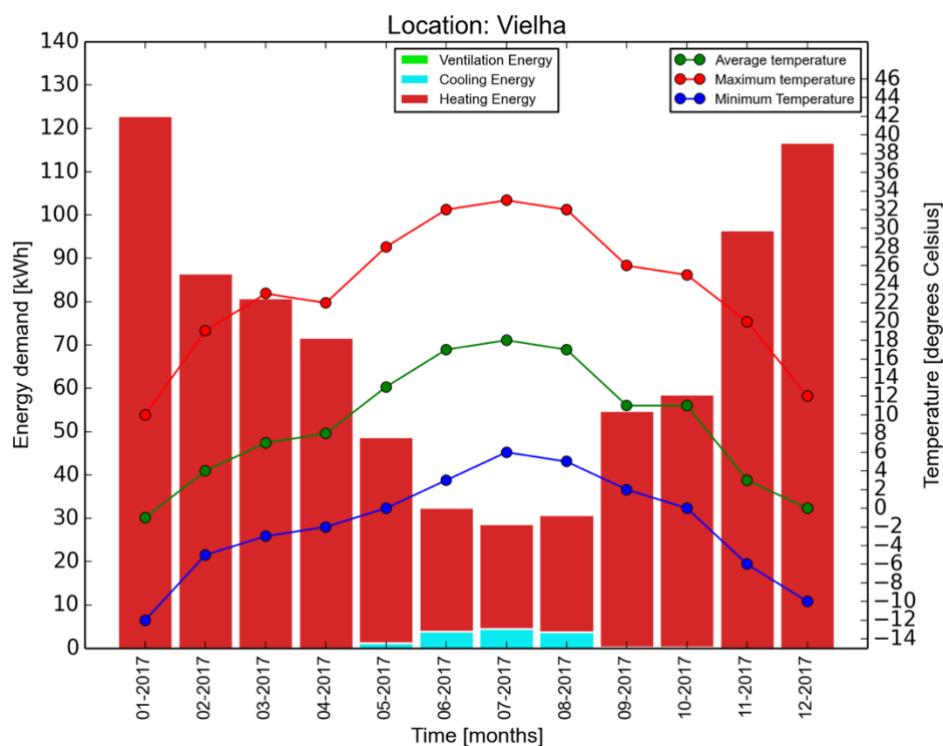
### 11.2.1 Vielha

La taula 3 i els gràfics 4 i 5, mostren les característiques geogràfiques de la localització, la demanda energètica mensual desglossada i les temperatures mitjana, màxima i mínima mensuals i el percentatge de la demana energètica anual corresponent a cada tipus d'energia, respectivament.

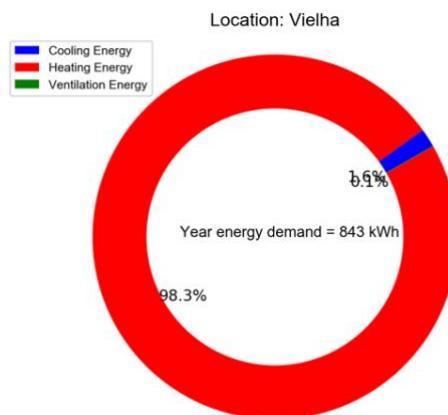
En el cas de Vielha, la demanda d'energia anual és la més elevada del conjunt de localitzacions analitzades, fet raonable degut al seu clima. La demanda és quasi únicament d'energia de calefacció, ja que ni tan sols als mesos d'estiu la demanda d'energia de refrigeració és massa elevada.

Taula 3. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Vielha  
(1)(11).

Localització	Latitud (º)	Longitud (º)	Altitud (m)	Clima
Vielha	42,69856	0,79397	1002	Oceànic



Gràfic 4. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Vielha l'any 2017.



Gràfic 5. Demanda energètica total a Vich (Vielha) l'any 2017 dividida en percentatges.

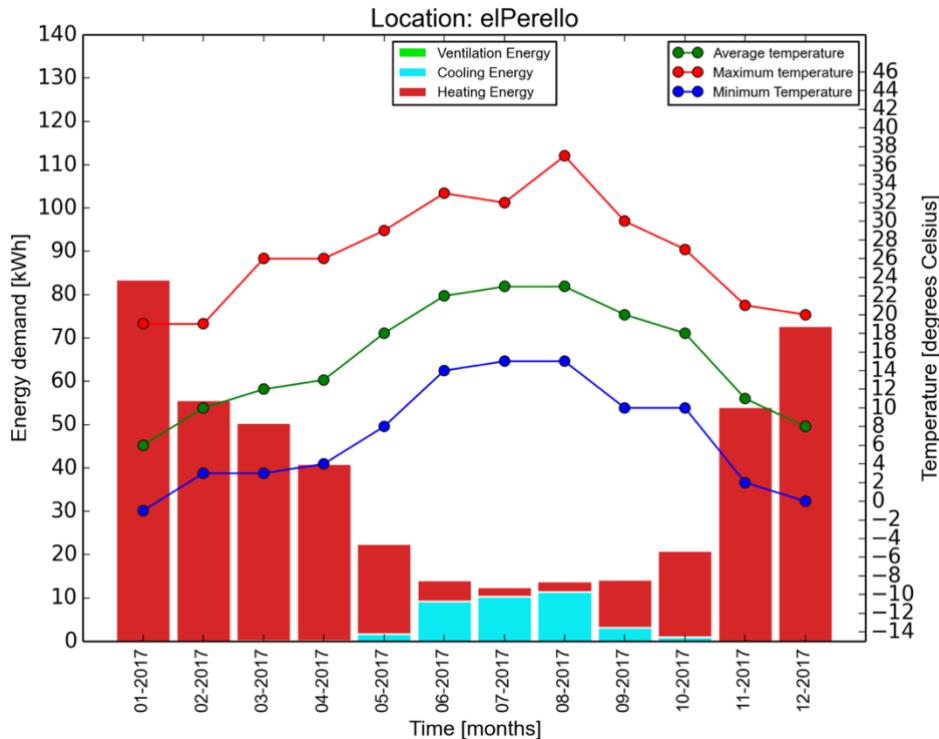
### 11.2.2 El Perelló

La taula 4 i els gràfics 6 i 7, mostren les característiques geogràfiques de la localització, la demanda energètica mensual desglossada i les temperatures mitjana, màxima i mínima mensuals i el percentatge de la demanda energètica anual corresponent a cada tipus d'energia, respectivament.

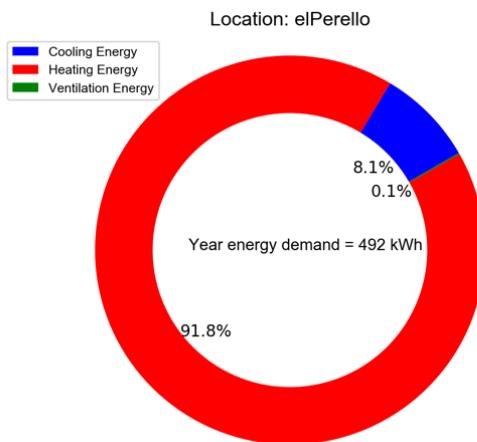
En el cas d'El Perelló, la demanda d'energia anual és entre les més baixes del conjunt de localitzacions analitzades, fet raonable degut al seu clima. La demanda mensual és majoritàriament d'energia de calefacció, exceptuant els mesos d'estiu, on la demanda d'energia de refrigeració és majoritària.

Taula 4. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica d'El Perelló (1)(11).

Localització	Latitud (º)	Longitud (º)	Altitud (m)	Clima
El Perelló	40,87287	0,71581	179	Litoral



Gràfic 6. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a El Perelló l'any 2017.



Gràfic 7. Demanda energètica total a El Perelló l'any 2017 dividida en percentatges.

### 11.2.3 El Pont de Vilomara

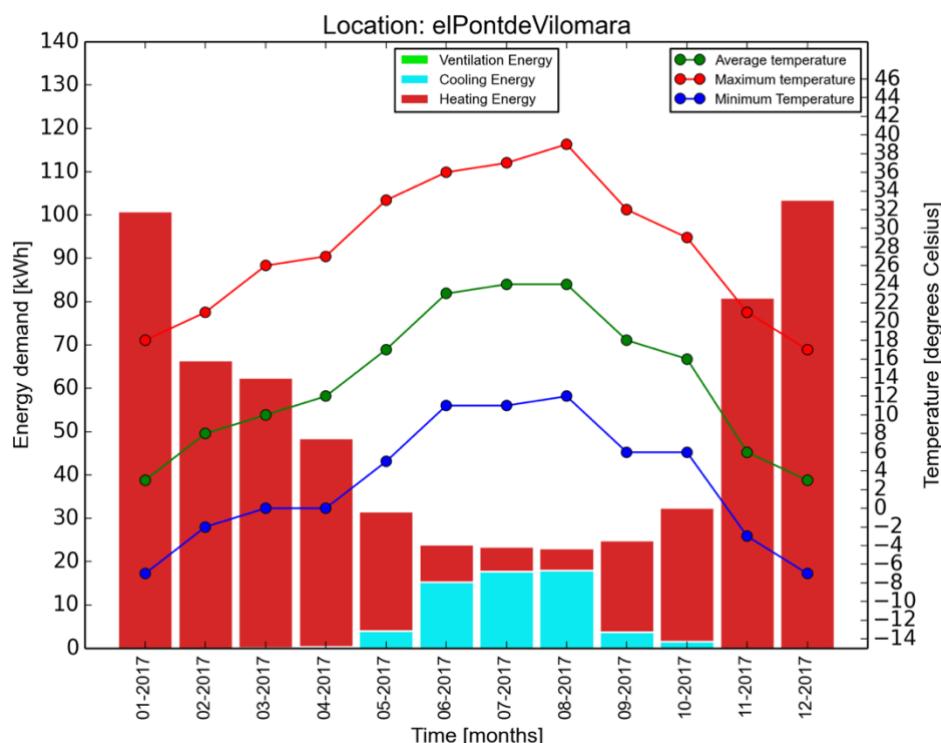
La taula 5 i els gràfics 8 i 9, mostren les característiques geogràfiques de la localització, la demanda energètica mensual desglossada i les temperatures mitjana, màxima i mínima mensuals i el percentatge de la

demanas energèticas anuals correspondientes a cada tipo de energía, respectivamente.

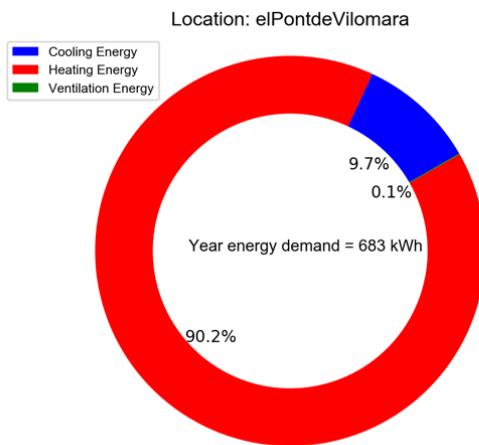
En el caso de El Pont de Vilomara, la demanda anual de energía es moderada entre el conjunto de localizaciones analizadas, lo razonable debido a su clima. La demanda mensual es principalmente de energía de calefacción, excepto los meses de verano, donde la demanda de energía de refrigeración es predominante.

Taula 5. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica d'El Pont de Vilomara (1)(11).

Localització	Latitud (º)	Longitud (º)	Altitud (m)	Clima
El Pont de Vilomara	41,70637	1,87276	210	Continental



Gràfic 8. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a El Pont de Vilomara l'any 2017.



Gràfic 9. Demanda energètica total a El Pont de Vilomara l'any 2017 dividida en percentatges.

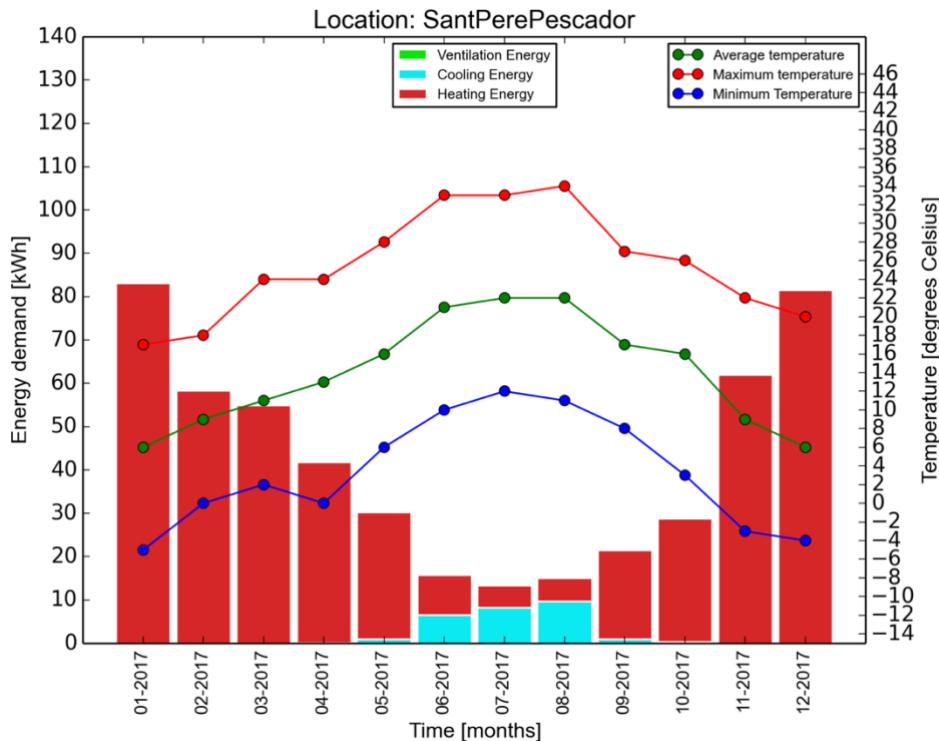
#### 11.2.4 Sant Pere Pescador

La taula 6 i els gràfics 10 i 11, mostren les característiques geogràfiques de la localització, la demanda energètica mensual desglossada i les temperatures mitjana, màxima i mínima mensuals i el percentatge de la demana energètica anual corresponent a cada tipus d'energia, respectivament.

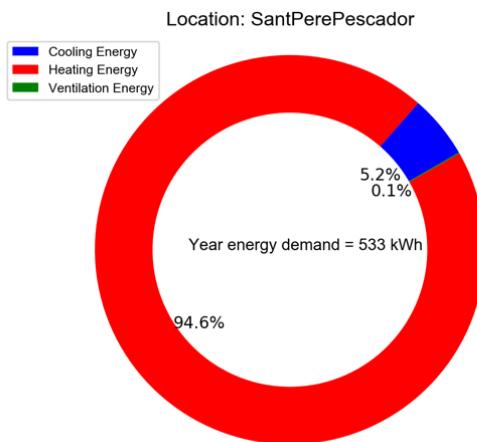
En el cas de Sant Pere Pescador, la demanda d'energia anual és de les més baixes del conjunt de localitzacions analitzades, fet raonable degut al seu clima. La demanda mensual és majoritàriament d'energia de calefacció, exceptuant els mesos d'estiu, on la demanda d'energia de refrigeració és majoritària, tot i que no tant com en d'altres latituds més baixes.

Taula 6. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Sant Pere Pescador (1)(11).

Localització	Latitud (º)	Longitud (º)	Altitud (m)	Clima
Sant Pere Pescador	42,17716	3,0968	4	Litoral



Gràfic 10. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Sant Pere Pescador l'any 2017.



Gràfic 11. Demanda energètica total a Sant Pere Pescador l'any 2017 dividida en percentatges.

### 11.2.5 Raïmat

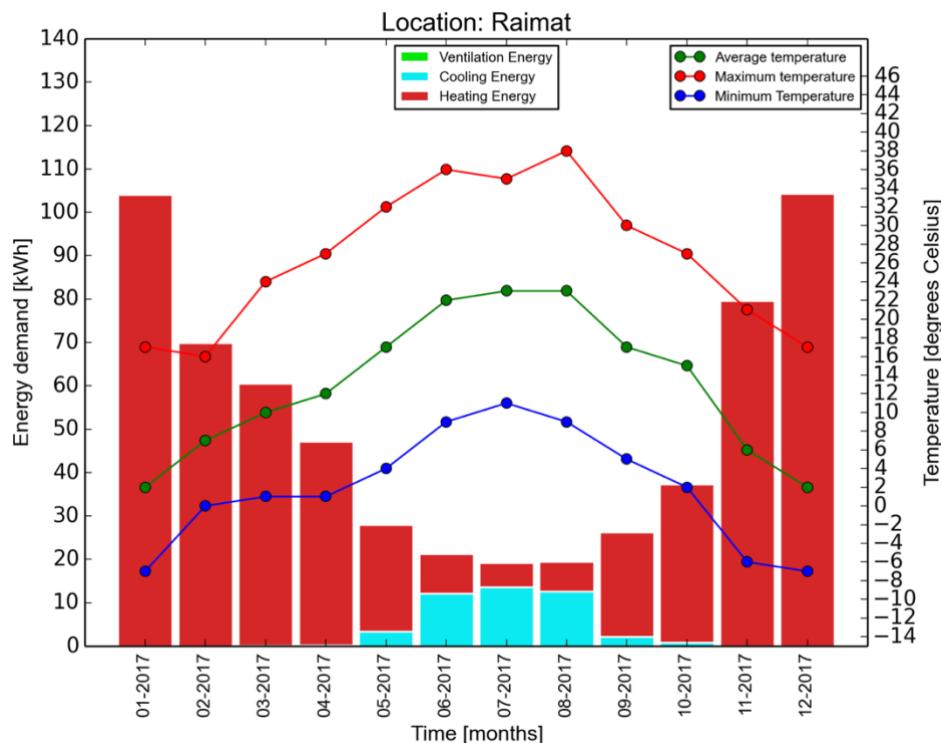
La taula 7 i els gràfics 12 i 13, mostren les característiques geogràfiques de la localització, la demanda energètica mensual desglossada i les temperatures mitjana, màxima i mínima mensuals i el percentatge de la

demanas energèticas anuals correspondientes a cada tipo de energía, respectivamente.

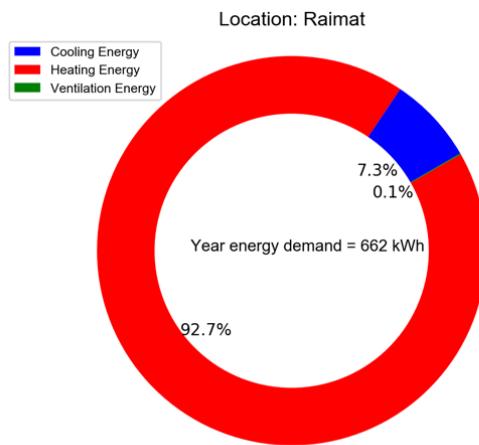
En el caso de Raïmat, la demanda anual de energía es moderada entre el conjunto de localizaciones analizadas, lo que es razonable debido a su clima. La demanda mensual es principalmente de energía para calefacción, excepto en los meses de verano, donde la demanda de refrigeración es predominante.

Taula 7. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Raïmat (1)(11).

Localització	Latitud (º)	Longitud (º)	Altitud (m)	Clima
Raïmat	41,68328	0,4487	286	Continental



Gràfic 12. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Raïmat l'any 2017.



Gràfic 13. Demanda energètica total a Raïmat l'any 2017 dividida en percentatges.

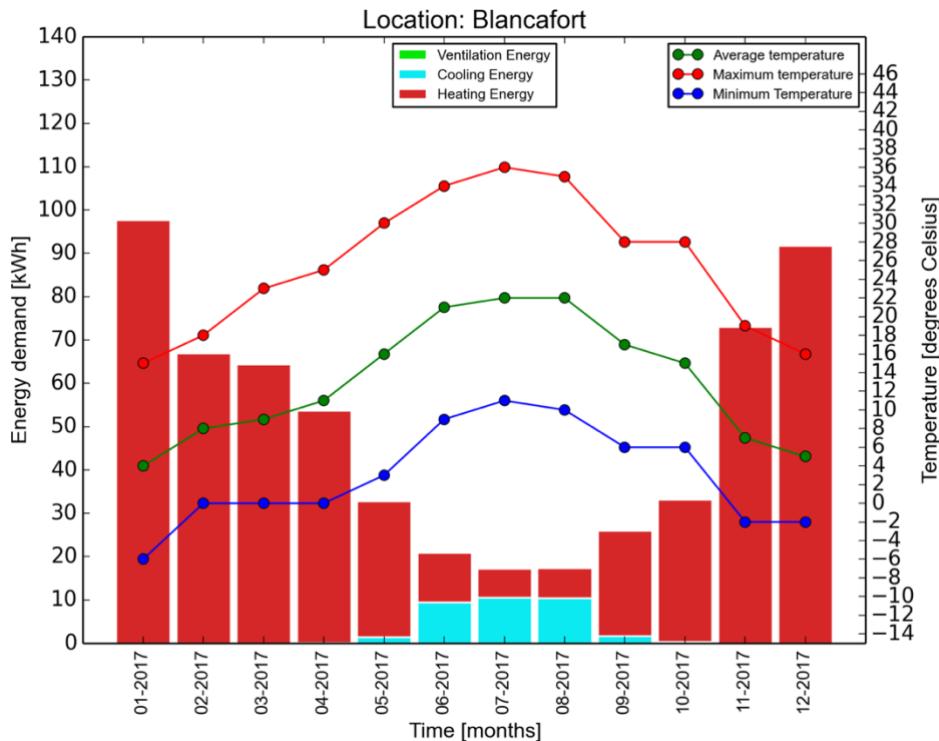
### 11.2.6 Blancafort

La taula 8 i els gràfics 14 i 15, mostren les característiques geogràfiques de la localització, la demanda energètica mensual desglossada i les temperatures mitjana, màxima i mínima mensuals i el percentatge de la demana energètica anual corresponent a cada tipus d'energia, respectivament.

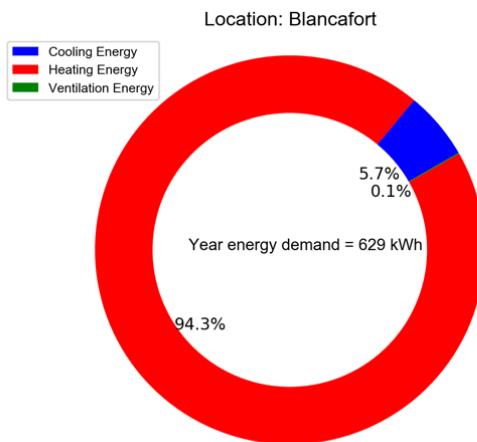
En el cas de Blancafort, la demanda d'energia anual és moderada entre el conjunt de localitzacions analitzades, fet raonable degut al seu clima. La demanda mensual és majoritàriament d'energia de calefacció, exceptuant els mesos d'estiu, on la demanda d'energia de refrigeració és majoritària.

Taula 8. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Blancafort (1)(11).

Localització	Latitud (º)	Longitud (º)	Altitud (m)	Clima
Blancafort	41,44237	1,15998	438	Continental



Gràfic 14. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Blancafort l'any 2017.



Gràfic 15. Demanda energètica total a Blancafort l'any 2017 dividida en percentatges.

### 11.2.7 Barcelona

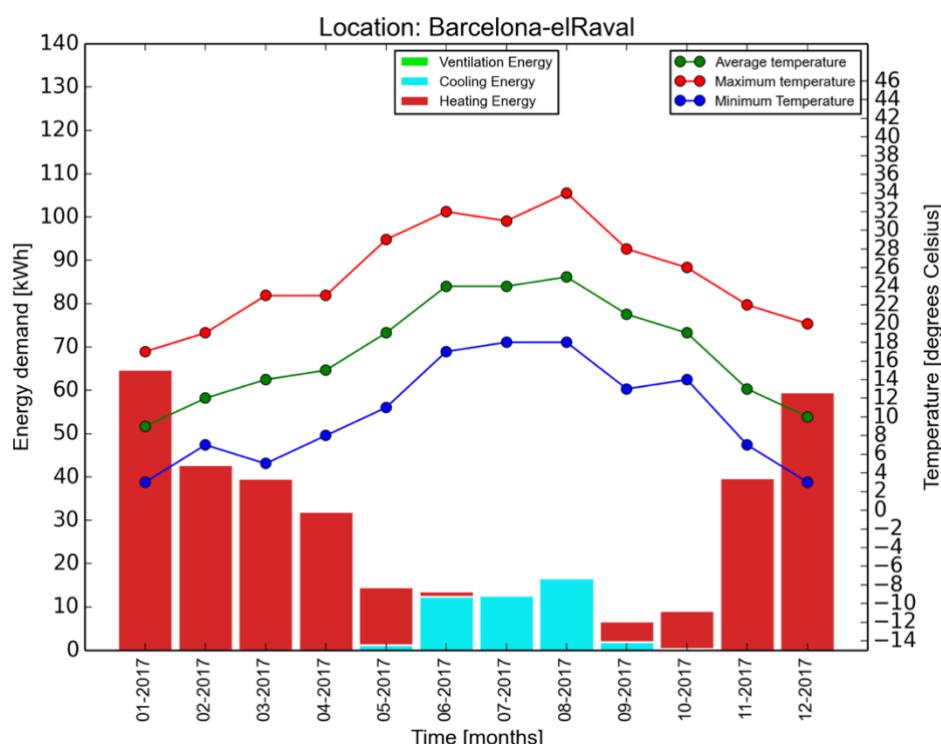
La taula 9 i els gràfics 16 i 17, mostren les característiques geogràfiques de la localització, la demanda energètica mensual desglossada i les temperatures mitjana, màxima i mínima mensuals i el percentatge de la

demanas energèticas anuals correspondientes a cada tipo de energía, respectivamente.

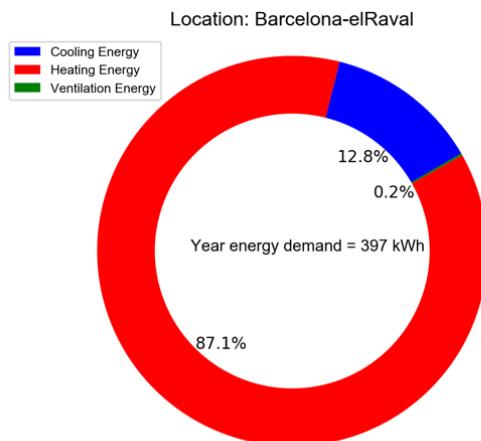
En el caso de Barcelona, la demanda anual de energía es la más baja del conjunto de localizaciones analizadas, lo razonable debido a su clima. La demanda mensual es mayoritariamente de energía de calefacción, excepto en los meses de verano, donde la demanda de refrigeración es mayoritaria y, en los meses más cálidos, la única demandada.

Taula 9. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Barcelona (1)(11).

Localització	Latitud (º)	Longitud (º)	Altitud (m)	Clima
Barcelona	41,3839	2,16775	33	Litoral



Gràfic 16. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Barcelona l'any 2017.



Gràfic 17. Demanda energètica total a Barcelona l'any 2017 dividida en percentatges.

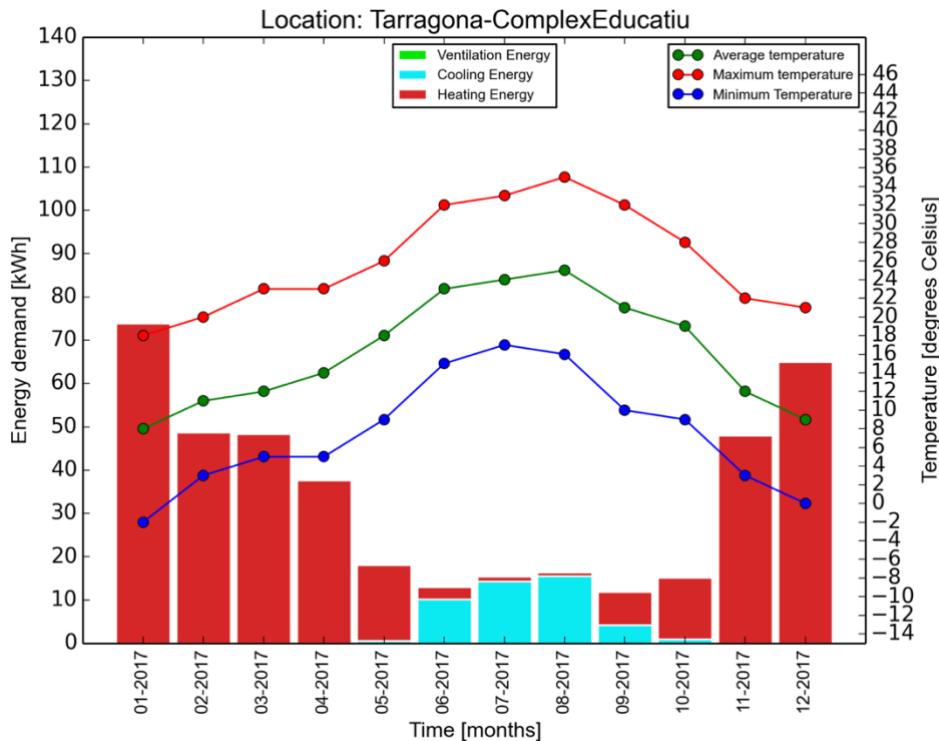
### 11.2.8 Tarragona

La taula 10 i els gràfics 18 i 19, mostren les característiques geogràfiques de la localització, la demanda energètica mensual desglossada i les temperatures mitjana, màxima i mínima mensuals i el percentatge de la demana energètica anual corresponent a cada tipus d'energia, respectivament.

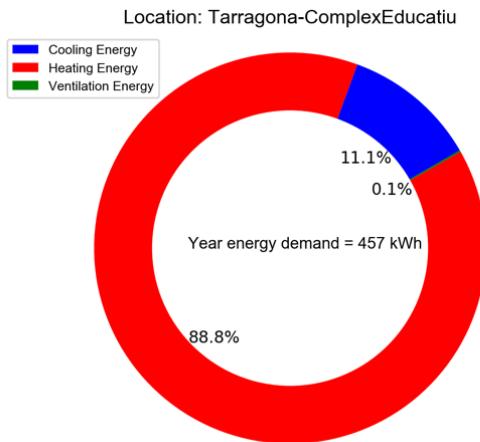
En el cas de Tarragona, la demanda d'energia anual és entre les més baixes del conjunt de localitzacions analitzades, fet raonable degut al seu clima. La demanda mensual és majoritàriament d'energia de calefacció, exceptuant els mesos d'estiu, on la demanda d'energia de refrigeració és majoritària.

Taula 10. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Tarragona (1)(11).

Localització	Latitud (º)	Longitud (º)	Altitud (m)	Clima
Tarragona	41,10393	1,201	5	Litoral



Gràfic 18. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Tarragona l'any 2017.



Gràfic 19. Demanda energètica total a Tarragona l'any 2017 dividida en percentatges.

### 11.2.9 Girona

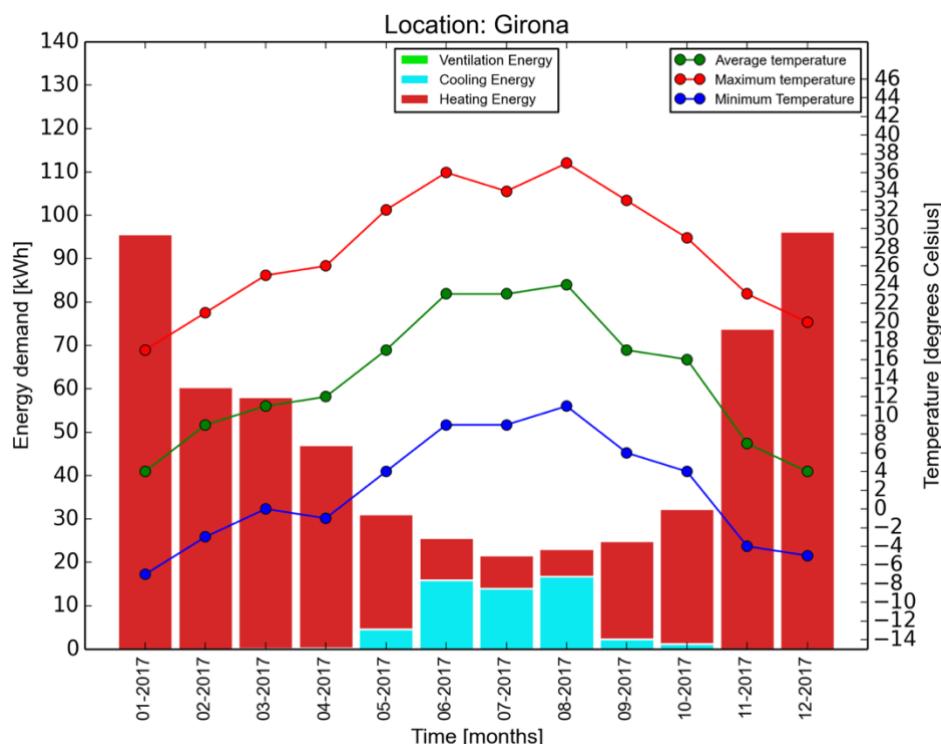
La taula 11 i els gràfics 20 i 21, mostren les característiques geogràfiques de la localització, la demanda energètica mensual desglossada i les temperatures mitjana, màxima i mínima mensuals i el percentatge de la

demanas energèticas anuals correspondientes a cada tipo de energía, respectivamente.

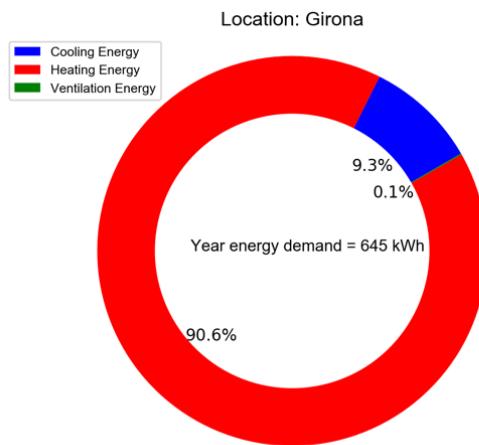
En el caso de Girona, la demanda anual de energía es moderada entre el conjunto de localizaciones analizadas, lo que es razonable debido a su clima. La demanda mensual es principalmente de energía para calefacción, excepto en los meses de verano, donde la demanda de refrigeración es predominante.

Taula 11. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Girona (1)(11).

Localització	Latitud (º)	Longitud (º)	Altitud (m)	Clima
Girona	41,98223	2,80686	72	Prelitoral



Gràfic 20. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Girona l'any 2017.



Gràfic 21. Demanda energètica total a Girona l'any 2017 dividida en percentatges.

### 11.2.10 Vic

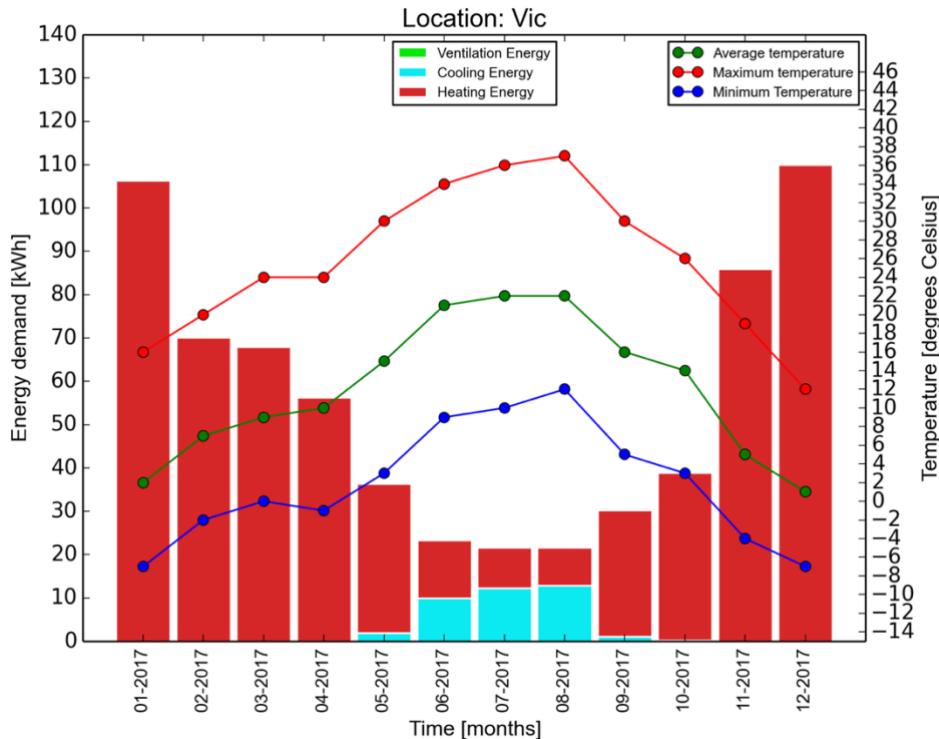
La taula 12 i els gràfics 22 i 23, mostren les característiques geogràfiques de la localització, la demanda energètica mensual desglossada i les temperatures mitjana, màxima i mínima mensuals i el percentatge de la demana energètica anual corresponent a cada tipus d'energia, respectivament.

En el cas de Vic, la demanda d'energia anual és moderada entre el conjunt de localitzacions analitzades, fet raonable degut al seu clima. La demanda mensual és majoritàriament d'energia de calefacció, exceptuant els mesos d'estiu, on la demanda d'energia de refrigeració és lleugerament majoritària.

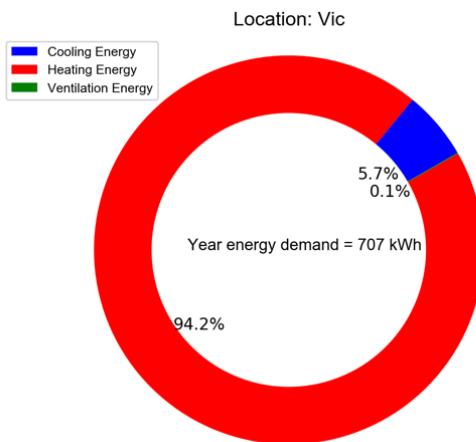
Taula 12. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Vic

(1)(11).

Localització	Latitud (º)	Longitud (º)	Altitud (m)	Clima
Vic	41,93497	2,23987	499	Continental



Gràfic 22. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Vic l'any 2017.



Gràfic 23. Demanda energètica total a Girona l'any 2017 dividida en percentatges.

### 11.2.11 Tremp

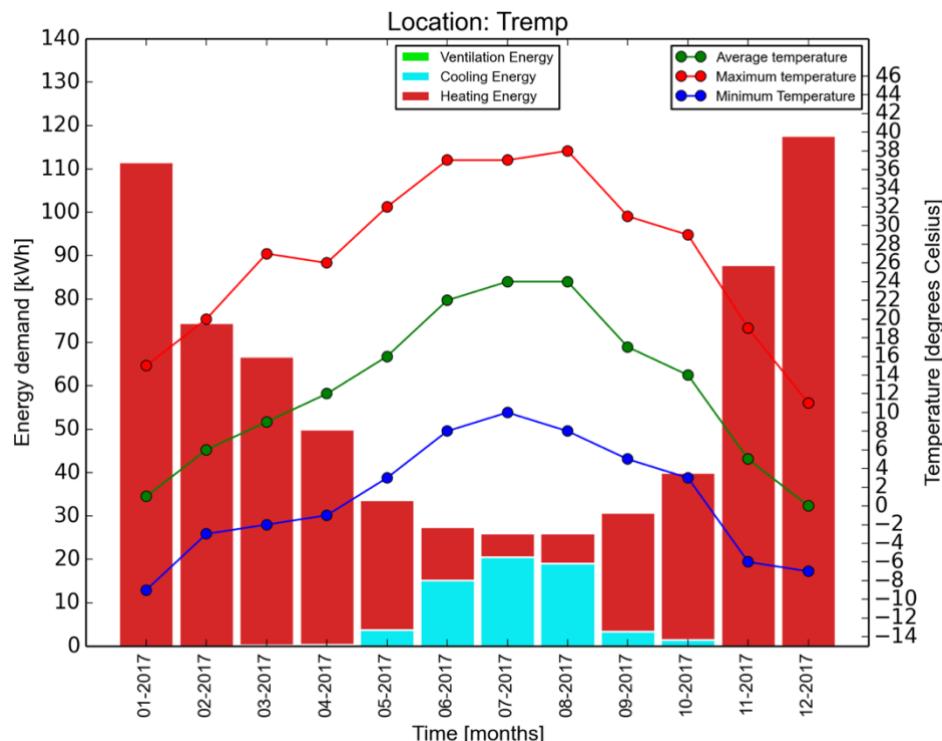
La taula 13 i els gràfics 24 i 25, mostren les característiques geogràfiques de la localització, la demanda energètica mensual desglossada i les temperatures mitjana, màxima i mínima mensuals i el percentatge de la

demanas energèticas anuals correspondientes a cada tipo de energía, respectivamente.

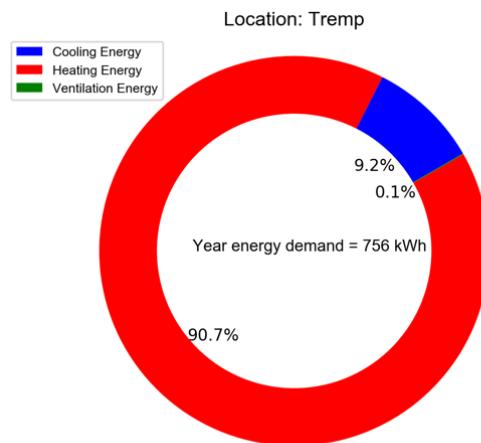
En el caso de Tremp, la demanda anual de energía es las más elevadas del conjunto de localizaciones analizadas, lo razonable debido a su clima. La demanda mensual es principalmente de energía de calefacción, excepto los meses de verano, donde la demanda de refrigeración es mayoritaria.

Taula 13. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Tremp (1)(11).

Localització	Latitud (º)	Longitud (º)	Altitud (m)	Clima
Tremp	42,16252	0,88814	473	Prepirineo



Gràfic 24. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Tremp l'any 2017.



Gràfic 25. Demanda energètica total a Tremp l'any 2017 dividida en percentatges.

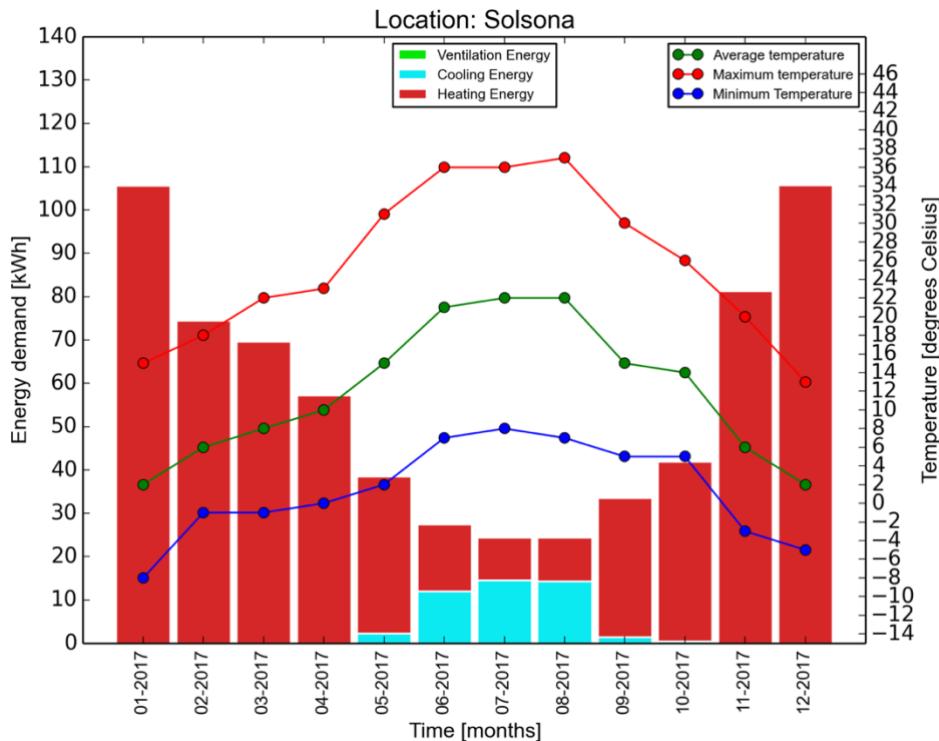
### 11.2.12 Solsona

La taula 14 i els gràfics 26 i 27, mostren les característiques geogràfiques de la localització, la demanda energètica mensual desglossada i les temperatures mitjana, màxima i mínima mensuals i el percentatge de la demana energètica anual corresponent a cada tipus d'energia, respectivament.

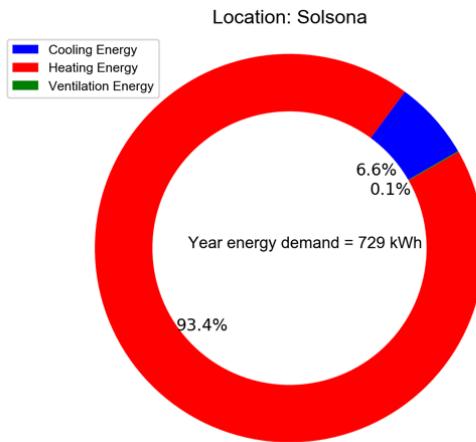
En el cas de Solsona, la demanda d'energia anual és de les més elevades del conjunt de localitzacions analitzades, fet raonable degut al seu clima. La demanda mensual és majoritàriament d'energia de calefacció, exceptuant els mesos d'estiu, on la demanda d'energia de refrigeració és majoritària.

Taula 14. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Solsona (1)(11).

Localització	Latitud (º)	Longitud (º)	Altitud (m)	Clima
Solsona	41,98766	1,51165	691	Prepirinenc



Gràfic 26. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Solsona l'any 2017.



Gràfic 27. Demanda energètica total a Solsona l'any 2017 dividida en percentatges.

### 11.2.13 Canyelles

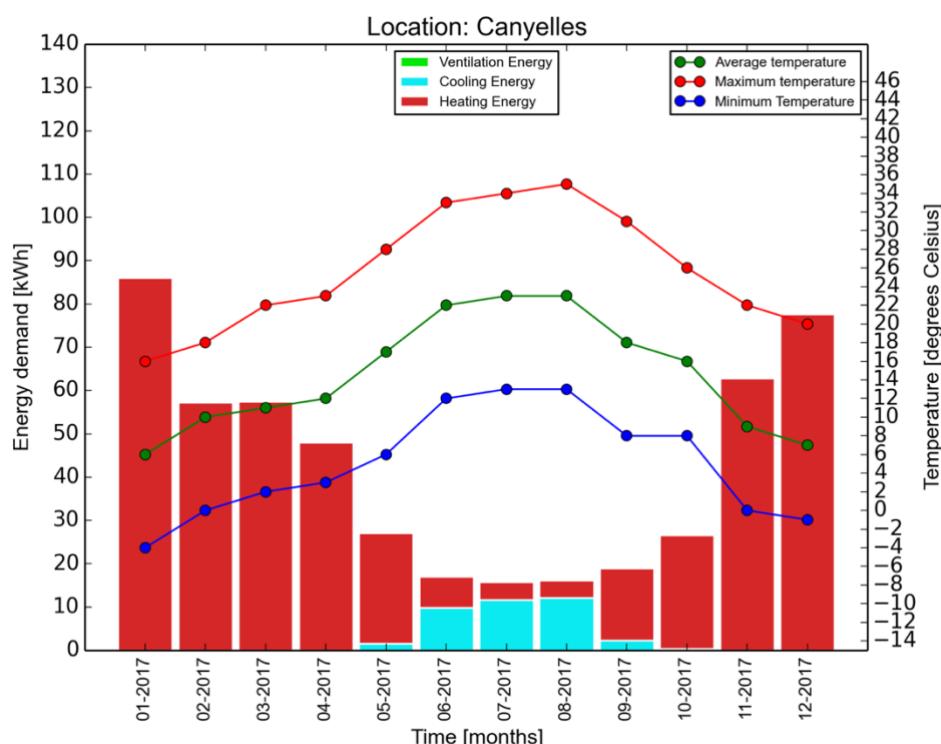
La taula 15 i els gràfics 28 i 29, mostren les característiques geogràfiques de la localització, la demanda energètica mensual desglossada i les temperatures mitjana, màxima i mínima mensuals i el percentatge de la

demanas energèticas anuals correspondientes a cada tipo de energía, respectivamente.

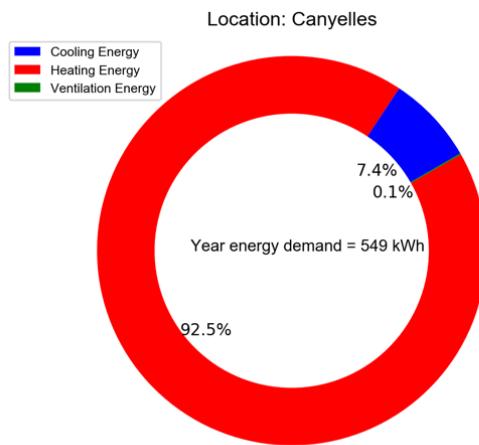
En el caso de Canyelles, la demanda anual de energía es una de las más bajas del conjunto de localizaciones analizadas, lo razonable debido a su clima. La demanda mensual es principalmente de energía de calefacción, excepto los meses de verano, donde la demanda de energía de refrigeración es predominante.

Taula 15. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Canyelles (1)(11).

Localització	Latitud (º)	Longitud (º)	Altitud (m)	Clima
Canyelles	41,28801	1,72195	148	Litoral



Gràfic 28. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Canyelles l'any 2017.



Gràfic 29. Demanda energètica total a Canyelles l'any 2017 dividida en percentatges.

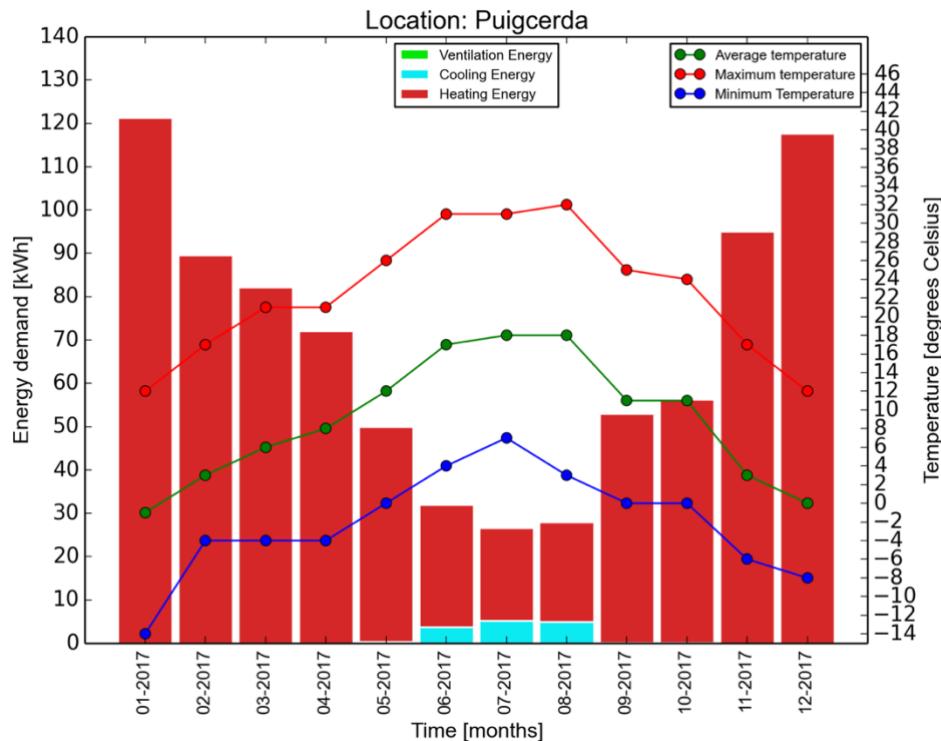
#### 11.2.14 Puigcerdà

La taula 16 i els gràfics 30 i 31, mostren les característiques geogràfiques de la localització, la demanda energètica mensual desglossada i les temperatures mitjana, màxima i mínima mensuals i el percentatge de la demana energètica anual corresponent a cada tipus d'energia, respectivament.

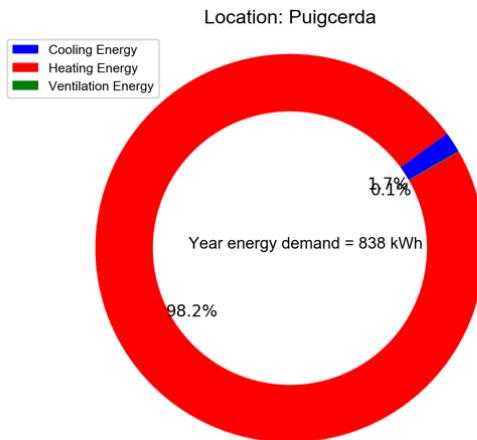
En el cas de Puigcerdà, la demanda d'energia anual és de les més elevades del conjunt de localitzacions analitzades, fet raonable degut al seu clima. La demanda mensual és majoritàriament d'energia de calefacció, fins i tot als mesos d'estiu.

Taula 16. Dades de localització i clima de l'estació meteorològica de Puigcerdà (1)(11).

Localització	Latitud (º)	Longitud (º)	Altitud (m)	Clima
Puigcerdà	42,44013	1,93482	1213	Pirinenc



Gràfic 30. Demanda energètica i temperatures mitjana, mínima i màxima a Puigcerdà l'any 2017.



Gràfic 31. Demanda energètica total a Puigcerdà l'any 2017 dividida en percentatges.

### 11.3 Anàlisi conjunt de les localitzacions

En primer lloc, la figura 13 mostra el gràfic que el programa genera de manera automàtica. En el mateix, es mostra la demanda total de l'any 2017 en cada localització estudiada.

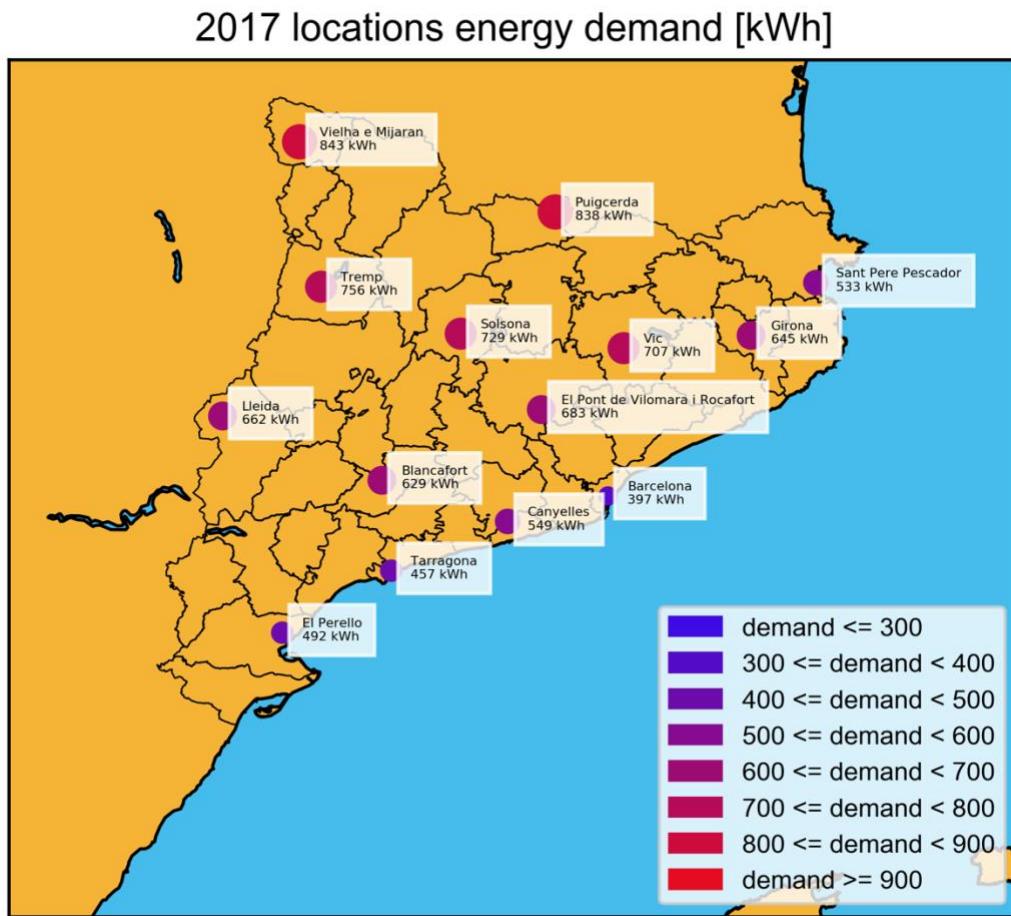
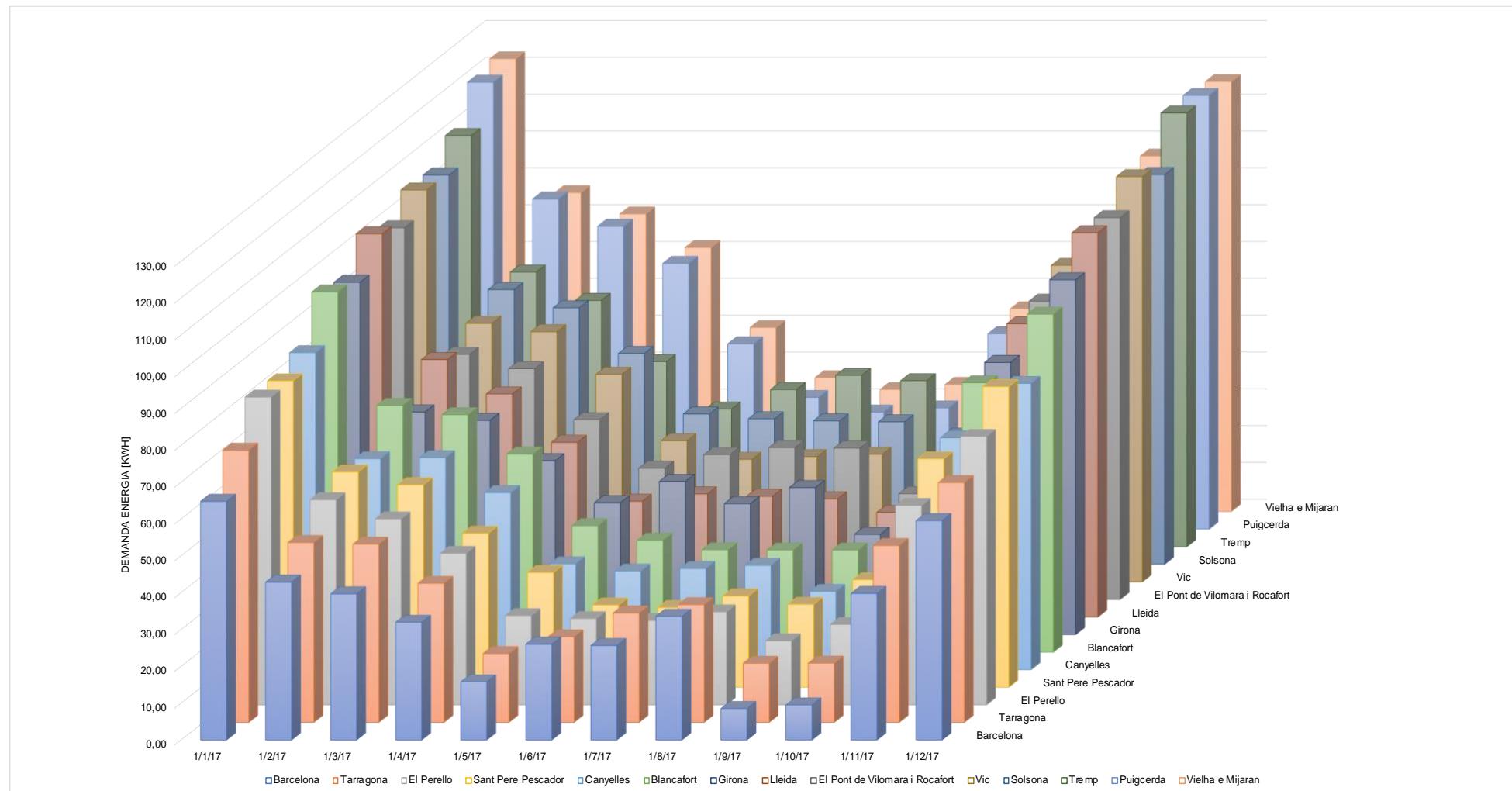


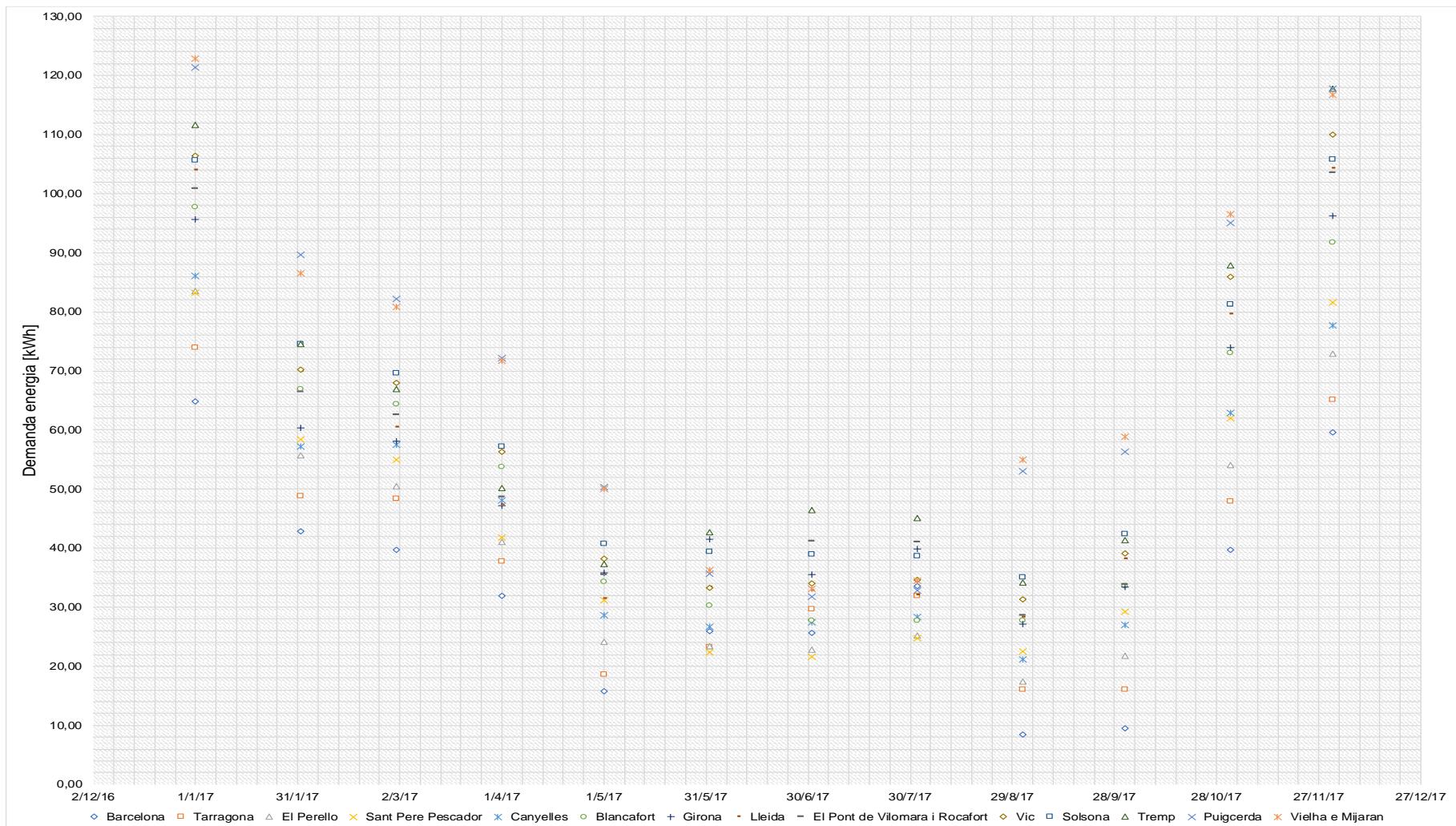
Figura 13. Mapa de la demanda d'energia total l'any 2017 per a cada localització.

El gràfic 32, que es mostra a continuació, representa la demanda d'energia mensual total de l'any 2017 per a cada una de les localitzacions estudiades. L'eix de les localitzacions està ordenat de menys a més segons la demanda d'energia total de l'any 2017. Es pot observar com aquest ordre es correspon, exceptuant el cas de l'estació de Blancafort, amb els sis tipus de clima en els que s'ha dividit el territori en l'ordre lògic: litoral, prelitoral, continental, prepirinenc, pirinenc i oceànic.

Pel que fa al gràfic 33, mostra la dispersió mensual de la demanda total d'energia. Podem observar com als mesos més freds la diferència entre les localitzacions amb més i menys demanda supera els 60 kWh, mentre que progressivament la diferència es redueix fins al mínim de menys de 20 kWh durant els mesos més càlids.



Gràfic 32. Demanda d'energia mensual per les localitzacions estudiades (kWh).



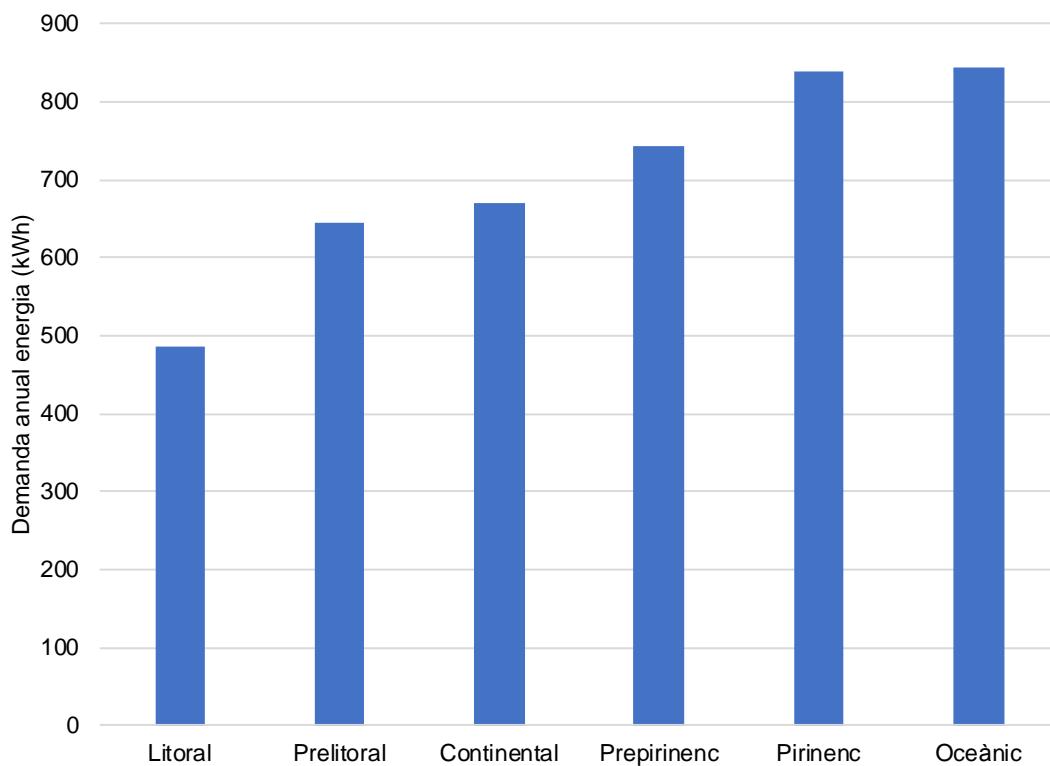
Gràfic 33. Dispersió de la demanda energètica mensual pel conjunt de localitzacions estudiades (kWh).

## 11.4 Anàlisi per regions climàtiques

L'estudi mostra que en aquelles regions on el clima és de temperatures mitjanes mensuals més baixes i amplituds tèrmiques mensuals mitjanes superiors (veieu capítol 11.1), la demanda d'energia és superior.

Taula 17. Classificació de les localitzacions estudiades segons el seu clima i dades de demanda d'energia de l'any 2017 (11).

Grup climàtic	Tipus de clima	Localització	Demandada d'energia (kWh)	Demandada d'energia mitjana tipus de clima (kWh)
Oceànic		Vielha	843	843
Mediterrani	Pirinenc	Puigcerdà	838	838
Mediterrani	Prepirinenc	Tremp	756	743
		Solsona	729	
Mediterrani	Continental	Vic	707	670
		Raïmat	662	
		Blancafort	629	
		El Pont de Vilomara	683	
Mediterrani	Prelitoral	Girona	645	645
Mediterrani	Litoral	Barcelona	397	486
		Tarragona	457	
		Canyelles	549	
		El Perelló	492	
		Sant Pere	533	
		Pescador		

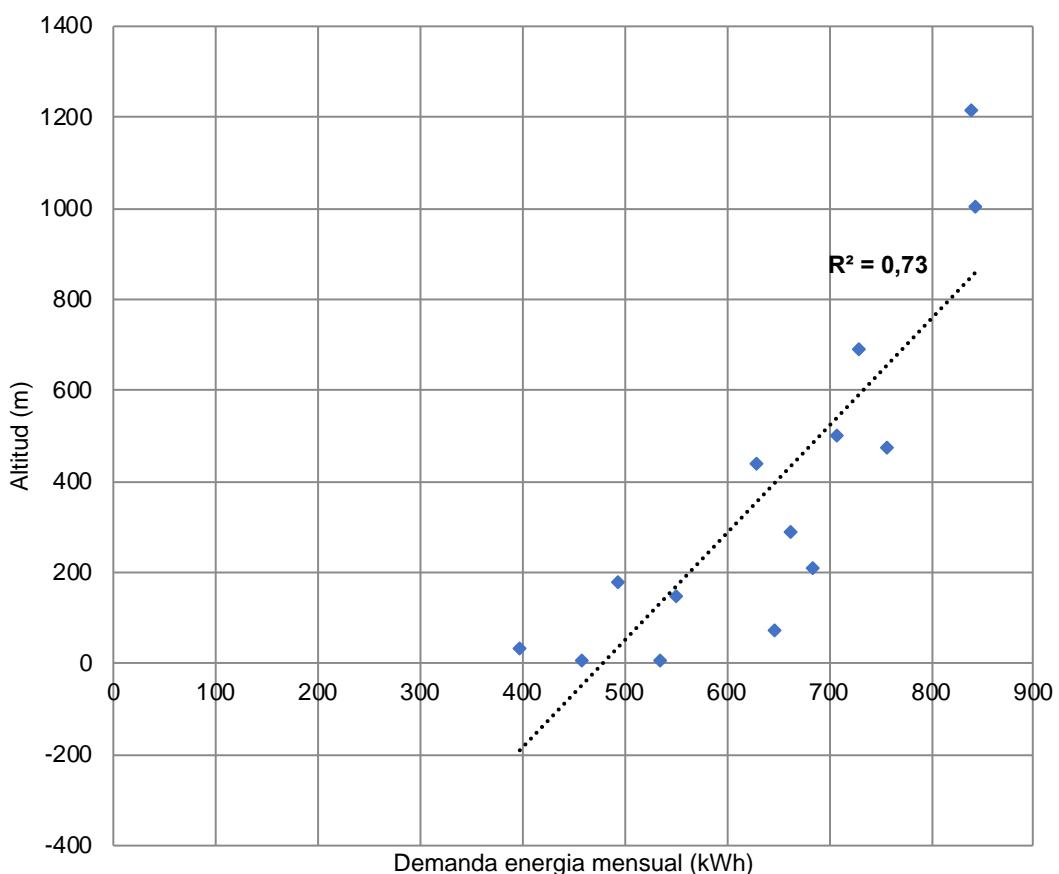


Gràfic 34. Demanda d'energia anual mitjana (kWh) de l'any 2017 segons els tipus de clima.

## 11.5 Anàlisi de la dependència de la demanda amb l'altitud

L'altitud, com s'ha comentat anteriorment al capítol 11.1, condiciona fortament la temperatura mitjana anual del territori. És per això, que esdevé important estudiar-ne la seva relació amb la demanda d'energia total de l'any 2017.

Com mostra el gràfic 35, la relació de dependència lineal entre la demanda d'energia total anual i l'altitud és moderada, amb un coeficient de determinació del 0,73.

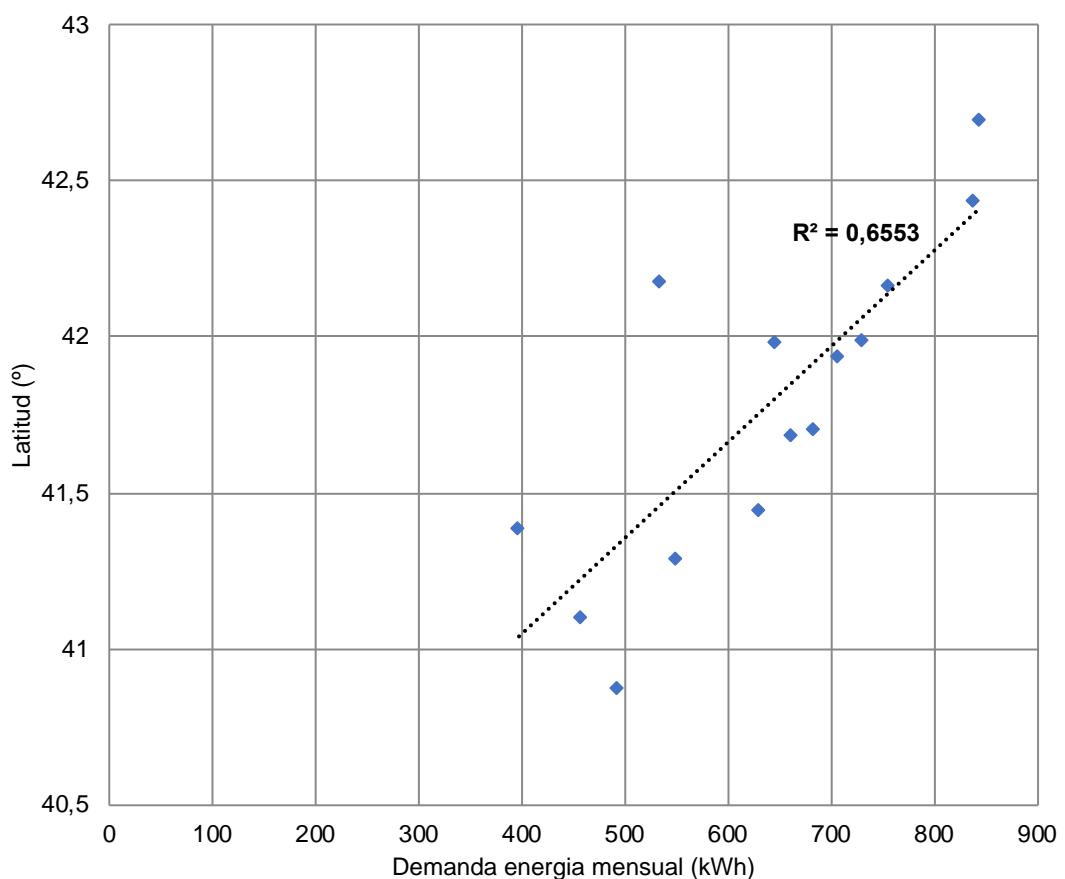


Gràfic 35. Dispersió i relació de dependència entre altitud i demanda energètica.

## 11.6 Anàlisi de la dependència de la demanda amb la latitud

En el clima de Catalunya, la latitud, com s'ha comentat anteriorment al capítol 11.1, és juntament amb l'altitud un factor determinant en la temperatura mitjana anual del territori. És per això, que esdevé important estudiar-ne la seva relació amb la demanda d'energia total de l'any 2017.

Com mostra el gràfic 36, la relació de dependència lineal entre la demanda d'energia total anual i la latitud és moderada, amb un coeficient de determinació del 0,6553.



Gràfic 36. Dispersió i relació de dependència entre latitud i demanda energètica.

## 11.7 Validació de les dades calculades

Per tal de validar els resultats obtinguts, cal comparar-los amb demandes energètiques conegudes en edificis existents.

En el present estudi, aquesta validació es fa a partir de les dades del certificat d'eficiència energètica de l'edifici TR5 de l'UPC ESEIAAT de Terrassa. Segons aquest certificat, la demanda de calefacció de l'edifici TR5 és de 62,5 kWh/m<sup>2</sup>.any i la de refrigeració és de 21,2 kWh/m<sup>2</sup>.any, el que suma una demanda total d'energia de 83,7 kWh/m<sup>2</sup>.any (12).

Entre el conjunt de les localitzacions que s'han estudiat no es troba Terrassa, per tant, es prendran com referència les dades de la localització amb un clima més similar. El clima de Terrassa es classifica com a Mediterrani Prelitoral, per tant, els valors de Girona seran els de referència, ja que és l'única localització d'estudi amb el mateix clima.

La demanda total d'energia calculada a Girona l'any 2017 ha estat de 645 kWh. Considerant que la superfície de l'habitació estudiada és aproximadament d'uns 30 m<sup>2</sup>, la demanda d'energia total relativa a la superfície és de 21,5 kWh/m<sup>2</sup>.any, aproximadament.

D'aquesta manera, la demanda d'energia calculada pel model és lleugerament superior al 25% de la real, per tant el valor és inferior i es pot validar que l'ordre de magnitud de les dades és correcte.

## 12. Impacte ambiental de l'estudi

Normalment, l'anàlisi de l'impacte ambiental de qualsevol projecte preveu i proposa formes de mitigar els impactes ambientals del projecte en totes les seves fases: disseny, execució, operació i desmantellament.

En aquest cas, en tractar-se d'un estudi, no existeix una materialització com a tal i, per tant, no hi ha un impacte associat ni a les fases d'execució, ni de operació ni de desmantellament. Tot i així, com que es tracta d'un estudi en el que han estat necessàries hores de càcul, es pot estimar el consum d'energia i emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH) associades al consum elèctric dels equips emprats.

Es considera que aquest estudi ha tingut una duració aproximada de 300 hores ja que es tracta d'un estudi associat a un Treball Final de Grau (TFG) de 12 ECTS i cada crèdit ECTS correspon a unes 25 hores de treball, aproximadament.

La relació de dispositius usats per a la realització de l'estudi són: un ordinador portàtil durant el 100% del temps (300 hores) i un ordinador de sobretaula durant el 80% del temps (240 hores). A més, també es considera la il·luminació dels espais de treball quan ha estat necessari, aproximadament un 50% del temps (150 hores).

El factor d'emissió considerat per als càlculs correspon a la mitjana del mix elèctric dels darrers anys 2015, 2016 i 2017, segons dades de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC).

Fins al valor de l'any 2015, l'OCCC havia estimat el mix elèctric d'acord amb una metodologia determinada que incorporava els criteris que els estàndards internacionals de càlcul estaven desenvolupant. A partir del valor de 2016, l'OCCC estima el mix elèctric seguint la mateixa metodologia per la qual la *Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia* (CNMC) estima la informació referent a l'origen de l'electricitat i el seu impacte de CO<sub>2</sub> de totes les companyies comercialitzadores que participen en el Sistema de Garanties d'Origen (13).

Per al càlcul del mix elèctric, l'OCCC fa servir les dades que corresponen a la xarxa elèctrica peninsular, ja que, a Catalunya, l'electricitat que es consumeix i que no s'ha auto generat prové de la xarxa elèctrica peninsular, sense poder distingir exactament en quina planta de generació d'electricitat s'ha produït.

Els valors calculats per l'OCCC són els que es mostren a la taula 18:

Taula 18. Valors dels factors d'emissió associats al mix elèctric calculats per l'OCCC (13).

Any	2015	2016	2017
<b>Mix elèctric anual (kgCO<sub>2</sub>/kWh)</b>	0,398	0,308	0,392
<b>Mix elèctric mitjà (kgCO<sub>2</sub>/kWh)</b>		0,366	

Considerant el conjunt de dades anteriors:

Taula 19. Dades estimades de l'impacte ambiental de l'estudi.

	Temps (hores)	Potència (W)	Consum (kWh)	Factor emissió (kgCO <sub>2</sub> /kWh)	Massa CO <sub>2</sub> (kg)
<b>Ordinador portàtil</b>	300	90	27,00	0,366	9,882
<b>Ordinador sobretaule</b>	240	600	144,00	0,366	52,704
<b>Il·luminació</b>	150	10	1,50	0,366	0,549
<b>Total</b>	<b>690</b>		<b>172,50</b>	<b>63,135</b>	

Analitzant els resultats obtinguts, es pot veure com més del 80% de l'energia ha estat consumida per l'ordinador de sobretaule.

Aproximadament, un 15% ha estat consumida per l'ordinador portàtil, el qual es considera connectat a la xarxa en tot moment, així s'avalua el cas més desfavorable o de màxim consum.

Finalment, el consum de la il·luminació del lloc de treball és inferior a l'1% del total.

En total, la massa de diòxid de carboni alliberada a l'atmosfera ha estat de 63,135 kg CO<sub>2</sub>, aproximadament.

Si es considera que, segons dades del Banc Mundial, a Espanya el 2014 les emissions de CO<sub>2</sub> per càpita van ser de 5,034 tones mètriques (14), el valor calculat suposa un 1% del total. Per tant, l'impacte ambiental d'aquest estudi és baix.

## 13. Planificació de l'estudi

En aquest punt es mostra la planificació temporal del present estudi. La durada total del mateix ha estat de 100 dies amb data d'inici el 02/03/2018 i data de fi el 10/06/2018.

En primer lloc, es mostra la planificació inicialment prevista per a la realització d'aquest estudi i, en segon lloc, la planificació finalment seguida, considerant les correccions i variacions que han tingut lloc durant el seu transcurs.

A continuació, es mostra la planificació inicial de l'estudi:

Taula 20. Planificació temporal inicial de les tasques.

Codi	Nom de la tasca	Duració (dies)	Data inici	Data fi	Predecessors
<b>A</b>	Recerca de dades de temperatura ambient	12	02/03/18	14/03/18	
<b>B</b>	Tractament de les dades per al model	14	14/03/18	28/03/18	A
<b>C</b>	Execució del model	7	28/03/18	04/04/18	B
<b>D</b>	Automatització del procés de tractament de dades i execució del model	24	04/04/18	28/04/18	C
<b>E</b>	Tractament dels resultats obtinguts	10	04/04/18	14/04/18	C
<b>F</b>	Representació gràfica dels resultats	14	14/04/18	28/04/18	E
<b>G</b>	Anàlisi i interpretació dels resultats	14	28/04/18	12/05/18	F
<b>H</b>	Redacció plantejament	26	02/03/18	28/03/18	
<b>I</b>	Redacció metodologia	31	28/03/18	28/04/18	H
<b>J</b>	Redacció resultats	20	28/04/18	18/05/18	I
<b>K</b>	Redacció viabilitat econòmica	4	18/05/18	22/05/18	J
<b>L</b>	Redacció conclusions	15	18/05/18	02/06/18	K
<b>M</b>	Revisió general de contingut i format	6	02/06/18	08/06/18	L

Finalment, la planificació inicial ha patit variacions degut a múltiples factors. La taula 21 mostra quin ha estat el desenvolupament final:

Taula 21. Planificació temporal final de les tasques.

Codi	Nom de la tasca	Duració	Data inici	Data fi	Predecessors
(dies)					
A	Recerca de dades de temperatura ambient	12	02/03/18	24/03/18	
B	Tractament de les dades per al model	14	24/03/18	04/05/18	A
C	Execució del model	7	05/05/18	26/05/18	B
D	Automatització del procés de tractament de dades i execució del model	24	02/05/18	28/05/18	C
E	Tractament dels resultats obtinguts	10	11/05/18	24/05/18	C
F	Representació gràfica dels resultats	14	12/05/18	26/05/18	E
G	Anàlisi i interpretació dels resultats	14	25/05/18	28/05/18	F
H	Redacció plantejament	26	02/03/18	28/03/18	
I	Redacció metodologia	31	28/03/18	28/04/18	H
J	Redacció resultats	20	28/05/18	07/06/18	I
K	Redacció viabilitat econòmica	4	18/05/18	22/05/18	J
L	Redacció conclusions	15	07/06/18	09/06/18	K



M	Revisió general de 6 contingut i format	09/06/18	10/06/18	L
---	--	----------	----------	---

## 14. Planificació de la següent fase de l'estudi i recomanacions

La propera fase del present estudi consisteix, principalment, en fer més gran la mostra pel que fa a l'energia demandada i en avaluar potencials escenaris futurs de canvi climàtic.

Degut al temps que necessita el model de simulació per calcular els resultats, aproximadament 3 hores per cada arxiu d'entrada amb registres de temperatura de 2 anys, no s'ha pogut executar per la totalitat d'arxius d'entrada.

Per tant, cal finalitzar l'execució del model per tots els arxius d'entrada obtinguts per tal de fer un estudi més precís a nivell de tot el territori de Catalunya.

D'aquesta manera, les properes fases haurien de ser:

- 1. Executar el model de demanda energètica a les localitzacions restants:** executar el model de càlcul de la demanda energètica per el total de localitzacions geogràfiques, 188 actualment, de les quals s'han recollit dades.
- 2. Executar el generador de gràfics per tota la mostra:** executar el generador de gràfics per obtenir de forma automàtica la representació gràfica de les variables d'interès.
- 3. Executar el programa complet periòdicament:** un cop es tinguin les dades de demanda energètica del total de les 188 localitzacions, caldrà executar de forma periòdica el programa per tal d'actualitzar les dades dels registres de temperatura i, si es desitja, obtenir nous gràfics. Així, es podran anar creant un conjunt d'arxius històrics amb el pas del temps.
- 4. Depurar possibles errors, readaptar i millorar el programari:** en futures execucions del programari creat és possible que apareguin errors. Tot i que ha estat executat en múltiples ocasions i s'han corregit els errors que han anat apareixent, futurs canvis en l'estructura de l'arxiu html del qual s'estreuen les dades de temperatura, entre d'altres, podrien generar errors.

A més de la correcció d'errors i/o readaptació del programari, també seria molt convenient optimitzar el seu funcionament. El codi actual podria millorar-se per tal de reduir el temps d'execució introduint tècniques de *multithreading*. Obrir diferents fils d'execució ajudaria a reduir el temps d'execució del programa.

- 5. Utilització de les dades de temperatura de models per tal d'avaluar escenaris de canvi climàtic i el seu impacte en la demanda energètica d'edificis:** a partir de dades calculades per models estadístics de previsió de futurs escenaris de canvi climàtic, caldria adaptar el format d'entrada al programa o bé adaptar el programa als fitxers. Amb els resultats es podria avaluar l'impacte de la variació futura de la temperatura ambient en la demanda d'energia.

## 15. Resum del pressupost

En aquest punt es mostra un resum del pressupost per a la realització d'aquest estudi, que és d'un total de 7208,15 €.

El pressupost ha estat dividit en recursos humans i recursos materials i programari.

La taula 22 mostra tots els costos i els conceptes als quals fan referència, així com el cost total.

Taula 22. Cost total de l'estudi

Concepte	Cost (€)
<b>Recerca dades temperatura</b>	300,00
<b>Desenvolupament programari</b>	2000,00
<b>Testeig programari</b>	2000,00
<b>Anàlisi dels resultats</b>	1000,00
<b>Redacció memòria</b>	500,00
<b>Assessorament tècnic</b>	300,00
<b>Energia elèctrica</b>	24,15
<b>Llicència de l'entorn de desenvolupament integrat Eclipse</b>	0,00
<b>Llicència de Microsoft Office</b>	69,00
<b>Material d'oficina</b>	15,00
<b>Total</b>	<b>7208,15 €</b>

Per a una informació més detallada, veieu el document específic del pressupost.

## 16. Conclusions

Aquest estudi ha investigat la influència de la temperatura ambient en la demanda d'energia per a climatitzar edificis i ha generat els programes necessaris per tal d'automatitzar el procés d'obtenció de resultats.

La modelització de la demanda d'energia ha estat realitzada per un model de càlcul desenvolupat en estudis anteriors per investigadors de l'UPC. Aquests estudis s'han basat en l'ús de modelització de caixa gris per determinar la concentració de CO<sub>2</sub> i la ventilació en habitacions. El procediment seguit per assolir aquests objectius, ha estat usar equacions diferencials estocàstiques per estudiar el comportament del sistema (2)(3).

Les dades de temperatura ambient usades per al nostre estudi corresponen al territori de Catalunya l'any 2017 i han estat extretes del web del Servei Meteorològic de Catalunya. Del total de 188 estacions meteorològiques amb registres disponibles al web, s'han estudiat 14 distribuïdes uniformement arreu del territori de Catalunya. Aquesta reducció de la mostra s'ha degut als llargs temps d'execució del mencionat model.

Per tal d'automatitzar el procés d'extracció de dades de temperatura ambient, l'execució del model i la generació dels corresponents gràfics, s'ha generat un programa en llenguatge Python. Aquest, està compostat d'un mòdul principal encarregat de dirigir cinc mòduls que desenvolupen les tasques específiques, com l'extracció de dades, la generació de gràfics, etc.

Amb els resultats obtinguts de l'execució del programa per les 14 estacions estudiades, s'ha estudiat la relació entre la demanda i diferents factors.

En primer lloc, s'ha segmentat Catalunya en sis tipus de climes, seguint el criteri d'estudis realitzats, i s'ha pogut veure com la demanda d'energia incrementa en els climes amb una amplitud tèrmica superior i una temperatura mitjana inferior. Segons els resultats dels mateixos estudis, per les característiques del clima a Catalunya, seria possible establir un model a partir

de l'altitud i la latitud. Per tant, s'ha estudiat la relació existent entre altitud, latitud i demanda energètica.

Així, s'ha estudiat la relació de dependència entre l'altitud, un factor determinant en el clima, i la demanda energètica. L'increment d'altitud guarda una relació moderada amb l'increment en la demanda d'energia.

En tercer lloc, s'ha estudiat la relació de dependència entre la latitud i la demanda energètica i s'ha comprovat com la relació és més dèbil que amb l'altitud, però segueix essent moderada.

Per tal de validar les dades de demanda energètica obtingudes amb els càlculs realitzats pel model, s'han contrastat amb dades reals corresponents al certificat energètic de l'edifici TR5 del campus de la UPC a Terrassa. S'ha comprovat com les dades calculades eren inferiors, superant lleugerament el 25 % del total de la demanda real, fet raonable considerant que el model s'ajusta a la demanda estrictament necessària i considera, idealment, una habitació de parets adiabàtiques.

L'impacte ambiental d'aquest estudi s'ha quantificat en 63,135 kg CO<sub>2</sub>, un valor que es pot considerar baix.

Pel que fa a les recomanacions per als treballs futurs del present estudi, seria convenient estudiar la totalitat de la mostra, és a dir, les 188 localitzacions de les quals s'han extret dades, així com depurar possibles errors i/o readaptacions que pugui necessitar el programa. També, es podria aprofitar el programa per tal d'estudiar futurs escenaris de canvi climàtic a partir de dades de temperatura ambient calculades per models de predicción.

## 17. Bibliografia

1. El temps a Catalunya | Servei Meteoròlogic de Catalunya. A: [en línia]. [Consulta: 15 maig 2018]. Disponible a: <http://www.meteo.cat/>.
2. Macarulla, M. et al. Modelling indoor air carbon dioxide concentration using grey-box models. A: *Building and Environment* [en línia]. Elsevier Ltd, 2017, Vol. 117, p. 146-153. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2017.02.022. Disponible a: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.02.022>.
3. Macarulla, M. et al. Estimation of a room ventilation air change rate using a stochastic grey-box modelling approach. A: *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* [en línia]. Elsevier, 2018, Vol. 124, núm. October 2017, p. 539-548. ISSN 02632241. DOI 10.1016/j.measurement.2018.04.029. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.04.029>.
4. D'Energia, I.C. Balanç energètic de Catalunya 1990-2014. Sèrie homogènia. A: . 2014,
5. Parlamento Europeo i Consejo de la Unión Europea. Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios. A: *Doce.* 2003, Vol. 4-01-2003, núm. L 1, p. 65-71.
6. Presidència, M.D.E.L.A. Boletín oficial del estado. A: . 2013, núm. 89, p. 1-15.
7. Real Decreto 235/2013 - Energía y desarrollo sostenible - Energía - Mº de Energía, Turismo y Agenda Digital. A: [en línia]. [Consulta: 5 juny 2018]. Disponible a: <http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/Paginas/RealDecreto-235-2013.aspx#dt5>.
8. Presidència, M.D.E.L.A. Boletín oficial del estado. A: . 2017, núm. 134, p. 1-3.
9. D'Energia, I.C. Observatori de l'estat energètic dels edificis a

Catalunya. A: . 2017,

10. DataCamp. Choosing R or Python for data analysis? An infographic (article) - DataCamp. A: [en línia]. 2015. [Consulta: 8 juny 2018]. Disponible a: [https://www.datacamp.com/community/tutorials/r-or-python-for-data-analysis?tap\\_a=5644-dce66f&tap\\_s=10907-287229](https://www.datacamp.com/community/tutorials/r-or-python-for-data-analysis?tap_a=5644-dce66f&tap_s=10907-287229).

11. Martín-vide, J. et al. Els climes de Catalunya. Present i tendències recents. A: *El Canvi Climàtic a Catalunya. 2n informe del Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya*. 2010, p. 39-72.

12. Certificat d'eficiència energètica de l'edifici TR5 de l'UPC ESEIAAT de Terrassa. A: . 2016, p. 1-8.

13. Oficina Catalana del Canvi Climàtic. Nota informativa sobre la metodologia d'estimació del mix elèctric. A: . 2017, p. 1-4.

14. Banco Mundial. Emisiones de CO2 (toneladas métricas per capita) | Data. A: [en línia]. 2014. [Consulta: 7 juny 2018]. Disponible a: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC?locations=ES>.