



EnergiAnd- Impulsant la transició energètica

Memòria final del projecte

Ajut de recerca o de transferència que es pugui aplicar a Andorra, d'acord amb els principis promoguts per la Fundació ActuaTech

Referència: APTA0014-AND/2017

Juny, 2020



Aquesta obra està subjecta a una llicència CC Reconeixement - No Comercial - CompartirIgual (by-nc-sa)
No es permet un ús comercial de l'obra original ni de les possibles obres derivades, la distribució de les quals s'ha de fer amb la mateixa llicència CC que regula l'obra original

RESUM

Aquest informe detalla les activitats dutes a terme en el projecte EnergiAnd - Impulsant la transició energètica.

El present projecte planteja caracteritzar amb un alt detall tecnològic el sistema energètic de les poblacions d'Andorra la Vella i Escaldes-Engordany, geolocalitzant els principals consumidors d'energia en paral·lel a futures potencials instal·lacions generadores (p. ex. d'energia solar fotovoltaica). El model implementat permet analitzar individualment el potencial d'estalvi en les diferents edificacions a través d'accions d'eficiència energètica i estudiar els reptes i potencialitats d'un canvi de model energètic basat en la generació distribuïda, eines de gestió de la demanda i xarxes de calor.

El model implementat s'ha representat sobre la maqueta 3D propietat de la Fundació Actuatech. La visualització sobre la maqueta aporta una nova eina per fomentar la interacció amb els principals responsables de la presa de decisions en matèria energètica i d'altra banda, serveix com a eina educativa i de sensibilització per a la ciutadania en general.

ÍNDIX

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1. | CONTEXTUALITZACIÓ DEL PROJECTE | 5 |
| 1.1 | Els UBEMs. Context i metodologia | 5 |
| 1.2 | Debilitats de l'enfocament existent..... | 7 |
| 1.3 | Objectius de projecte | 8 |
| 1.4 | Grups de recerca i actors participants..... | 9 |
| 2. | ACTIVITATS DESENVOLUPADES..... | 12 |
| 2.1 | Recopilació i processat de les dades meteorològiques (A1)..... | 12 |
| 2.1.1 | Càlcul dels graus-dia de calefacció d'Escaldes-Engordany..... | 12 |
| 2.1.2 | Generació de fitxers climàtics d'Andorra | 14 |
| 2.2 | Implementació del SIG d'edificacions i el seu entorn (A2) | 16 |
| 2.2.1 | Base de dades d'edificis i consums elèctrics | 16 |
| 2.2.2 | Generació de la volumetria del edificis..... | 19 |
| 2.3 | Definició de tipologies d'edificis (A3)..... | 22 |
| 2.3.1 | Caracterització dels aspectes arquitectònics..... | 23 |
| 2.3.2 | Caracterització dels sistemes i patrons de comportament | 24 |
| 2.4 | Implementació de l'UBEM de la zona d'estudi (A4) | 34 |
| 2.4.1 | Geometria dels edificis..... | 36 |
| 2.4.2 | Interfície de modelització energètica..... | 37 |
| 2.5 | Simulació del model (A5)..... | 39 |
| 2.6 | Validació del model (A6)..... | 41 |
| 2.7 | Anàlisis energètics a partir de l'UBEM (A7) | 42 |
| 2.8 | Actualització de la web d'energia solar fotovoltaica (A8)..... | 42 |
| 2.9 | Visualització de l'UBEM en la maqueta 3D (A9)..... | 43 |
| 2.10 | Visualització dels consums reals en la maqueta 3D (A10)..... | 45 |
| 2.11 | Enquestes energètiques (B1)..... | 46 |
| 2.11.1 | Enquesta del Consum Energètic d'Edificis Residencials (ECEER) | 47 |
| 2.11.2 | Enquesta del Consum Energètic d'Edificis No Residencials (ECEENR)... | 49 |
| 3. | TREBALL EN CURS I LÍNIES DE DESENVOLUPAMENT FUTUR..... | 50 |
| 4. | TRANSFERÈNCIA DE CONEIXEMENT..... | 51 |
| 4.1 | Publicacions i assistència a congressos | 51 |
| 4.2 | Accions de divulgació..... | 51 |
| | REFERÈNCIES | 54 |

1. CONTEXTUALITZACIÓ DEL PROJECTE

L'objectiu principal del projecte EnergiAnd és modelitzar el sistema energètic de les poblacions d'Andorra la Vella i Escaldes-Engordany amb un alt nivell de resolució espacial i aportar així una eina de referència en la planificació energètica i urbanística d'ambdues parròquies.

Per assolir aquest objectiu s'ha treballat en la construcció d'un UBEM (*Urban Building Energy Model*), un tipus de model *bottom-up* dissenyat específicament per entendre els patrons espaciotemporals de l'ús de l'energia en zones urbanes (Reinhart and Cerezo Davila, 2016). El model implementat permet conèixer en detall la realitat energètica del parc edificat de la zona d'estudi i quantificar l'impacte de determinades polítiques entorn a l'eficiència energètica i les energies renovables.

La construcció d'un UBEM consta generalment de les fases de caracterització, implementació, simulació, anàlisi i validació del model. Especialment en les fases de caracterització i validació, és fonamental disposar de dades reals de consums d'energia. En aquest sentit, les dades de consums d'electricitat proporcionades per Forces Elèctriques d'Andorra (FEDA) són de vital importància per a la construcció d'un model acurat i aporten un salt de qualitat respecte models amb la mateixa finalitat.

Tot i que el projecte inicial plantejava construir l'UBEM d'Andorra la Vella i Escaldes-Engordany, l'estat actual del cadastre d'edificis de la capital impossibilita afrontar aquest objectiu amb garanties d'èxit. Per aquest motiu, pel moment, l'estudi s'ha centrat a la parròquia d'Escaldes-Engordany. Un cop la disponibilitat i qualitat de les dades ho permetin, la metodologia desenvolupada podrà ser aplicada a la resta de parròquies i ampliar així l'estudi a escala de país en cas de considerar-se oportú.

1.1 Els UBEMs. Context i metodologia

Basats en models de simulació físics de fluxos de calor i massa a l'interior i al voltant dels edificis, els UBEMs han estat proposats com una eina efectiva de simulació urbana capaç d'incorporar diferents conjunts de dades del parc edificat així com dels factors externs que l'afecten. Aquests són capaços de representar de forma precisa l'impacte del context urbà sobre la demanda energètica dels edificis, podent arribar a estimar els impactes de les noves tecnologies i/o d'hipotètiques polítiques implementades (Cerezo Davila et al., 2016). A més, aquests també permeten mapejar l'ecosistema energètic d'una ciutat amb l'objectiu de tenir un major coneixement dels perfils energètics actuals dels edificis que componen el parc edificat i abordar futurs potencials d'estalvi energètic i reduccions d'emissions de CO₂ mitjançant l'adaptació d'estratègies a escala urbana. Com a exemple, la Figura 1 mostra el consum d'energia en kWh/m² a escala

de planta simulat a partir de l'UBEM de la ciutat de Boston generat pel *Sustainable Design Lab* al Massachusetts Institute of Technology (MIT)¹.

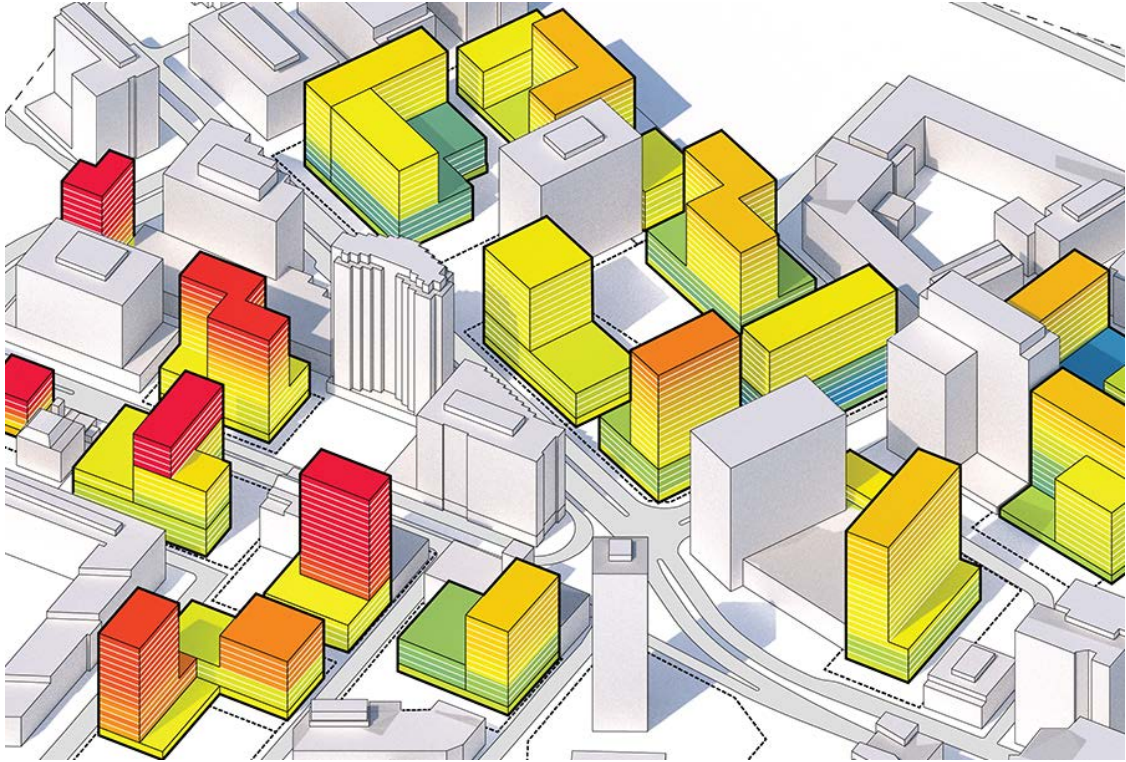


Figura 1. Exemple de l'UBEM de Boston. Font: <http://www.timurdogan.de/>

Cerezo Davila et al. (2016) descriu la metodologia general per a la generació d'UBEMs amb el cas d'estudi a la ciutat de Boston. Aquesta es basa en tres etapes principals:

1. Caracterització del model: El punt de partida en la construcció d'un UBEM consisteix en la recopilació i estructuració de tota la informació necessària per alimentar el model. Cal tenir en compte les dades meteorològiques, les dades generals i energètiques dels edificis així com la volumetria del parc edificat de la zona d'estudi. Davant la impossibilitat d'obtenir algunes dades específiques del parc edificat habitatge per habitatge, aquestes s'estimen mitjançant la metodologia *bottom-up* arquetip. Aquesta consisteix en fragmentar el parc edificat segons les seves característiques generals, obtenint grups d'edificis amb comportament energètic similar. De cada grup s'escull un edifici representatiu,

¹ Més informació a: <http://web.mit.edu/SustainableDesignLab/projects/BostonEnergyModel/>

anomenat l'arquetip, del qual s'obtenen les dades que posteriorment s'extrapolen a la resta del grup.

2. Implementació del model: Aquesta fase consisteix en la combinació de les dades generals i energètiques dels edificis amb la volumetria, creant la base de l'UBEM. Al ser un model urbà a escala d'edifici, es calculen les projeccions d'ombres dels edificis, i es realitzen les obertures de façana en formació de finestres, per tal de que els resultats siguin el més representatius possibles de la realitat energètica del parc edificat.
3. Simulació, anàlisi i validació: Finalment, l'últim pas consisteix en realitzar la simulació energètica del model complet, generalment realitzada amb EnergyPlus (DOE, 2018). Aquesta permet obtenir els resultats dels càlculs per cada edifici a diferents escales temporals (anual, mensual, diari i horari). Posteriorment els resultats obtinguts es validen amb dades reals de consums d'energia (p. ex., consum elèctric horari mesurat amb *smart metres*). En aquest punt el model ja està a punt per realitzar els diferents anàlisis (p. ex., polítiques d'estalvi, eficiència, introducció d'energies renovables, etc.).

1.2 Debilitats de l'enfocament existent

La utilitat d'un UBEM com a eina de suport al disseny de polítiques depèn, naturalment, de la fiabilitat dels resultats que proporcionen les simulacions.

En comparatives d'ús energètic mesurat versus simulat per UBEMs, en els resultats agregats anuals les inexactituds oscil·len entre el 7% i el 21% per a les càrregues de calefacció i entre 1 i 19% per al total d'ús d'energia. Aquests intervals d'error són acceptables per a decisions que afecten a múltiples edificis. No obstant, en validacions a escala d'edifici els errors en models urbans poden arribar al 99% (Reinhart and Cerezo Davila, 2016).

Segons la bibliografia actual (Kristensen et al., 2018; Sokol et al., 2017) l'origen de les diferències entre els resultats de la simulació dels UBEMs i la realitat energètica del parc edificat, es centra principalment a la fase de caracterització. Degut a que els UBEMs tenen com a objectiu generar i simular un model per un gran nombre d'edificis, caracteritzar-los un per un esdevé una tasca molt intensiva en recursos, sovint inacceptable. Per aquest motiu es recorre a la metodologia arquetip utilitzada per a fragmentar el parc en grups d'edificis amb característiques similars. Tradicionalment aquesta fragmentació es realitza mitjançant una matriu de doble entrada en la qual es divideix el parc edificat en funció de dos paràmetres: el tipus o ús de l'edifici i l'any de

construcció (veure Figura 2). El primer s'utilitza per a distingir entre els diferents patrons d'ocupació, mentre que el segon serveix com a substitut per a establir les propietats de construcció i sistemes. Aquesta fragmentació del parc edificat basada en el criteri d'expert, sense dades empíriques darrere que la recolzin, pot no representar l'àmplia varietat d'envoltants, sistemes i especialment comportament dels usuaris.

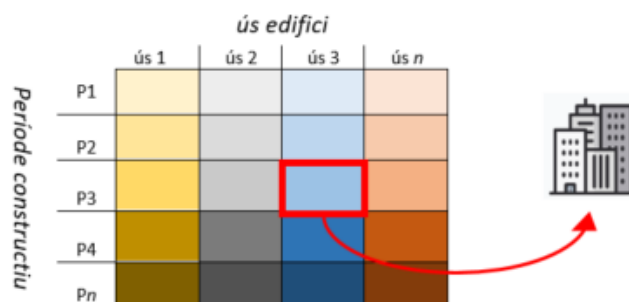


Figura 2. Metodologia tradicional per a la generació d'arquetips

En alguns estudis, com en el dut a terme a la parròquia d'Escaldes-Engordany, s'ha demostrat que les variacions dels consums energètics dins d'un mateix grup són sovint superiors a les diferències entre edificis de diferent grup (Guillaumet et al., 2018).

L'interès de la comunitat científica per reduir els errors dels resultats de les simulacions del parc d'edificis ha augmentat considerablement durant les darreres dècades i es centra en gran part en la caracterització dels arquetips (Cerezo et al., 2017, 2015; Sokol et al., 2017). Molts autors apunten a que l'accés a dades de consums energètics mesurades permetrien una fragmentació dels edificis en base a dades empíriques tot i que, malauradament, l'accés a aquestes acostuma a estar molt limitat degut a les estrictes polítiques de confidencialitat de les empreses distribuïdores.

Gràcies a les dades de consum d'energia elèctrica proporcionades per FEDA, en la fase de caracterització de l'UBEM d'Escaldes-Engordany s'ha aplicat una metodologia estadística en la definició dels arquetips, en detriment del clàssic mètode determinista. Així doncs, tot i que limitat a l'electricitat, el d'Escaldes és un dels primers UBEMs construïts amb dades reals d'ús d'energia.

1.3 Objectius de projecte

L'objectiu principal d'aquest projecte consisteix en modelitzar el sistema energètic de les poblacions d'Andorra la Vella i Escaldes-Engordany amb un alt nivell de resolució espacial i aportar així una eina de referència en la planificació energètica i urbanística d'ambdues parròquies.

La consecució de l'objectiu principal es preveu a partir de satisfer els següents objectius específics:

- 01.** Modelitzar els consums d'energia de la zona d'estudi amb un alt nivell de resolució espacial que permeti geolocalitzar-los i segregar-los en els diferents sectors d'activitat del país.
- 02.** Anàlisi del potencial fotovoltaic de les poblacions d'Andorra la Vella i Escaldes-Engordany a escala d'edifici.
- 03.** Construcció d'un UBEM (Urban Building Energy Model) de la zona d'estudi integrant la modelització de la demanda i les potencialitats de generació d'energia.
- 04.** Visualització de la modelització dels consums d'energia i del potencial de generació fotovoltaica sobre la maqueta del CityScope.
- 05.** Visualització sobre la maqueta del CityScope dels consums reals d'energia elèctrica dels edificis existents mitjançant dades provinents d'smart-meters.
- 06.** Estudiar el potencial de reducció d'energia i emissions a través de la introducció de mesures centrades en l'eficiència, l'estalvi i les energies renovables en els edificis modelitzats.
- 07.** Desenvolupar una metodologia que permeti projectar diferents tipus de capes d'informació geolocalitzada sobre el CityScope i així aconseguir que aquesta sigui una eina oberta a altres investigadors que realitzin recerca aplicada a Andorra.

1.4 Grups de recerca i actors participants

Observatori de la Sostenibilitat d'Andorra (OBSA)

L'OBSA és la institució d'investigació privada més important d'Andorra que treballa en els diferents camps de recerca de la sostenibilitat. En relació a aquest projecte, una de les línies de treball del grup és la modelització de sistemes energètics amb l'objectiu de desenvolupar eines per donar suport a l'avaluació de polítiques energètiques tenint

en consideració criteris de sostenibilitat. En aquest sentit, hem participat en l'elaboració del Llibre Blanc de l'Energia d'Andorra (Govern d'Andorra, 2012), col·laborem de forma activa des de l'any 2016 amb l'Oficina de l'Energia i el Canvi Climàtic d'Andorra i hem publicat diversos articles científics en l'àmbit de la modelització energètica (Calvet et al., 2016; Quintero-Araujo et al., 2016; Travesset-Baro, 2017; Travesset-Baro et al., 2017a, 2017b, 2016a, 2016b, 2016c, 2015).

L'equip de l'OBSA vinculat directament a aquest projecte ha estat:

- Dr. Marc Pons https://www.researchgate.net/profile/Marc_Pons2
- Patricia Borges https://www.researchgate.net/profile/Patricia_Borges11
- Oriol Travesset-Baro https://www.researchgate.net/profile/Oriol_Travesset-Baro
- Marc Vilella https://www.researchgate.net/profile/Marc_Vilella

Sustainability Measurement and Modeling Lab (SUMM Lab-UPC)

El SUMM Lab és un grup de recerca multidisciplinari (Grup de Recerca Reconegut per la Generalitat de Catalunya SGR 2014-2016, en modalitat de Grup de Recerca Emergent) especialitzat en mesurar i modelitzar les moltes facetes que engloba la ciència de la sostenibilitat. El Summ Lab va ser fundat el 2009 i les seves principals activitats s'organitzen al voltant de projectes d'investigació. Aquests projectes de recerca estan centrats principalment en el mesurament de la sostenibilitat i la modelització dels sistemes socials i ecològics a través d'eines d'econometria, dinàmica de sistemes, modelització basada en agents, xarxes complexes i sistemes d'informació geogràfica. El Dr. Martí Rosas-Casals és actualment el responsable d'aquest grup de recerca. L'equip del SUMM Lab vinculat directament a aquest projecte ha estat:

- Dr. Martí Rosas-Casals https://www.researchgate.net/profile/Marti_Rosas-Casals

Centre de Recerca Sociològica de l'Institut d'Estudis Andorrans (CRES-IEA)

El CRES és el Centre de Recerca Sociològica de l'Institut d'Estudis Andorrans. Va ser creat a mitjans de l'any 2000 amb la finalitat de realitzar estudis de qualitat que ajudin a entendre la complexitat de la societat andorrana. Els seus propòsits fonamentals són els de realitzar tasques de recerca, divulgació i centralització d'informació d'estudis provinents de qualsevol branca de les ciències socials.

L'equip del CRES-IEA vinculat directament a aquest projecte serà:

- Joan Micó Ibáñez

D'altra banda, aquest projecte ha comptat amb una xarxa de col·laboradors que han estat de gran utilitat principalment en l'adquisició de les dades necessàries per alimentar el model d'energia i en alguns casos també en el tractament i validació de resultats. A continuació es detallen breument els diferents col·laboradors del projecte:

- SUD Pirineus S.L., l'empresa sucursal de SUD Energies Renovables a Andorra i amb la que ja hem treballat en projectes anteriors. La seva expertesa en el camp de les energies renovables i concretament de l'energia solar fotovoltaica ha estat de gran utilitat, a més d'haver aportat dades de producció de les seves instal·lacions per utilitzar en les validacions del model.
- CENMA-IEA . El Centre d'Estudis de la Neu i la muntanya d'Andorra és un grup de recerca de l'Institut d'Estudis Andorrans expert, entre altres, en climatologia de muntanya. El seu suport ha estat de gran utilitat per a la construcció de l'arxiu climàtic que alimenta el model.
- Forces Elèctriques d'Andorra (FEDA) com a principal gestor de l'energia elèctrica del país disposa de moltes dades d'utilitat per alimentar el model especialment referents a consums d'energia elèctrica. El fet que FEDA sigui patró de l'OBSA i disposar d'un conveni específic per aquesta finalitat, ha facilitat l'accés a aquestes dades.
- Oficina de l'Energia i del Canvi Climàtic d'Andorra (OECC). L'OECC gestiona els ajuts a la producció d'energia fotovoltaica pel que disposa de dades històriques de produccions molt útils per poder realitzar validacions del model. D'altra banda disposa també d'informació sobre renovacions d'habitatges i certificacions de gran interès per la caracterització dels edificis i l'agent responsable de la planificació energètica nacional.
- Comú d'Escaldes-Engordany. Els comuns tenen un paper cabdal en l'elaboració i actualització dels cadastres, font clau per una bona caracterització del model. Les dades de cadastre facilitades pel Comú d'Escaldes-Engordany han estat essencials per tal de poder caracteritzar el model.
- Actuatech. Aquest projecte ha reforçat la col·laboració ja establerta amb la fundació Actuatech. La part més visual d'aquest projecte s'ha dut a terme en la maqueta propietat d'Actuatech i bona part de les activitats de difusió i sensibilització s'han realitzat a l'Espai d'Innovació d'Andorra creat per aquesta mateixa fundació.

2. ACTIVITATS DESENVOLUPADES

El desenvolupament del projecte s'ha basat en la realització de les activitats plantejades inicialment en el "Dossier d'avaluació - Ajuts de temàtica andorrana, any 2017". Tal com es presenta en la Taula 1, cada una de les activitats està encaminada a l'assoliment d'algun dels objectius específics del projecte.

| Activitat | | Objectiu | | | | | | |
|--|-----|----------|----|----|----|----|----|----|
| | | O1 | O2 | O3 | O4 | O5 | O6 | O7 |
| Recopilació i processat de les dades meteorològiques | A1 | | | | | | | |
| Implementació del SIG d'edificacions i el seu entorn | A2 | | | | | | | |
| Definició de tipologies d'edificis | A3 | | | | | | | |
| Implementació de l'UBEM de la zona d'estudi | A4 | | | | | | | |
| Simulació del model | A5 | | | | | | | |
| Validació del model | A6 | | | | | | | |
| Anàlisi energètics a partir de l'UBEM | A7 | | | | | | | |
| Validació del potencial fotovoltaic caracteritzat | A8 | | | | | | | |
| Visualització de l'UBEM en la maqueta 3D | A9 | | | | | | | |
| Visualització dels consums reals en la maqueta 3D | A10 | | | | | | | |
| Enquestes energètiques | B1 | | | | | | | |

Taula 1. Activitats realitzades durant el projecte i objectius que pretenen assolir

2.1 Recopilació i processat de les dades meteorològiques (A1)

En aquest estudi s'han utilitzat dades climàtiques principalment en dues línies de treball. D'una banda, en el càlcul dels graus-dia (GD) de calefacció de la parròquia d'Escaldes-Engordany (veure Secció 2.1.1) utilitzats en el procés d'identificació del combustible utilitzat en els edificis per calefacció (veure Secció 2.3.2). I d'altra banda, en la construcció d'un fitxer climàtic (*Typical Meteorological Year*) en format *.epw* (veure Secció 2.1.2) necessari per a la realització de les simulacions energètiques a escala horària.

Les dades utilitzades provenen de tres fonts: el Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra de l'Institut d'Estudis Andorrans (CENMA-IEA), el Servei Meteorològic Nacional d'Andorra i l'eina PVGIS 5 i les seves bases de dades associades. A continuació s'aporta major detall del tipus i fonts de dades climàtiques utilitzades així com dels principals resultats assolits.

2.1.1 Càlcul dels graus-dia de calefacció d'Escaldes-Engordany

Per al càlcul dels graus-dia de calefacció s'han utilitzat les dades de temperatura de l'estació fixa de l'Aparcament de Prat Gran, l'única situada al fons de vall i enmig del

nucli urbà d'Escaldes-Engordany. Les dades són a escala horària i estan disponibles a la web de la Unitat de Medi Atmosfèric² del Departament de Medi Ambient i Sostenibilitat. Malauradament, les dades de temperatura del període desitjat tenen buits d'informació, pel que s'ha hagut de realitzar un procés per completar i homogeneïtzar les dades.

Els anàlisis amb dades climàtiques requereixen de sèries temporals de dades meteorològiques contínues, homogènies i que abastin l'interval temporal desitjat. La majoria de les sèries existents presenten llacunes degudes a diferents causes com la interrupció de les lectures, errors dels instruments de mesura, errors de transcripció, etc. Per tal d'abordar aquesta problemàtica, des de fa uns anys s'han desenvolupat eines que permeten completar i homogeneïtzar dades climàtiques. Un d'ells és el paquet d'R *Climato*³. Aquest paquet conté funcions per al control de qualitat, homogeneïtzació y emplenat de dades mancants en un conjunt de dades de qualsevol variable climàtica amb l'ajut de dades d'estacions meteorològiques properes.

Pel cas de les dades de l'estació meteorològica de l'Aparcament de Prat Gran s'han utilitzat dades d'onze estacions meteorològiques properes (veure Figura 3) procedents del Servei Meteorològic Nacional⁴.



Figura 3. Estacions meteorològiques utilitzades en el paquet *Climato*

² www.aire.ad

³ Més informació: <https://cran.r-project.org/web/packages/climato/index.html>

⁴ <https://www.meteo.ad/estacions>

Un cop es disposa de la sèrie de l'estació meteorològica de l'Aparcament de prat Gran completada, s'ha procedit a calcular els graus-dia de calefacció en base 15 pel període 2014-2017, a través de l'Eq. 1:

$$GD_{calefacció} = T_{base}(15^{\circ}C) - T_{ext} \text{ si } T_{ext} < T_{base} \quad (\text{Eq. 1})$$

Per ser coherents amb les dades de consums elèctrics proporcionades per FEDA, s'han agregat els graus-dia a escala mensual per tal de tenir períodes de temps iguals. La Figura 4 mostra els graus-dia de calefacció calculats.

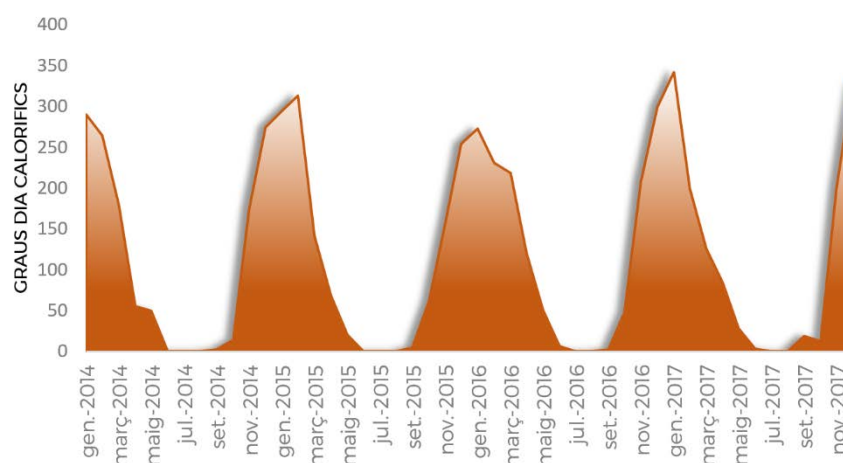


Figura 4. Graus-dia de calefacció en base 15 calculats a Escaldes-Engordany

2.1.2 Generació de fitxers climàtics d'Andorra

Per caracteritzar les condicions climàtiques de la zona d'estudi ha estat necessari recopilar i adaptar les principals dades meteorològiques existents. La majoria d'UBEMs treballen amb arxius climàtics anuals (p. ex. *TMY files*, *IWEC files*, etc.), els quals contenen dades horàries de variables influents en el consum d'energia com la irradiació solar, la temperatura de l'aire, la humitat relativa o la direcció del vent, entre altres. A diferència de la majoria de països, Andorra no disposa de cap arxiu climàtic oficial. Per aquest motiu, una de les tasques realitzades en aquest projecte ha estat construir l'arxiu climàtic d'Escaldes-Engordany el qual serà utilitzat en la posterior simulació.

Degut a la inexistència de dades mesurades suficients per tal de construir un arxiu climàtic, s'ha optat per construir-lo partint de dades de models meteorològics. S'ha generat un fitxer *.epw* (*EnergyPlus weather format*) mitjançant l'eina *TMY generator*⁵ de PVGIS 5 amb dades del període 2006-2015. Aquest representa, per a les 8760 hores de

⁵ Més informació: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#TMY

l'any, els valors de temperatura seca, temperatura del punt de rosada, humitat relativa, pressió atmosfèrica, radiació horitzontal global, radiació normal directa, radiació horitzontal difusa, radiació infrarroja, direcció del vent i velocitat del vent. PVGIS 5 obté la radiació solar de les bases de dades SARAH o NSRDB en funció de la localització, mentre que la resta de variables provenen del producte de reanàlisis *ECMWF ERA-Interim*⁶ en el qual s'hi apliquen mètodes de *downscaling* (Huld et al., 2017).

La temperatura seca del fitxer *.epw* generat amb PVGIS 5 ha estat corregida mitjançant les dades de l'Atlas Climàtic Digital d'Andorra (ACDA⁷). L'ACDA consta d'un conjunt de mapes climàtics amb una resolució espacial de 90 metres que descriuen el clima d'Andorra durant el trentenni 1981-2010 (Batalla et al., 2016). Per a cada mes s'ha aplicat una constant de correcció calculada a través de les temperatures mitjanes mensuals provinents del fitxer de PVGIS 5 i de l'ACDA.

Una aportació interessant d'aquest projecte és que el procés de correcció del fitxer *.epw* amb dades locals d'Andorra s'ha publicat al repositori EnergiAnd⁸ del GitHub de l'OBSA. D'aquesta manera, es posa a disposició pública un *script* que permet construir de forma ràpida i senzilla un fitxer climàtic en format *.epw* en qualsevol punt del territori andorrà.

La Figura 5 mostra les variables a escala horària del fitxer climàtic d'Escaldes-Engordany.

⁶ Més informació: <https://www.ecmwf.int/>

⁷ <http://opengis.uab.es/wms/ACDA/index.htm>

⁸ <https://github.com/obsa-and/energiand>

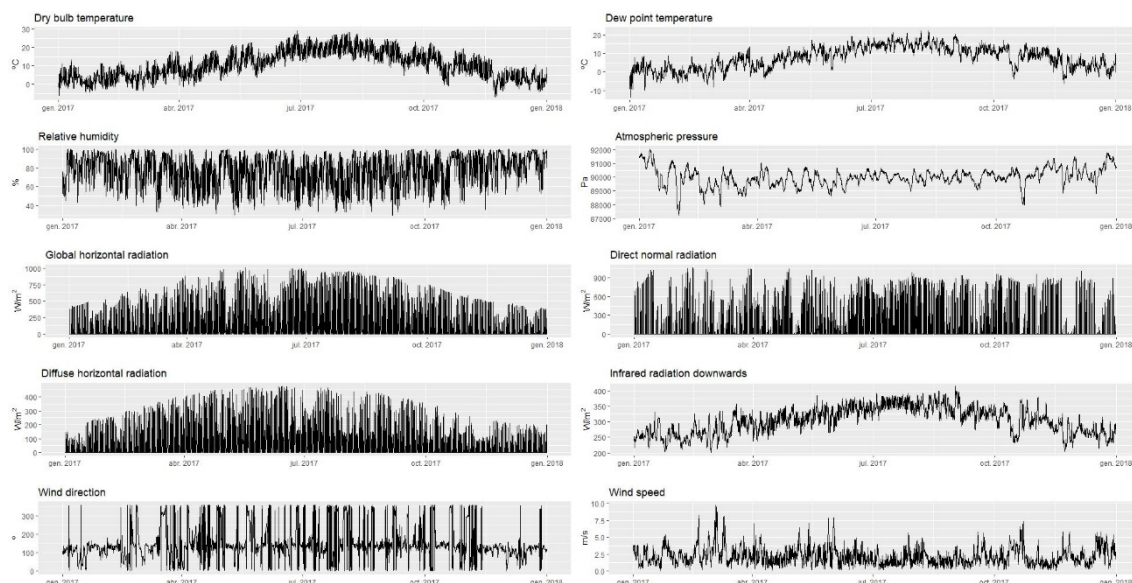


Figura 5. Principals variables del fitxer climàtic d'Escaldes-Engordany

2.2 Implementació del SIG d'edificacions i el seu entorn (A2)

La construcció d'un UBEM requereix d'un volum de dades significatiu. A banda de les dades climàtiques treballades en l'activitat anterior, aquestes es centren en detallar les característiques de les edificacions i el seu entorn. En aquesta fase, s'han incorporat també els consums d'energia coneguts dels edificis existents.

2.2.1 Base de dades d'edificis i consums elèctrics

La geometria en dos dimensions de les edificacions existents s'ha obtingut del cadastre proporcionat pel Departament d'Urbanisme del Comú d'Escaldes-Engordany. El cadastre d'Escaldes inclou també detalls sobre els edificis amb influència sobre el consum i els potencials de generació d'energia com l'any de construcció, els usos o el nombre de plantes així com altres dades d'interès com l'adreça, el nom de l'edifici o el nombre d'habitatges.

Les dades del cadastre s'han complementat amb informació sobre els tipus d'instal·lacions existents de calefacció proporcionada pel Departament de Medi Ambient i Sostenibilitat del Govern d'Andorra. Aquesta informació es recopila per finalitats de seguretat de les instal·lacions i inclou principalment el tipus de combustible utilitzat (fuel domèstic, electricitat o gas) i en alguns casos el tipus de sistema (p. ex., aerotèrmia). En el moment que se'ns va facilitar la informació (22/02/2019), es disposava de dades de gairebé el 40% dels edificis de la parròquia.

D'altra banda, des de FEDA, se'ns han proporcionat les dades de consum d'energia elèctrica mensual pel període 2014-2017. Aquestes provenen dels comptadors elèctrics dels clients de FEDA i, a banda del consum, inclouen informació sobre la localització, l'activitat econòmica associada, la tarifa o la potència contractada. És important assenyalar que aquesta informació no està vinculada a edificis sinó que únicament disposa de la geolocalització de l'escomesa associada a cada comptador.

Per a la realització dels diferents anàlisis i la implementació del model és imprescindible vincular els consums de cada comptador a l'edifici al que pertanyen. Aquesta ha estat una tasca molt costosa ja que s'ha hagut de realitzar de forma manual associant els diferents comptadors a cada edifici del cadastre (9.445 comptadors en 1.271 edificis). D'altra banda s'ha associat també la informació relativa al tipus de calefacció a les referències utilitzades en els edificis del cadastre (`id_comu`).

Tota la informació relativa a característiques dels edificis i a consums elèctrics s'ha estructurat en una base de dades SQLite (***EEbuildings.db***) juntament amb un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG) incloent la informació espacial.

Per tal de visualitzar tota la informació inclosa en la base de dades, així com els resultats dels anàlisis que es detallaran més endavant, s'han implementat diferents *dashboards* mitjançant l'eina de visualització de dades *Tableau*⁹. La Figura 6 mostra el *dashboard* per visualitzar les principals característiques i històric de consum elèctric dels edificis de la zona d'estudi, permetent tot tipus de filtratge (p. ex., per data, nom d'edifici, tipus, any de construcció).

⁹ Més informació a <https://www.tableau.com/>

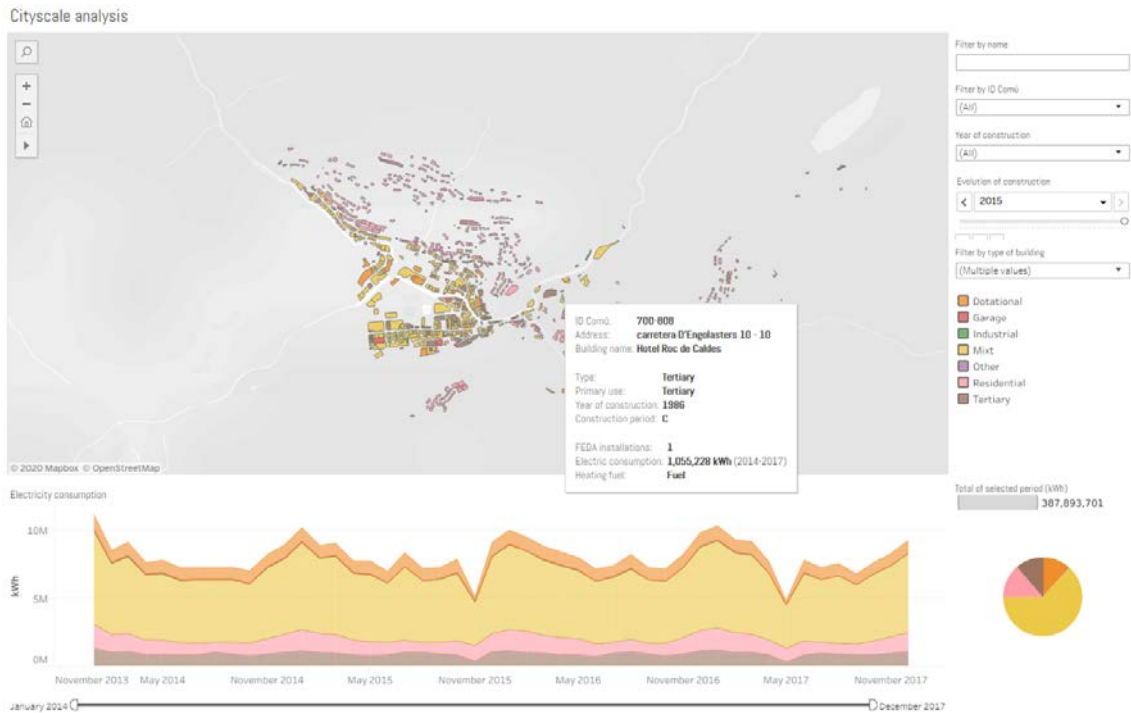


Figura 6. Dashboard de característiques i consum d'energia elèctrica dels edificis¹⁰

Segons les dades analitzades, durant el període 2014-2017, els edificis d'ús mixt representen el 63% de l'ús d'electricitat, seguit del residencial (14%), terciari (11%) i dotacional (11%). La Figura 7 mostra un *boxplot* amb la distribució dels consums agrupada per tipus d'edifici permetent observar les mitjanes de consums de cada grup així com les seves desviacions al llarg del temps.

¹⁰ L'accés a la visualització interactiva s'ha limitat a FEDA ja que conté informació sensible sobre consums d'energia elèctrica dels seus clients

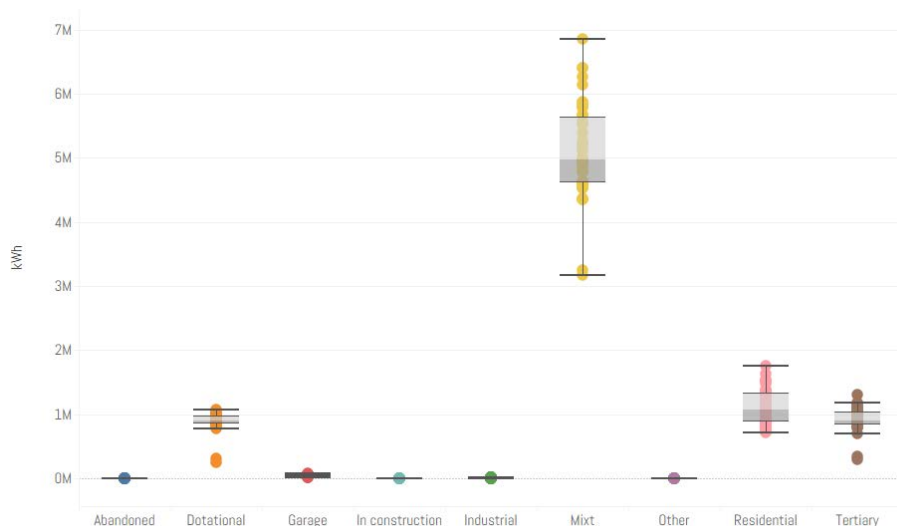


Figura 7. Distribució del consum d'energia elèctrica segons tipus d'edifici en el període 2014-2017 (inclou enllaç a la visualització)

Cal assenyalar que l'objectiu d'aquesta activitat no és fer un anàlisi descriptiu exhaustiu dels resultats sinó proporcionar les eines interactives que permetin als diferents actors d'interès (en aquest cas, FEDA i l'OECC) treure les seves pròpies conclusions i aplicar-ho en l'àmbit que es consideri oportú.

2.2.2 Generació de la volumetria del edificis

La representació de la volumetria dels edificis es pot realitzar en diferents nivells de detall (LoD, per les seves sigles en anglès). En un model 3D d'una ciutat, el LoD és una de les principals característiques a tenir en compte i determina la seva usabilitat i aplicacions que se'n podran derivar.

L'estàndard *CityGML*¹¹, centrat en la generació de models 3D de ciutats, defineix cinc LoDs (veure Figura 8).

LOD0 és una representació de les petjades dels edificis i, opcionalment, polígons de coberta que marquen la transició del 2D al 3D. **LOD1** és un model prismàtic generalment obtingut mitjançant l'extrusió d'un model LOD0. **LOD2** és un model amb una forma de teulada simplificada i on les parts de l'edifici es poden modelar en diverses classes semàntiques (p. ex., sostre, paret). **LOD3** és un model arquitectònicament detallat, bastant més complex que el seu precedent, incloent

¹¹ Més informació: <https://www.opengeospatial.org/standards/citygml>

finestres i portes. Per últim, **LOD4** parteix del LOD3 i inclou funcions interiors dels edificis (Biljecki et al., 2016).



Figura 8. LoDs considerats en l'estàndard *CityGML* 2.0. Font: Biljecki et al. (2016)

En aquest estudi s'ha implementat el primer model realitzat a Andorra amb un nivell de detall LOD2. La metodologia utilitzada es basa en l'extrusió dels edificis mitjançant dades LiDAR (*Light Detection and Ranging*) del vol realitzat a Andorra¹² l'octubre de l'any 2018.

El procés s'ha realitzat amb el *software* ArcGis Pro combinant les dades LiDAR i les geometries 2D dels edificis proporcionades pel cadastre d'Escaldes-Engordany. La Figura 9 mostra una captura de les geometries i les dades LiDAR utilitzades. En el següent [enllaç](#)¹³ es detalla pas a pas la metodologia desenvolupada.

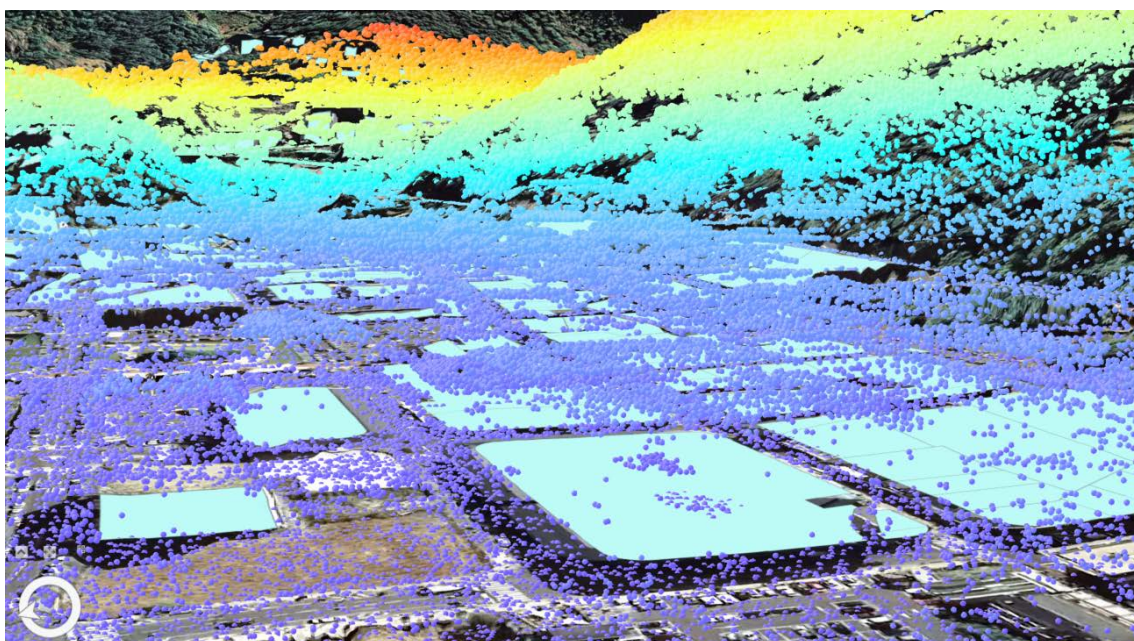


Figura 9. Dades LiDAR i geometries utilitzades en la generació del model 3D

¹² Més informació: <https://www.cartografia.ad/dades-lidar>

¹³ <https://solutions.arcgis.com/local-government/help/local-government-scenes/get-started/roof-form-extraction/>

El pas a un model LOD2, més enllà de la millora visual, permet realitzar certs tipus d'anàlisi amb major precisió. És el cas dels anàlisis d'ombres i els anàlisis de radiació solar en cobertes o façanes d'edificis.

Gràcies a les dades LiDAR proporcionades de forma pública des de finals de l'any 2018 per l'Àrea de Cartografia del Govern d'Andorra, ha estat possible la generació d'un model 3D dels edificis amb un nivell de detall LOD2 (veure Figura 10).

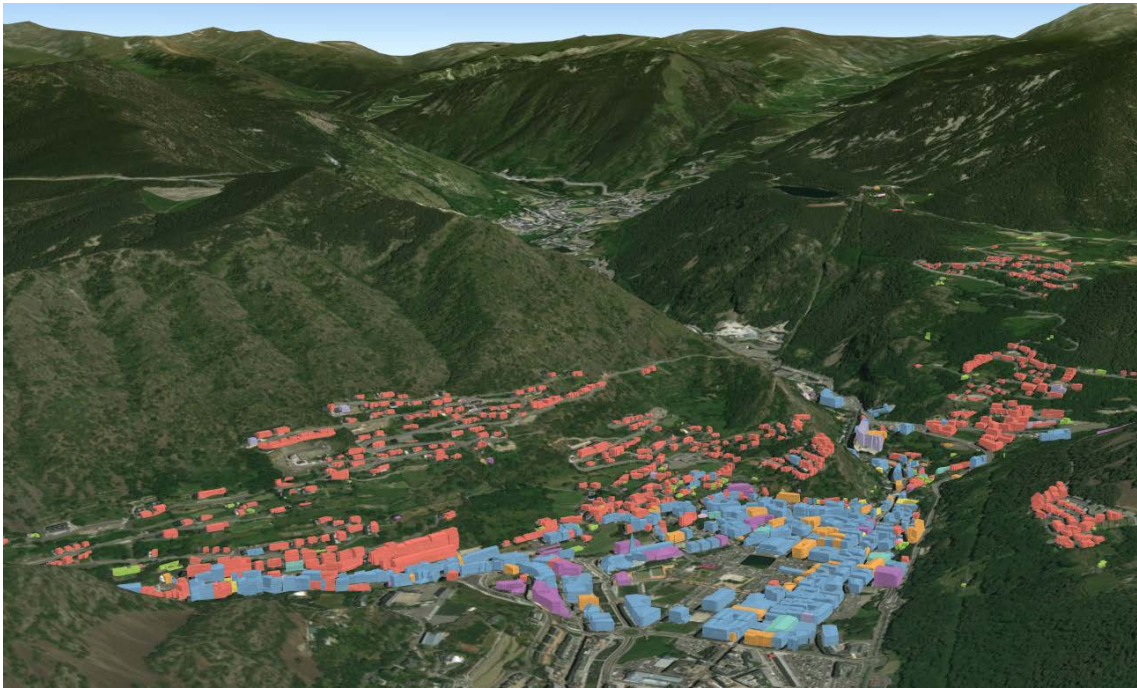


Figura 10. Model 3D (LOD2) dels edificis d'Escaldes-Engordany (inclou enllaç a la visualització)

Tal com es pot observar en la Figura 11, el nivell de detall LoD2, més enllà de la millora visual, permet la realització d'anàlisis d'ombres i de radiació solar en cobertes o façanes d'edificis amb major precisió que els mètodes tradicionals sovint calculats sobre cobertes planes.

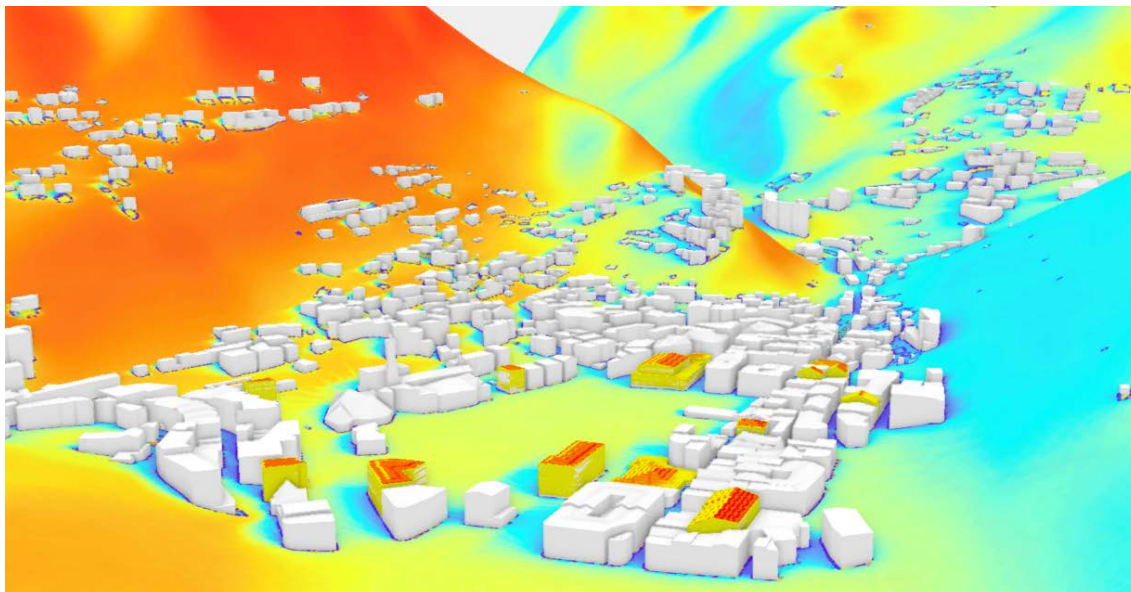


Figura 11. Anàlisi de radiació solar realitzat amb el model LoD2 d'Escaldes-Engordany

Des de l'OBSA, l'anàlisi del potencial solar en cobertes d'edificis s'ha treballat en estudis previs¹⁴ (Travesset-Baro et al., 2017). En l'estudi citat s'utilitzaven també dades LiDAR però, en aquest cas, per construir un model digital d'elevacions (MDE) d'alta resolució (tamany de cel·la 1 m). Aquest fet obligava a treballar amb ràsters molt pesats per tal d'obtenir resultats acurats, implicant temps de simulació molt importants i havent de limitar les zones d'estudi. La nova metodologia presentada en el present estudi permet l'obtenció de resultats més acurats i fa possible l'extensió dels anàlisis a altres zones del país amb una major optimització dels recursos.

2.3 Definició de tipologies d'edificis (A3)

Tal com s'ha presentat en la secció anterior, la recopilació, processat i estructuració de les dades provinents del Departament d'Urbanisme del Comú d'Escaldes-Engordany, del Departament de Medi Ambient i Sostenibilitat del Govern d'Andorra i de FEDA ha permès disposar d'un molt bon punt de partida per a la implementació de l'UBEM d'Escaldes-Engordany. Tot i la qualitat de la informació disponible, en la construcció d'un UBEM sempre hi ha característiques específiques que es desconeixen com els sistemes constructius dels diferents edificis, els seus equipaments tècnics o els hàbits de consum dels habitants.

¹⁴ Més informació sobre el projecte: <http://obsa.ad/solar>

Per completar la caracterització energètica de l'UBEM d'Escaldes-Engordany s'ha treballat en dos fases detallades a continuació. Aquestes han permès identificar les tipologies d'edificis¹⁵ a utilitzar en la construcció de l'UBEM.

2.3.1 Caracterització dels aspectes arquitectònics

Per a l'obtenció de les dades dels materials de construcció i façanes s'ha utilitzat com a referència l'informe "Quantificació del potencial d'eficiència energètica en el sector de l'edificació a Andorra" (COAA and SaAS, 2012). L'objectiu principal d'aquest estudi era analitzar l'estructura de consums energètics vinculats al sector de l'edificació, analitzar com i on es produeixen les principals despeses energètiques i proposar estratègies raonables per aconseguir la seva reducció.

L'informe citat es basa en el coneixement local i l'experiència dels arquitectes del país i inclou una caracterització exhaustiva del parc construït on es defineixen diferents períodes constructius segons les característiques arquitectòniques dels edificis. Aquesta dada està directament vinculada a l'any de construcció dels edificis, les normatives vigents, les tecnologies existents en el mercat i als models constructius imperants (COAA and SaAS, 2012). Les característiques arquitectòniques, tot i que en algunes ocasions poden ser diferents en un mateix edifici (p. ex., edificis amb habitatges de compra en els que un dels propietaris realitza canvis en l'aïllament del seu habitatge, substitueix finestres, etc.), de manera general solen ser actuacions que afecten a la totalitat de l'edifici. Per aquest motiu, aquesta dada s'ha inclòs en el model a escala d'edifici segons l'any de construcció proporcionat pel cadastre.

L'informe contempla quatre períodes constructius:

- Període A. Edificis anteriors a 1955
- Període B. Edificis entre 1955 i 1980
- Període C. Edificis entre 1981 i 1995
- Període D. Edificis entre 1996 i 2010

A banda dels períodes constructius definits en l'informe de COAA and SaAS (2012), en el model d'Escaldes-Engordany s'ha afegit el *Període E* que correspon al edificis construïts després de 2010 i que han de seguir les directrius del Reglament Energètic de l'Edificació (Govern d'Andorra, 2010). També existeixen en alguns casos petites

¹⁵ Conegudes habitualment en la literatura com arquetips

variacions no suficientment importants com per constituir un període constructiu, però amb afectació a valors com la transmitància de l'envoltant i per tant, al comportament energètic de l'edifici. Per aquest motiu, i per a que el model sigui el més representatiu possible de la realitat energètica del parc edificat, s'han definit dos subperíodes constructius en el Període B. D'aquesta manera, els períodes i subperíodes constructius que s'han tingut en compte en el present estudi són:

- **Període A.** Edificis anteriors a 1955
- **Període B.** Edificis entre 1955 i 1980
 - **Subperíode B.1.** Edificis abans de la dècada dels 70
 - **Subperíode B.2.** Edificis després de la dècada dels 70
- **Període C.** Edificis entre 1981 i 1995
- **Període D.** Edificis entre 1996 i 2010
- **Període E.** Edificis posteriors a 2010

2.3.2 Caracterització dels sistemes i patrons de comportament

La caracterització dels sistemes i els patrons de comportament s'ha treballat en dos grans línies. D'una banda, estimacions de tipus de combustibles utilitzats i edificis de comportament similar a través d'anàlisis estadístics (anàlisi de discriminant i anàlisi de clúster, respectivament) i de l'altra, a través d'enquestes a edificis específics (Secció 2.11 - B1).

A Escaldes-Engordany, així com en la resta del país, hi ha una part important d'edificis d'ús "mixt". És a dir, edificis que tenen dos o més usos, com en el cas dels edificis residencials amb locals en planta baixa. Per aquest motiu, la caracterització dels sistemes i patrons de comportament s'ha realitzat a escala de planta, enlloc d'escala d'edifici com en el cas dels sistemes constructius.

2.3.2.1 Identificació del combustible utilitzat per calefacció

Les dades relatives al consum energètic dels edificis facilitades per FEDA són dades únicament d'ús d'energia elèctrica. En alguns edificis aquestes dades representen el 100% del consum energètic però en altres, representen únicament una petita part. Aquesta part varia principalment en funció del sistema de calefacció utilitzat i concretament del combustible. Segons les enquestes de pressupostos familiars realitzades pel Departament d'Estadística del Govern d'Andorra, la font d'energia més

utilitzada per a la calefacció és el fuel domèstic o gasoil (85% dels edificis), tot i que recentment s'aprecia una tendència cap a la instal·lació de més sistemes elèctrics.

De forma general, identifiquem tres tipologies d'edificis en funció del combustible utilitzat en els diferents usos (veure Figura 12):

1. Edificis 100% elèctrics (calefacció, aigua calenta sanitària, il·luminació i electrodomèstics).
2. Edificis amb caldera de gasoil exclusivament per a la calefacció.
3. Edificis que utilitzen gasoil tant per a calefacció com per aigua calenta sanitària.

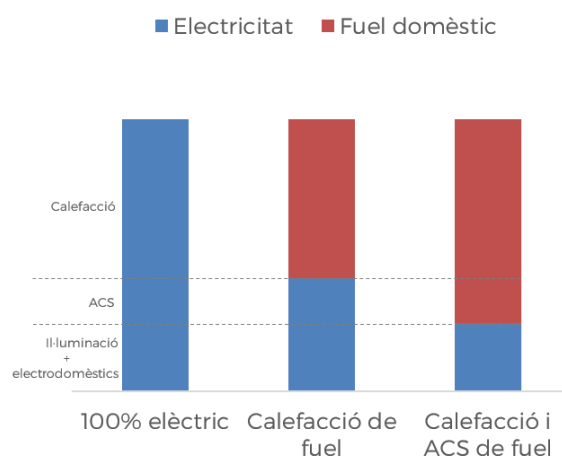


Figura 12. Tipologies generals d'edificis segons el combustible utilitzat (la repartició dels consums energètics associats a cada ús és orientativa)

Al fragmentar el parc edificat segons els seus consums elèctrics és important distingir entre aquestes tres tipologies d'edificis o, com a mínim, diferenciar entre els edificis que tenen calefacció elèctrica dels que tenen calefacció amb fuel domèstic. Cal assenyalar que en països com Andorra la calefacció representa la major part del consum energètic d'un edifici.

Amb l'objectiu de diferenciar entre els edificis 100% elèctrics i els edificis amb dipòsit de gasoil, inicialment s'han correlacionat les dades de consum elèctric amb els graus dia de calefacció. Segons la hipòtesi inicial, els edificis amb calefacció elèctrica haurien de presentar bones correlacions amb el graus-dia. En canvi, els edificis amb sistemes de calefacció de gasoil haurien de tenir uns consums elèctrics més estables al llarg de l'any i menys correlació amb els graus-dia de calefacció.

Els graus-dia s'utilitzen habitualment per avaluar la càrrega de calefacció o refrigeració que cal aportar a un habitatge. Representen la diferència entre una temperatura fixa anomenada temperatura base o de confort i la temperatura mitjana per un dia

determinat. Es poden calcular per a diferents períodes de temps (setmana, mes, any, etc.) i per estudiar càrregues de calefacció o de refrigeració. Tal com mostra la Figura 13, quan la temperatura de confort està per sobre de la temperatura mitjana, els graus que cal aportar per arribar al confort es coneixen com graus-dia de calefacció. Per contra, quan la temperatura de confort està per sota es parla de graus-dia de refrigeració.

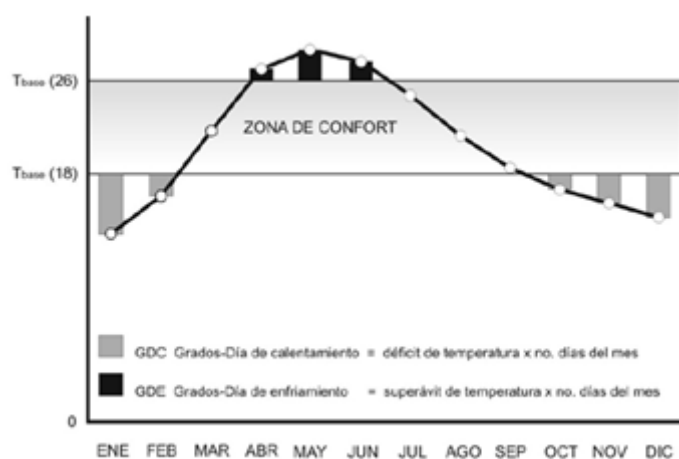


Figura 13. Esquema explicatiu dels graus-dia de calefacció i refrigeració¹⁶

Tal com s'ha presentat en la Secció 2.1.1, en aquest projecte s'han calculat els graus-dia de calefacció d'Escaldes-Engordany els quals s'han correlacionat amb els consums elèctrics mensuals dels diferents habitatges.

Correlació graus-dia de calefacció i consums elèctrics

La correlació entre el consum elèctric mesurat i els graus-dia es pot calcular de diferents maneres segons els períodes que cobreixen les dades de consums energètics disponibles¹⁷.

Per al cas de la parròquia d'Escaldes-Engordany, les dades proporcionades per FEDA són a escala mensual, per tant, no són períodes idèntics ja que el nombre de dies en un mes és variable. Per a calcular les correlacions s'ha fet servir el mètode recomanat per l'ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) que, com mostra l'Eq. 2, consisteix en una normalització de les dades ponderades per dia (ASHRAE, 2009). Seguint aquesta metodologia, les dades de consum i els graus-dia de calefacció s'han dividit pel nombre de dies que formen cada mes i s'ha ponderat en funció de la llargada del mes.

¹⁶ <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/uso-concepto-grados-dia-degree-days/>

¹⁷ Més informació a: <https://www.degree-days.net/regression-analysis>

$$y = A \cdot x / \frac{x}{31} \quad (\text{Eq. 2})$$

on:

A és la dada a normalitzar

x és el numero de dies del mes en qüestió

Per tal de verificar la hipòtesi que els edificis amb bones correlacions graus-dia de calefacció i consums d'energia elèctrica són edificis 100% elèctrics, s'han comparat els resultats obtinguts de les correlacions amb les dades de les inspeccions de calderes facilitades pel Ministeri de Medi Ambient i Sostenibilitat (veure Secció 2.2.1). Dels edificis ja inspeccionats es detecta que tot i que alguns comptadors elèctrics presenten bones correlacions amb els graus-dia de calefacció, aquests disposen de caldera de gasoil, i a la inversa, tot i tenir correlacions baixes, aquests són 100% elèctrics. Fins i tot, en un mateix edifici s'han detectat habitatges amb correlacions elevades i habitatges amb correlacions molt baixes. Aquest fet probablement pot explicar-se per la presència considerable d'habitatges de segona residència. A més de la problemàtica dels habitatges de segona residència, cal remarcar també l'arbitrarietat d'aquesta metodologia ja que s'ha de determinar un punt de tall (valor de R^2 en la correlació) a partir del qual es considera un edifici 100% elèctric.

Tenint en compte aquests resultats, per tal de determinar el tipus de font energètica per a calefacció dels edificis que encara no han estat inspeccionats pel Ministeri de Medi Ambient i Sostenibilitat, s'ha realitzat un Anàlisi de Discriminant Lineal (LDA, per les seves sigles en anglès) basat en dades empíriques.

Anàlisi de discriminant lineal

Un LDA¹⁸ és un mètode de classificació supervisat de variables qualitatives en el qual dos o més grups són coneguts a priori, i que permet classificar noves observacions en un dels grups, anomenats classes, en funció de les seves característiques, anomenades variables predictores. Fent ús del Teorema de Bayes (Eq. 3), el LDA estima la probabilitat (P) que una observació, donat un determinat valor de les variables predictores (X), pertanyi a cadascun dels grups determinats per la variable qualitativa (Y). Finalment s'assigna l'observació a la classe k per a la qual la probabilitat ha estat la més elevada.

$$P(Y = k | X = x) \quad (\text{Eq. 3})$$

El procés del LDA es pot resumir en cinc fases:

¹⁸ Més informació a: https://rpubs.com/Joaquin_AR/233932

1. Disposar d'un conjunt de dades d'entrenament (*training data*) del qual es coneix a quin grup pertany cada observació.
2. Calcular les probabilitats prèvies (*prior probabilities*), és a dir, la proporció esperada d'observacions que pertanyen a cada grup.
3. Calcular el resultat de la funció discriminant que determinarà a quin grup s'assigna cada observació.
4. Utilitzar la validació creuada (*cross-validation*) per estimar les probabilitats de classificacions errònies.
5. Calcular les probabilitats posteriors (*posterior probabilities*) de les dades de les quals desconexim a quin grup pertanyen (*test data*).

Per al cas d'Escaldes-Engordany, les classes són **fuel domèstic** (quan l'edifici disposa de caldera de gasoil) i **electricitat** (quan l'edifici no disposa de caldera de gasoil). Com a variables predictores s'ha utilitzat l'any de construcció de l'edifici, les correlacions dels consums elèctrics i els graus-dia de calefacció calculades prèviament, els consums elèctrics mitjans anuals per a cada comptador i els consums elèctrics mitjans anuals per a cada comptador normalitzats per la superfície. Cal puntualitzar que, prèviament a aplicar l'anàlisi de discriminant, s'ha dividit en grups els comptadors elèctrics en base a l'ús d'aquests, ja que el consum és molt diferent per un comptador d'ús residencial o d'ús comercial. Cal assenyalar que s'han classificat únicament els comptadors d'ús residencial ja que són els que presenten les majors dissimilituds segons si l'edifici és 100% elèctric o no, a més de ser el grup que compta amb el major nombre d'edificis.

Segons la literatura consultada, aquest tipus d'anàlisi no s'ha realitzat prèviament amb dades de consums elèctrics, motiu pel qual en aquest estudi s'han plantejat hipòtesis amb diferents combinacions de variables predictores, així com diferents escales tant d'agregació de dades de consum elèctric (totals per edifici, totals per edifici per ús, comptadors individualment, etc.), com d'escales temporals (consums anuals, consums mesos d'hivern, etc.).

De les diferents hipòtesis plantejades, la predicció del tipus d'energia utilitzada per a calefacció que s'ajusta més a la mostra de dades d'inspeccions de calderes proporcionades pel Ministeri de Medi Ambient i Sostenibilitat és la que utilitza com a variables predictores la correlació dels graus-dia de calefacció amb el consum elèctric i el consum elèctric mitjà anual durant els mesos d'hivern (desembre, gener i febrer). En el cas dels edificis plurifamiliars amb més d'un comptador, s'ha calculat la mitjana d'aquestes dues variables per tal de tenir un valor representatiu de cada edifici. Els resultats obtinguts s'han comparat amb les dades conegudes d'inspeccions de calderes i mostren que s'han classificat correctament el 96% dels edificis presents en la base de

dades del Ministeri de Medi Ambient i Sostenibilitat (veure Taula 2). Cal assenyalar que tot i classificar correctament un percentatge molt elevat del parc edificat, el valor en els edificis amb calefacció elèctrica baixa al 60%, mentre que dels que disposen de dipòsit de gasoil se'n classifiquen correctament el 99%.

| Predit \ Real | Electricitat | Fuel | Gas |
|---------------|--------------|------|-----|
| Electricitat | 12 | 5 | 1 |
| Fuel | 9 | 360 | 0 |
| Gas | 0 | 0 | 0 |

Taula 2. Validació dels resultats de l'anàlisi de discriminant lineal

Un cop s'han determinat les millors variables predictorres, així com el valor que determina a quina classe pertanyen les observacions conegudes a priori (dades d'entrenament), es calculen les probabilitats dels comptadors dels quals es desconeix la classe.

Per realitzar l'anàlisi de discriminants s'ha utilitzat la llibreria *MASS*¹⁹ de R. En el parc edificat d'Escaldes-Engordany s'han identificat 70 edificis (9%) elèctrics i 708 edificis (91%) amb caldera de gasoil. Els resultats de l'anàlisi de discriminant estan en consonància amb els resultats més recents de l'enquesta de pressupostos familiars que realitza el Departament d'Estadística del Govern d'Andorra en que estableix que l'11% de les llars enquestades al país són 100% elèctriques.

El *dashboard* de la Figura 14 presenta els principals resultats de l'anàlisi de discriminant lineal destinat a identificar el combustible utilitzat per calefacció en els diferents edificis de la parròquia d'Escaldes-Engordany. En color vermell es representen els edificis que utilitzen fuel domèstic i en blau els elèctrics. Els colors foscos representen els edificis en que es coneix amb dades reals el combustible utilitzat per a la calefacció i en clar els estimats mitjançant l'anàlisi de discriminant. En gris es representen els edificis que no disposen de calefacció o en els que no s'ha pogut determinar a través de l'anàlisi estadístic.

¹⁹ Més informació a: <https://cran.r-project.org/web/packages/MASS/MASS.pdf>

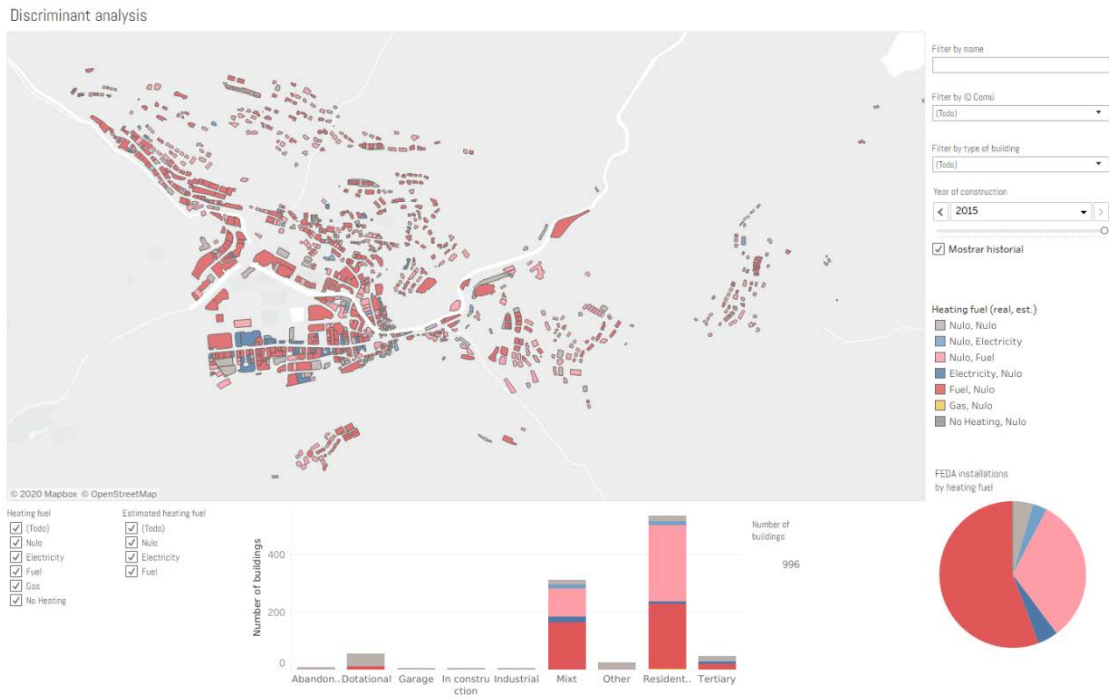


Figura 14. *Dashboard* presentant els resultats de l'anàlisi de discriminant lineal (inclou visualització)

2.3.2.2 Anàlisi de clúster

El *clustering*, també conegut com a anàlisi de clúster o conglomerats, és el nom genèric d'una àmplia varietat de tècniques de *machine learning* no supervisades utilitzades per a classificar els elements d'un conjunt de dades en grups. Més concretament, aquestes són tècniques d'estadística multivariant de classificació automàtica de dades que busquen ordenar i agrupar elements, tractant d'aconseguir la màxima homogeneïtat entre els membres d'un mateix grup i la major heterogeneïtat entre els membres de diferent grup. La principal diferència amb l'anàlisi de discriminant utilitzat prèviament és que en aquest últim es coneix, a priori, el número de grups a obtenir independentment de les dades, mentre que el clúster defineix els grups en funció de les pròpies dades. L'anàlisi de clúster permet descobrir associacions i estructures, a priori, poc evidents però que poden ser útils una vegada han estat detectades.

Les diferents tècniques existents per a l'anàlisi de clúster es poden dividir en dos grans grups: els jeràrquics i els no jeràrquics (veure Figura 15).

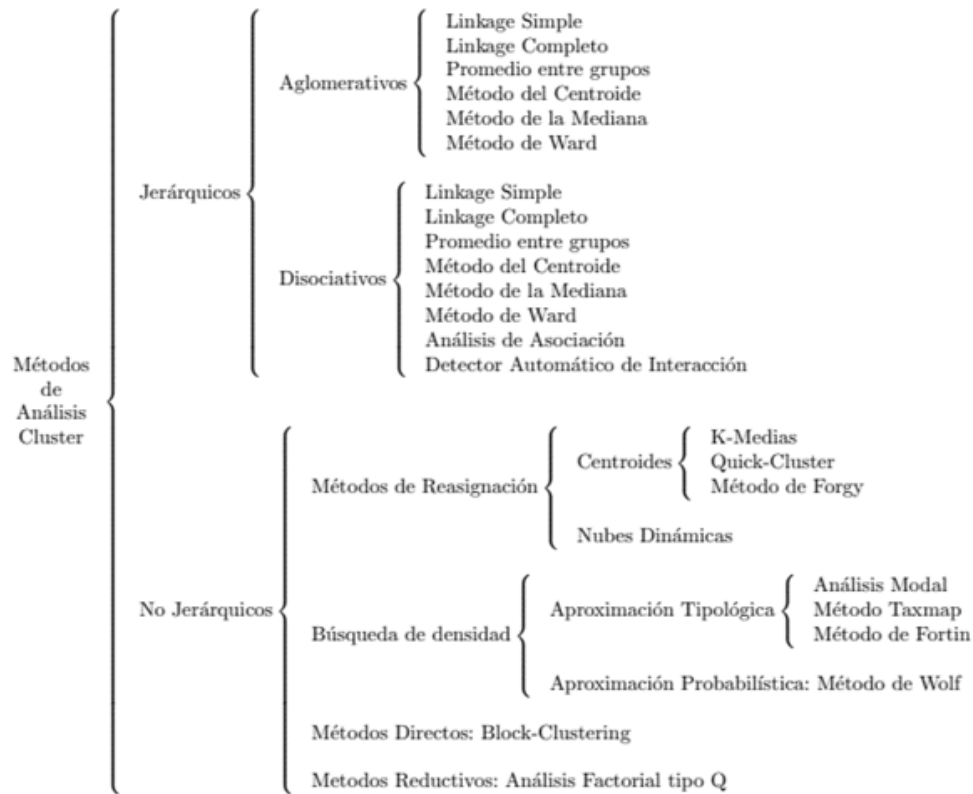


Figura 15. Tècniques existents per l'anàlisi de clústers. Font: Díaz (2014)

Es denominen clústers jeràrquics als clústers que configuren grups amb una estructura arborescent, de forma que els clústers de nivells més baixos s'engloben en altres clústers de nivells superiors. Els grups es van generant en cadascuna de les fases del procés buscant el nombre de clústers per a obtenir una agrupació òptima. Es coneixen com a clústers no jeràrquics aquells que assignen els grups diferenciats que el propi anàlisi configura, sense que uns depenguin dels altres. Val a dir que, els clústers jeràrquics són capaços de fixar per si sols el nombre de clústers òptim, mentre que pels no jeràrquics, el número de particions s'ha de fixar prèviament.

Recentment, s'han realitzat estudis basats en l'anàlisi de clúster en el sector de l'edificació per a identificar patrons de comportament similars amb dades de consums d'energia. El cas d'Escaldes-Engordany és el primer en que s'utilitza l'anàlisi de clúster per identificar els arquetips en un UBEM. Aquest s'ha realitzat amb les dades del consum elèctric dels edificis en el període gener 2014 - desembre 2017. Prèviament a l'aplicació del clúster, s'ha dividit el parc edificat en grups segons l'ús dels edificis. La classificació dels edificis segons els usos juga un paper crucial en la modelització energètica ja que la caracterització energètica varia significativament segons l'ús que

tingui cada edifici. Aquesta caracterització s'ha realitzat a escala de planta degut a l'existència d'edificis amb més d'un ús. Degut a això, és possible que un mateix edifici estigui en més d'un arquetip. En el cas d'Escaldes-Engordany, de 882 edificis inclosos en l'anàlisi de clúster, 276 tenen més d'un ús. Cal puntualitzar que la caracterització a escala de planta es fa únicament per a separar els usos en els edificis de tipus "mixt". És a dir, per un mateix ús es caracteritza de la mateixa manera totes les plantes de l'edifici. En els casos en els quals hi ha més d'un ús en una planta, serà l'ús predominant el que s'utilitzarà per a caracteritzar la planta en qüestió. Per a l'anàlisi de clúster, s'ha calculat el consum mig per ús i per edifici obtenint d'aquesta manera una sola dada per edifici. La Taula 3 presenta el nombre de comptadors així com d'edificis en funció del seu ús.

| Ús | | | Nº edificis | Nº comptadors |
|--------------|----------------------|----------------------|-------------|---------------|
| Residencial | <i>Fuel domèstic</i> | <i>Plurifamiliar</i> | 435 | 5764 |
| | | <i>Unifamiliar</i> | 271 | 278 |
| | <i>Electricitat</i> | <i>Plurifamiliar</i> | 54 | 479 |
| | | <i>Unifamiliar</i> | 17 | 18 |
| Comercial | | | 210 | 458 |
| Oficines | | | 104 | 328 |
| Recreacional | | | 84 | 109 |
| Hotel | | | 40 | 63 |
| Dotacional | | | 24 | 49 |
| Industrial | | | 21 | 48 |

Taula 3. Distribució dels edificis d'Escaldes-Engordany segons ús

Un cop feta la primera fragmentació segons l'ús, s'ha realitzat un anàlisi de clúster a cadascun dels grups per separat mitjançant el mètode de *Ward* (Ward, 1963). L'article publicat per Guillaumet et al. (2018) presenta amb detall la metodologia desenvolupada a Andorra i la compara amb els mètodes determinístics clàssics.

Tal com s'ha mencionat anteriorment, l'objectiu de l'anàlisi de clúster és el d'aconseguir la màxima homogeneïtat entre els membres d'un mateix grup i la major heterogeneïtat entre els membres de diferent grup. Per fer-ho s'ha utilitzat la llibreria *cluster*²⁰ de R. Així doncs, després de determinar el nombre òptim de clústers per a cadascun dels usos, s'ha aplicat el mètode jeràrquic de Ward per tal de determinar els clústers. A més, s'han dibuixat els dendrogrames de cadascun dels grups per disposar d'una representació visual del procés d'agrupació. La Figura 16 presenta el dendrograma dels edificis d'ús residencial elèctrics plurifamiliars del parc edificat d'Escaldes-Engordany.

²⁰ Més informació a: <https://cran.r-project.org/web/packages/cluster/cluster.pdf>

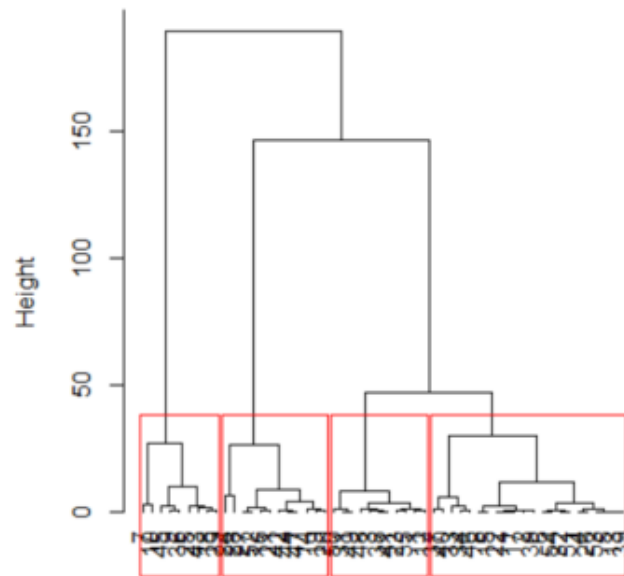


Figura 16. Dendrograma dels edificis d'ús residencial elèctrics plurifamiliars

Tenint en compte tot el parc edificat, s'han obtingut 33 clústers. La Taula 4 presenta el nombre de clústers obtinguts per a cadascun dels usos.

| Ús | Clústers |
|---------------------|---|
| Residencial | <i>Fuel domèstic</i> <i>Plurifamiliar</i> 4 |
| | <i>Unifamiliar</i> 3 |
| | <i>Electricitat</i> <i>Plurifamiliar</i> 4 |
| | <i>Unifamiliar</i> 3 |
| Comercial | 4 |
| Oficines | 4 |
| Recreacional | 3 |
| Hotel | 2 |
| Dotacional | 4 |
| Industrial | 2 |

Taula 4. Nombre de clústers del parc edificat d'Escaldes-Engordany segons l'ús

En el *dashboard* de la Figura 17 es presenten els principals resultats de l'anàlisi de clúster destinat a identificar els arquetips que s'utilitzaran per la construcció de l'UBEM d'Escaldes-Engordany.

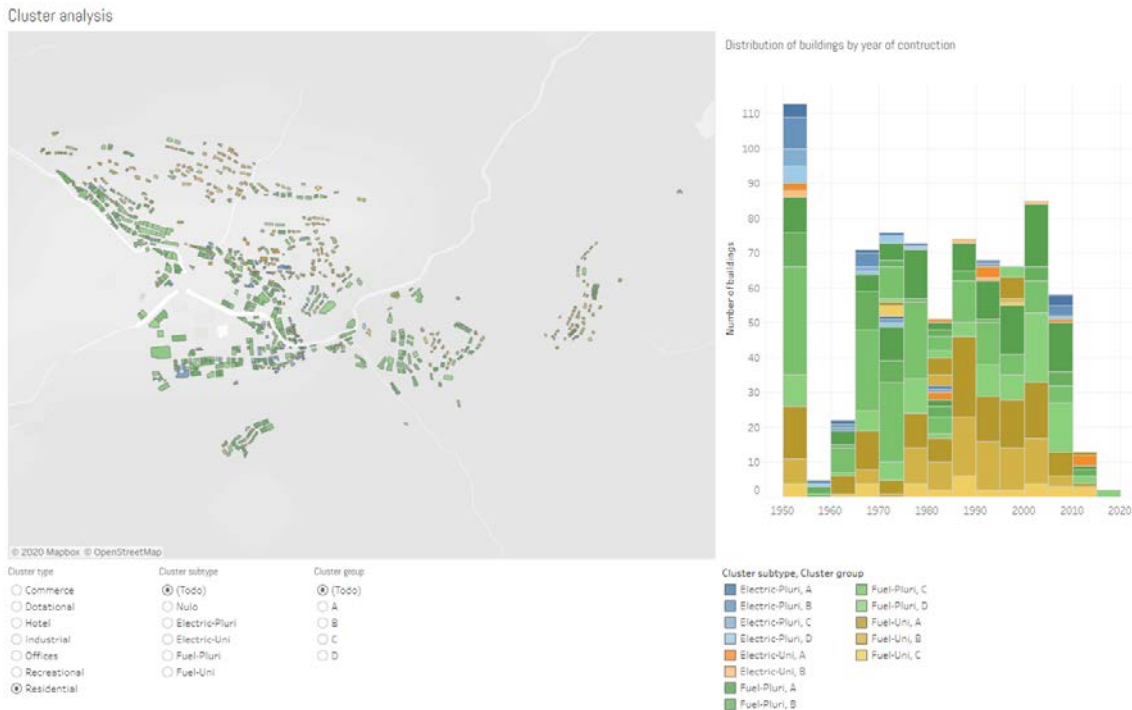


Figura 17. *Dashboard* presentant els resultats de l'anàlisi de clúster del sector residencial (inclou visualització)

2.4 Implementació de l'UBEM de la zona d'estudi (A4)

Una vegada es disposa de totes les dades que tenen una influència significativa sobre el comportament energètic dels edificis, aquestes es combinen amb la volumetria representant el parc edificat objecte d'estudi.

Per al present projecte s'utilitza l'eina Archsim²¹, que per primera vegada vincula el motor de simulació EnergyPlus amb un entorn de disseny paramètric i modelatge CAD. Aquest permet crear i simular models energètics d'edificis, així com visualitzar i analitzar els resultats de les simulacions sense la necessitat de canviar d'eina. Archsim és un complement de Rhinoceros, que és un software per al modelatge 3D, i Grasshopper, editor gràfic d'algorismes que aporta totes les eines necessàries per a la transformació d'un simple software de modelatge com Rhinoceros en una eina paramètrica. La Figura 18 mostra les interfícies de Rhinoceros i Grasshopper, així com

²¹ Més informació a: <https://www.food4rhino.com/app/archsim-energy-modeling-gh>

els diferents components d'Archsim que permeten la creació, simulació i visualització de resultats ja sigui d'un sol edifici, o d'un conjunt d'edificis.

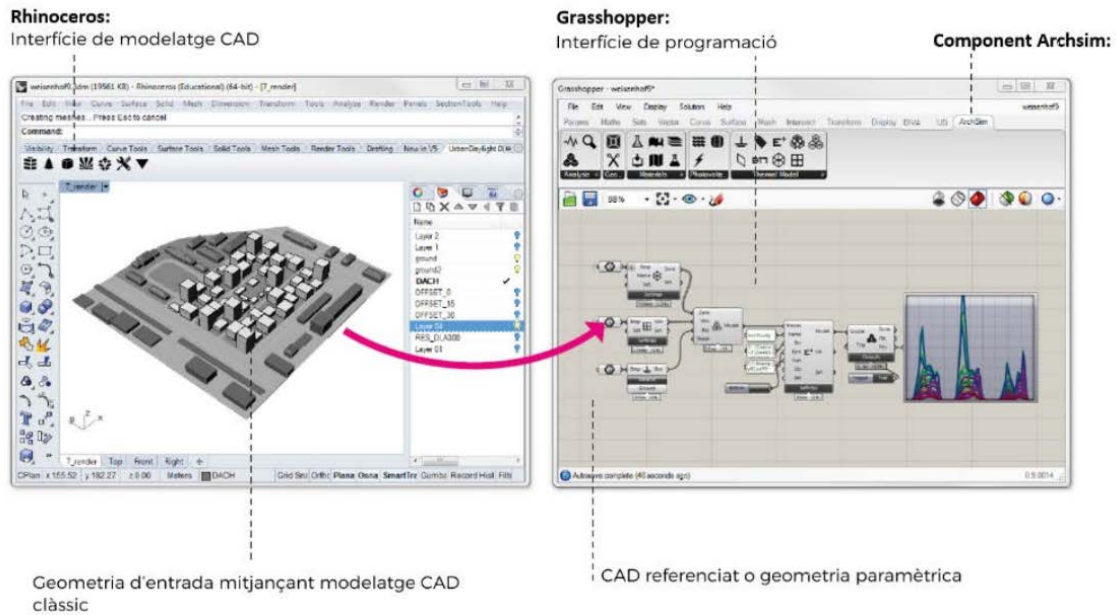


Figura 18. Exemple de modelització energètica d'un conjunt d'edificis

El principal motiu pel qual s'ha decidit utilitzar el complement Archsim és que els *inputs* de la simulació com la volumetria del model, els materials i els sistemes constructius, així com els perfils d'ocupació son totalment paramètrics i es poden modificar i adaptar a cada cas d'estudi.

La Figura 19 mostra de manera esquemàtica els diferents passos que s'han dut a terme per a la implementació de l'UBEM d'Escaldes-Engordany detallat a continuació.

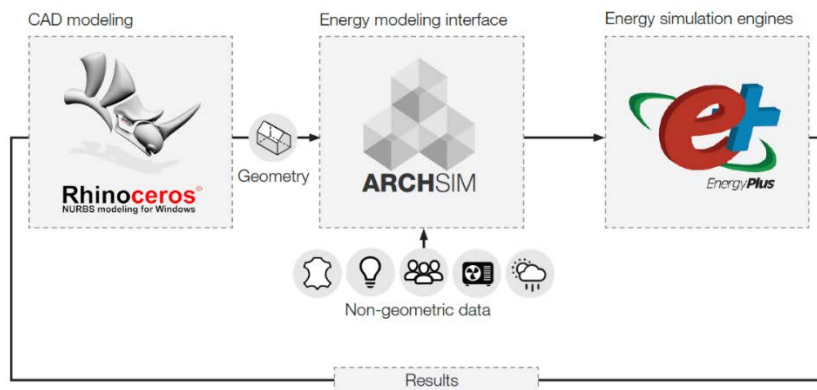


Figura 19. Esquema d'implementació de l'UBEM d'Escaldes-Engordany

2.4.1 Geometria dels edificis

Tot i que de vegades és possible obtenir directament una volumetria del parc edificat objecte d'estudi, el més habitual és que les institucions oficials només disposin d'arxius 2D a partir dels quals es generen les volumetries mitjançant una extrusió de les plantes.

Pel cas d'Escaldes-Engordany, tal i com s'ha mencionat en la Secció 2.2.1, el Departament d'Urbanisme del Comú d'Escaldes-Engordany ha proporcionat un arxiu georeferenciat amb la geometria en dos dimensions de les edificacions existents la qual s'ha extrusionat mitjançant Rhinoceros per generar la volumetria. Amb l'objectiu que l'extrusió dels edificis s'aproximi al màxim a la realitat, s'ha utilitzat l'altura i l'altitud de la base dels edificis extretes de les dades LiDAR (veure Secció 2.2.2). A banda de l'extrusió, s'ha dividit la volumetria dels edificis en plantes mitjançant les dades de cadastre ja que el model plantejat per Escaldes-Engordany és un model zonal a escala de planta per tal de poder caracteritzar de manera més precisa els edificis. Val a dir que normalment per a la divisió dels edificis en plantes, s'acostuma a assignar una alçada entre plantes estàndard que sol anar dels 2,30 m fins als 3,00 m, segons les característiques de la zona d'estudi. En aquest cas, al disposar de les alçades reals dels edificis gràcies a les dades LiDAR, s'ha dividit l'alçada total de l'edifici pel nombre de plantes del cadastre, obtenint d'aquesta manera una alçada entre plantes més ajustada a la realitat que en els mètodes tradicionals.

Mitjançant Grasshopper s'ha generat un script per executar tots els processos explicats anteriorment. Aquest script, sempre i quan es disposin del mateix tipus de dada utilitzada per el cas d'Escaldes-Engordany, pot aplicar-se a altres zones d'estudi. La Figura 20 mostra l'*script* elaborat amb Grasshopper així com la volumetria generada a partir d'aquest en la interfície Rhinoceros.

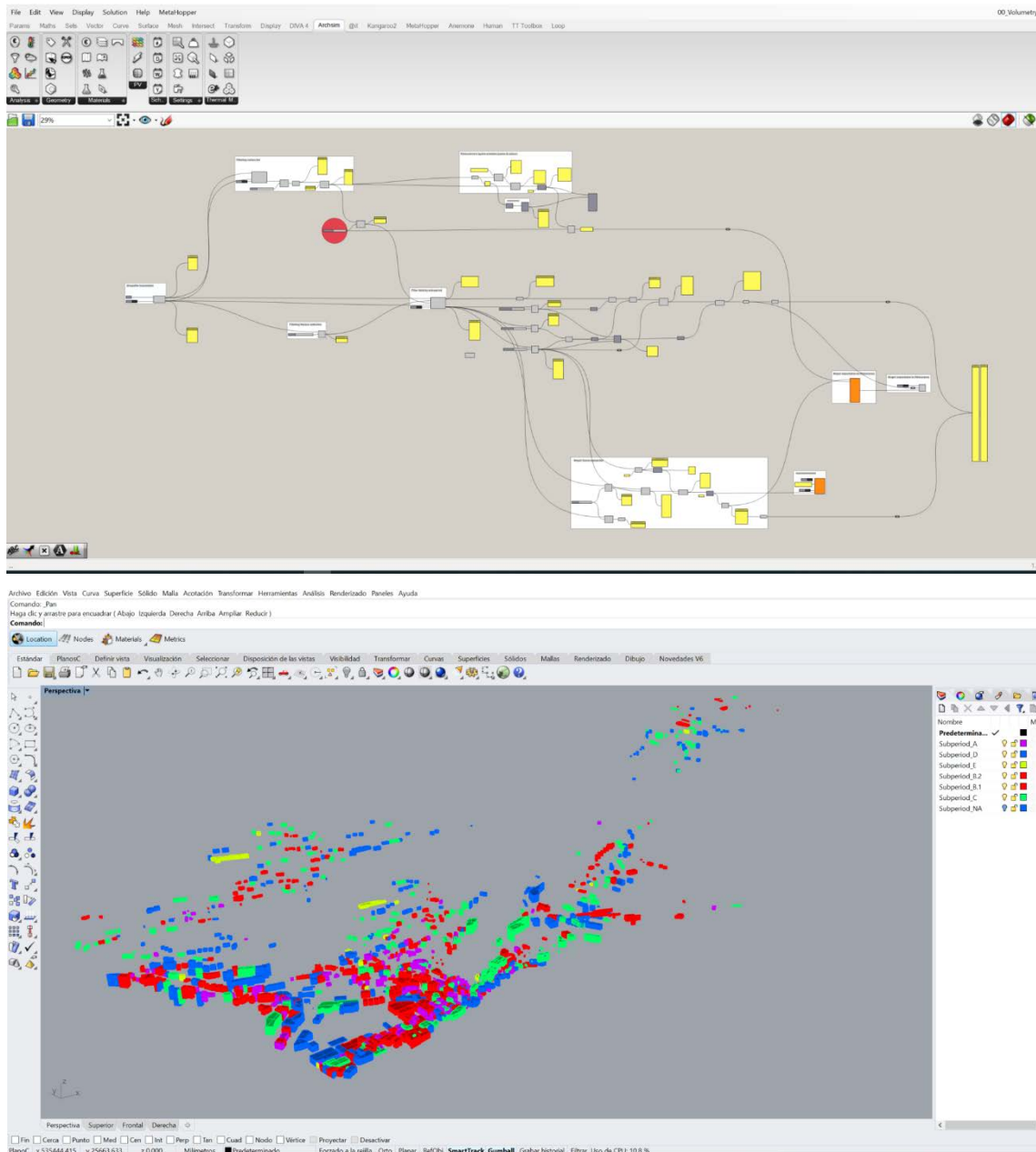


Figura 20. *Script* elaborat amb Grasshopper (superior) i volumetria mitjançant Rhinoceros (inferior)

2.4.2 Interfície de modelització energètica

Un cop es disposa de la volumetria de la zona d'estudi, s'han d'assignar les característiques energètiques pròpies a cada zona. Prèviament, cal generar amb el complement Archsim els paràmetres no-geomètrics per representar el comportament energètic dels diferents edificis. La Figura 21 mostra els principals components del

complement Archsim per a la creació, simulació i visualització de resultats d'una simulació energètica.



Figura 21. Components del complement Archsim

Més concretament el complement Archsim permet caracteritzar els següents aspectes dels edificis:

- Materials de construcció i finestres
- Carregues (inclou ocupació, equipaments i enllumenat)
- Acondicionament interior (calefacció, refrigeració, ventilació mecànica i control d'humitat)
- Ventilació (ventilació natural i infiltracions)
- Aigua calenta sanitària
- Horaris d'ocupació i/o utilització dels diferents aspectes dels edificis

Dels aspectes de l'edifici enumerats anteriorment, els que s'han pogut generar específicament per a l'UBEM d'Escaldes-Engordany han estat els materials de construcció i els sistemes constructius específics per cada període constructiu.²² La Figura 22 mostra el procés realitzat per generar el sistema constructiu de la façana característica del període B.1 amb Archsim.

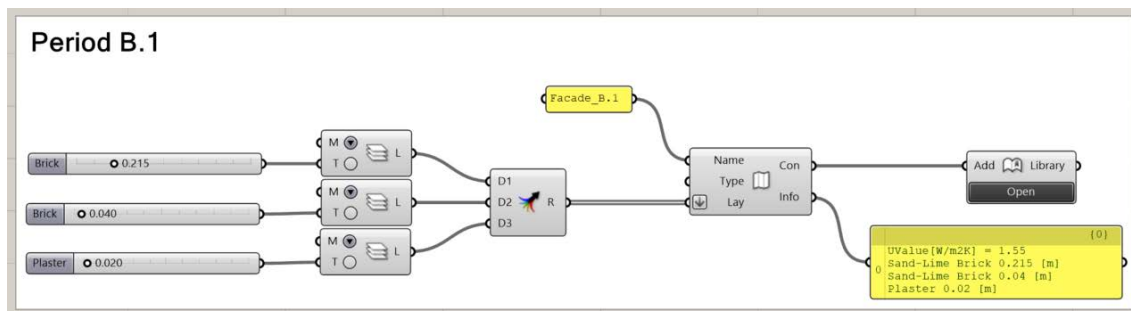


Figura 22. procés realitzat per generar el sistema constructiu de la façana característica del període B.1

²² Major detall en la Secció 2.3.1

Aquest procés s'ha repetit per la resta d'elements de l'envoltant dels edificis (sostres, cobertes, etc.). Val a dir que tots els paràmetres no-geomètrics generats mitjançant l'Archsim es poden guardar en la seva llibreria per poder-los utilitzar en altres models que tinguin les mateixes característiques

Pel que fa a la resta de paràmetres no-geomètrics, tot i no haver-se pogut generar degut al retard en l'elaboració de les enquestes energètiques, s'ha estat treballant amb els components específics de cada característica per tal de familiaritzar-se amb les eines de l'Archsim i agilitzar la generació d'aquests un cop es disposi dels resultats definitius de les enquestes.

2.5 Simulació del model (A5)

Tot i no disposar de l'UBEM d'Escaldes-Engordany completament acabat, tal i com s'explica en l'apartat anterior, s'han utilitzat les característiques energètiques que el complement Archsim disposa per defecte per generar un model el més representatiu possible de la realitat energètica del parc edificat d'Escaldes-Engordany. Amb aquest model "fictici", i integrant l'arxiu climàtic generat en la Secció 2.1.2, s'ha realitzat una primera simulació del model de la parròquia d'Escaldes-Engordany. Aquesta simulació preliminar s'ha realitzat a escala mensual enlloc d'horària reduint considerablement el temps de simulació. Val a dir que a l'haver generat un model zonal a escala de planta enlloc d'escala d'edifici, tal i com s'havia previst en el document inicial de la sol·licitud, les zones a simular passen de ser 1213 edificis a 5715 plantes, quasi cinc vegades més, fet que ha provocat un important increment del temps de simulació però també del detall dels resultats.

Malgrat el model no sigui el definitiu, i per tant els resultats obtinguts no siguin concloents, realitzar aquesta simulació mensual ha permès familiaritzar-se amb els components específics d'Archsim per a la realització de la simulació i automatitzar part de la feina per properes simulacions.

És important assenyalar que el format dels resultats per defecte de les simulacions realitzades amb Archsim no s'adequa a les necessitats del projecte EnergiAnd. En vista d'això, i per tal de no haver de repetir el procés de neteja i estructuració dels resultats, s'ha generat automatitzat aquest procés. Això permetrà que per properes simulacions s'obtinguin els resultats en arxius ja estructurats i adequades a les necessitats del projecte.

En la simulació mensual realitzada, s'han simulat els consums dels següents sistemes: il·luminació, equipament (inclou electrodomèstics i aparells electrònics), calefacció, refrigeració i aigua calenta sanitària. Cal assenyalar que el sector caracteritzat amb major detall ha estat el residencial, deixant pendent millores substancials en els altres sectors.

Per concloure amb l'apartat de simulació, a continuació (Figura 23, Figura 24, Figura 25) es presenten alguns dels resultats de les simulacions amb la intenció de mostrar en el present document el potencial que tenen els resultats de les simulacions.

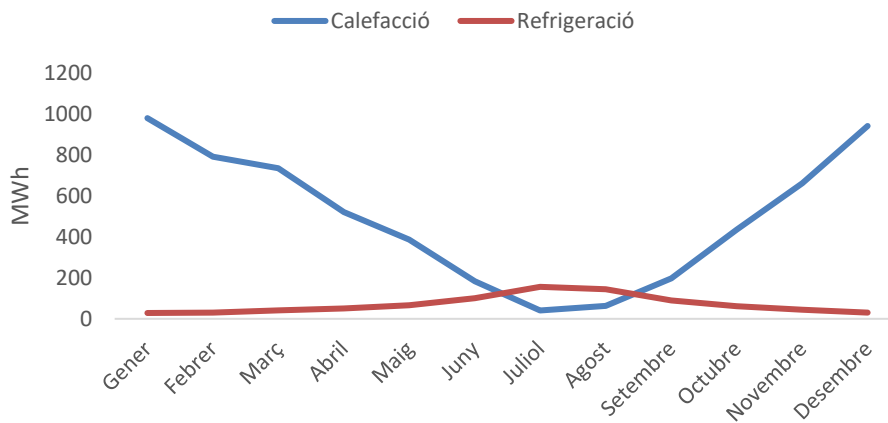


Figura 23. Resultats preliminars del consum mensual simulat de calefacció i refrigeració

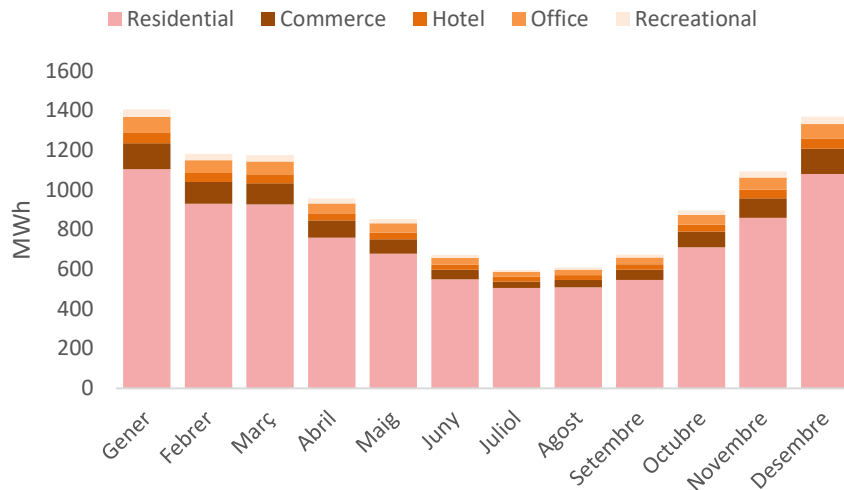


Figura 24. Resultats preliminars del consum mensual simulat segons usos

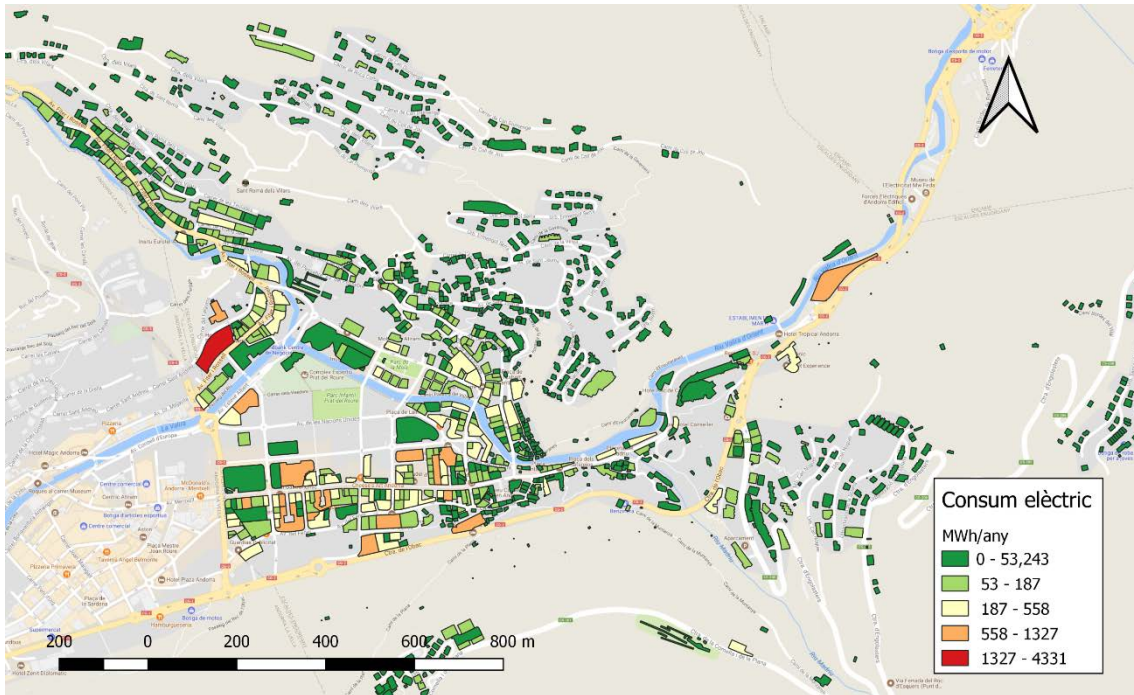


Figura 25. Resultats preliminars del consum elèctric anual simulat a escala d'edifici

2.6 Validació del model (A6)

Per tal de conèixer la fiabilitat i precisió del model, amb posterioritat a les simulacions, és necessari validar els resultats obtinguts de consum d'energia en els diferents edificis del parc edificat. Per aquest objectiu es disposa principalment de tres fonts de dades. Per una banda, les dades agregades a escala nacional de consums d'energia (tant carburants com d'electricitat) aportades pel Departament d'Estadística, les quals aporten una visió del conjunt de la zona d'estudi. D'altra banda, per validar els consums obtinguts a escala d'edifici, es disposa de les dades mensuals de consum elèctric dels edificis incorporades en la base de dades SQLite descrita en la Secció 2.2.1. A curt termini, s'espera poder disposar també de les dades horàries d'alguns *smart meters* instal·lats a la parròquia. En aquest sentit, FEDA encara no té a punt la plataforma de gestió de les dades per tal de poder-les compartir de forma àgil. Recentment s'ha tingut accés als històrics d'una mostra dels consums elèctrics mesurats pels *smart meters* els quals serviran per avançar en el procés de neteja i estructuració de les dades per tal de facilitar i automatitzar la posterior validació.

Els resultats obtinguts en aquesta activitat són molt preliminars i queden a expenses de disposar dels resultats definitius de les simulacions incorporant la caracterització

energètica realitzada mitjançant l'Enquesta del Consum Energètic d'Edificis Residencials.²³

2.7 Anàlisis energètics a partir de l'UBEM (A7)

Un cop es disposi del model validat s'estarà en disposició d'analitzar l'impacte de diferents estratègies energètiques encaminades a quantificar el potencial d'un canvi de model energètic. Disposar d'un model com l'UBEM construït d'Escaldes-Engordany que caracteritza de forma segregada els diferents usos energètics, materials i comportament dels habitants en les diferents llars, permet quantificar de forma detallada l'impacte de diferents mesures d'estalvi i eficiència energètica.

És important disposar del model validat per poder completar aquesta activitat i donar d'aquesta manera fiabilitat als resultats obtinguts.

Un aspecte en el que s'ha pogut avançar ha estat en la identificació de bones pràctiques en la renovació energètica d'edificis. En el context del projecte Sudoe COLEOPTER, s'ha elaborat l'informe *Guide of references for water-energy renovation and construction in the Sudoe area*.²⁴ En aquest es fa un extens recull d'estratègies de renovació energètica en els territoris Sudoe que serviran com a base de les polítiques a aplicar a l'UBEM d'Escaldes-Engordany. D'altra banda, es recopilen també els materials de construcció utilitzats en els diferents territoris identificant-ne la disponibilitat a escala local i les principals propietats amb influència sobre el comportament energètic i impacte ambiental (p. ex., propietat tèrmiques, de combustió i eco-propietats).

2.8 Actualització de la web d'energia solar fotovoltaica (A8)

La web <http://www.obsa.ad/solar> implementada en el marc dels ajuts a la recerca de la Comunitat de Treball dels Pirineus (ACTP023-AND/2014) s'ha convertit en la font de referència a nivell nacional pel que fa a la difusió del potencial d'aprofitament solar fotovoltaic dels edificis d'Andorra.²⁵

Aquesta activitat ha estat destinada a actualitzar el mapa d' "Aprofitament fotovoltaic" als requeriments de la nova normativa publicada a inicis de l'any 2018. A partir del

²³ Explicació detallada en la Secció 2.11.2

²⁴ Adjunt com Annex

²⁵ Enllaç des de la web oficial del Departament de Medi Ambient i Sostenibilitat <https://www.mediambient.ad/energia/generacio-d-energia-electrica>

16/03/2018 els ajuts de Govern per al foment de l'energia solar fotovoltaica en edificacions passen a ser gestionats a través del Pla Renova. Això suposa una sèrie de canvis especialment en les condicions de les subvencions i per tant és necessari tornar a calcular les variables econòmiques de cada una de les instal·lacions. D'altra banda, s'han actualitzat també els costos de les instal·lacions fotovoltaïques, els quals s'han reduït substancialment en els darrers anys fent molt més atractives les inversions en aquest tipus de tecnologia.

A banda de realitzar els càlculs amb les noves condicions que estableix la normativa, s'ha treballat sobre alguns edificis individualment. En alguns casos modificant la geometria de la base cartogràfica (Pavelló Poliesportiu d'Andorra i Lycée Compte de Foix) i en altres únicament limitant la superfície útil (Escola Andorrana de Santa Coloma, Escola Germans Riba d'Ordino i Hospital Nostra Senyora de Meritxell). Aquesta tasca s'ha pogut realitzar gràcies a la nova cartografia CESI (Codi Edificis Seguretat de les Instal·lacions) disponible i als estudis específics d'algunes cobertes realitzat per part de l'Oficina de l'Energia i del Canvi Climàtic. ²⁶

2.9 Visualització de l'UBEM en la maqueta 3D (A9)

Un dels outputs previstos per al projecte és la visualització de resultats de les simulacions i els històrics sobre una maqueta 3D de la vall central. Aquest suport permet establir discussions més dinàmiques al voltant d'un element tangible, més enllà de només una pantalla. S'ha demostrat especialment útil, per exemple, en tallers amb escolars, incrementant la curiositat sobre el tema tractat i la implicació en l'activitat proposada (major detall a la Secció 4.2).

Totes les capes d'informació a representar sobre la maqueta, siguin vectorials o rasters, han d'estar georeferenciades en projecció EPSG:4326. Un dels principals reptes és aplicar una matriu de transformació adequada per representar cada capa de manera coherent amb la projecció geogràfica, amb l'afegit de que la projecció queda deformada per la pròpia naturalesa tridimensional de la maqueta. Per solucionar aquesta disparitat en espais dimensionals, s'ha desenvolupat una malla de transformació que segrega la superfície en tessel·les triangulars i que, un cop calibrada,

²⁶ En l'informe "Actualització web energia solar fotovoltaica" adjunt com Annex s'aporta major detall de la metodologia d'actualització a les condicions de la normativa 2018

permet mapejar qualsevol coordenada geogràfica en una coordenada cartesiana de l'espai de projecció.

Les capes en format ràster es carreguen directament com a imatge jpg o png, afegint les coordenades dels vèrtex delimitadors en un vector de configuració.

La gran varietat de formats disponibles per la representació de capes vectorials és alhora un avantatge i un inconvenient, doncs permet guardar i compartir la informació sense limitar-la a un estàndard global però en complica una implementació genèrica. Afortunadament, tant els SIG com diferents llenguatges i plataformes estan preparats per a utilitzar els formats més comuns mitjançant llibreries.

La decisió entre formats a utilitzar depèn en gran mesura de l'arquitectura i de l'aplicació final. Així, CSV o GeoJSON són formats basats en text especialment indicats per a la transferència d'informació a través de xarxes, per exemple Internet, però estan limitats a informació estàtica o necessiten del desplegament de tota una infraestructura *backend* per al seu maneig. Una alternativa és utilitzar connectors que permetin obtenir informació directa d'una base de dades amb el format específic definit per la pròpia consulta. Aquesta flexibilitat en les consultes compensa en gran mesura la complexitat extra que comporta la gestió de les connexions a la base de dades i la dels resultats obtinguts. Un avantatge afegit és que la informació consultada estarà tant actualitzada com actualitzada estigui la base de dades, podent ser inclús aquesta en temps real. Tot i que les bases de dades SQL convencionals no ofereixen suport per informació geogràfica, recentment han aparegut paradigmes alternatius NoSQL o capes d'abstracció sobre esquemes SQL que aporten suport per aquest tipus de d'esquema, com MongoDB o PostGIS (GIS sobre PostgreSQL).

En aquest sentit, la visualització està preparada per a la implementació de diferents *middlewares* de connexió amb múltiples formats, actualment desenvolupats per GeoJSON i PostGIS, sent aquest últim l'elecció principal per al desenvolupament.

Les diferents visualitzacions implementades permeten tant disposar d'una visió global i comparativa dels resultats sobre la maqueta, com accedir als detalls propis de cada element de l'estudi en una projecció en la paret adjacent. La Figura 26 mostra una de les visualitzacions sobre la maqueta 3D presentant sobre la pantalla adjacent el potencial de generació solar fotovoltaica de l'edifici administratiu de Govern.

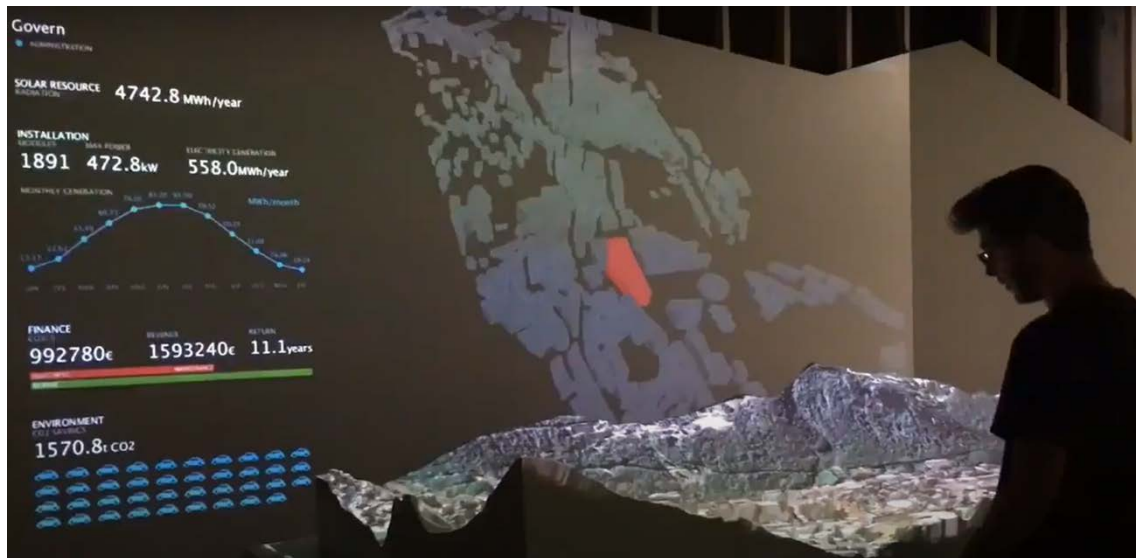


Figura 26. Visualització sobre maqueta 3D del potencial de l'energia solar fotovoltaica a les cobertes dels edificis d'Escaldes-Engordany i Andorra la Vella²⁷

En paral·lel al treball realitzat sobre la maqueta 3D, s'ha implementat un *dashboard* que permet interactuar amb les diferents visualitzacions de la caracterització energètica del parc d'edificis d'Escaldes-Engordany. Aquest *dashboard* pot ser consultat des d'una pantalla tàctil²⁸, convertint-se així també en una eina educativa i de sensibilització.

2.10 Visualització dels consums reals en la maqueta 3D (A10)

La interfície de georeferenciat desenvolupada en l'A9 (veure Secció 2.9) permet representar diferents tipus d'informació sobre la maqueta i la pantalla adjacent. En aquest cas, tal com es presenta en la Figura 27, s'ha representat l'UBEM d'Escaldes-Engordany mostrant les principals característiques dels edificis i l'evolució dels seus consums elèctrics durant l'any 2017.

²⁷ Veure vídeo: <https://youtu.be/zGFLpFYult8>

²⁸ Veure vídeo: <https://youtu.be/451FSNEXsdU>

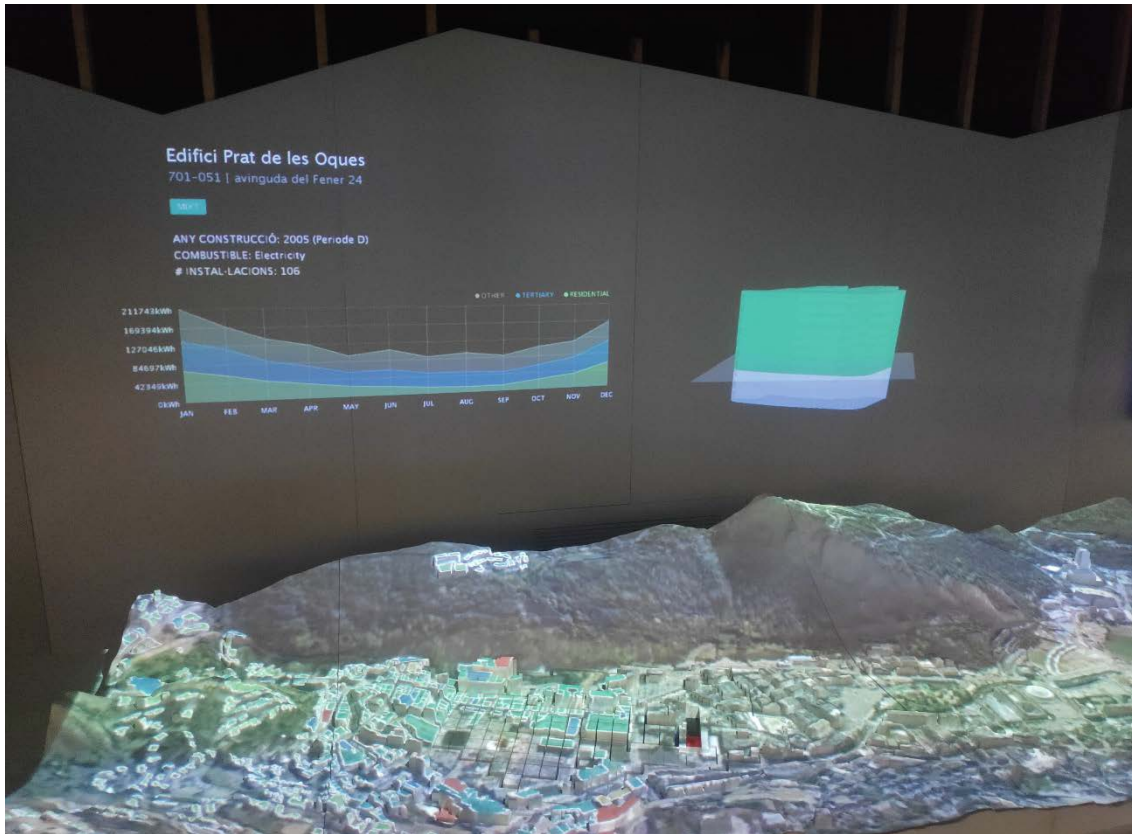


Figura 27. Visualització sobre maqueta 3D de l'ús d'electricitat en els edificis d'Escaldes-Engordany l'any 2017

La base de dades SQLite construïda en l'Activitat 2 (veure Secció 2.2.1) ha estat traspassada a una base de dades PostGIS SQL per tal d'incorporar a les dades la component espacial. D'aquesta manera, la informació projectada sobre la maqueta mostra sempre l'última versió actualitzada a la base de dades PostGIS, permetent inclús observar els canvis realitzats a la base de dades en temps real sobre la maqueta.

Cal assenyalar que actualment les dades reals de consums elèctrics mostrades són a escala mensual ja que provenen de les dades de facturació de FEDA. Actualment s'està treballant per incorporar les dades horàries dels *smart metres* en una visualització de característiques similars.

2.11 Enquestes energètiques (B1)

Generalment, les dades utilitzades en els UBEMs per caracteritzar els sistemes i equipaments energètics presents en els edificis, així com els patrons de comportament dels usuaris, s'extrauen d'enquestes nacionals o d'estudis i publicacions previs. Sovint també es dona el cas que el modelador té accés a informació més detallada d'edificis puntuals a través d'auditories energètiques (Cerezo Davila et al., 2016).

A Andorra, tot i que l'Enquesta de Pressupostos Familiars (EPF) realitzada pel Departament d'Estadística del Govern d'Andorra disposa d'informació sobre els equipaments energètics presents en les llars, aquestes dades no són prou detallades per caracteritzar un UBEM. Per aquest motiu, s'ha elaborat una enquesta per determinar els equipaments energètics dels edificis i els patrons d'ús de la població d'Escaldes-Engordany. El treball de camp, realitzat a 294 edificis, l'ha liderat el Centre de Recerca Sociològica de l'Institut d'Estudis Andorrans (CRES-IEA).

Seguint l'exemple d'enquestes prèvies realitzades en altres països com les enquestes del *U.S. Energy Information Administration*, s'han distingit dos grans grups d'edificis segons el seu ús: els d'ús residencial i els d'ús no residencial. La gran diferència dels patrons de comportament així com dels tipus de sistemes i equipaments presents entre els edificis d'ús residencial i la resta, fan impossible treballar amb una única enquesta conjunta. Per aquest motiu s'ha treballat en l'elaboració de dues enquestes tot i que, per un tema de recursos, fins al moment únicament s'ha realitzat el treball de camp de la destinada al sector residencial.

2.11.1 Enquesta del Consum Energètic d'Edificis Residencials (ECEER)

L'ECERR s'ha inspirat en l'enquesta *Residential Energy Consumption Survey*²⁹ (RECS) realitzada a Estats Units i dirigida pel *U.S. Energy Information Administration*, així com en el treball final de màster titulat *La repercusión del usuario en el consumo energético en viviendas de Barcelona* (Anglada, 2015), tenint en compte les característiques i particularitats del Principat d'Andorra.

El treball de camp s'ha centrat en una mostra de 294 edificis, calculada per obtenir un marge d'error del $\pm 3\%$ en els dos grups d'edificis residencials considerats:

- 1) Edificis 100% elèctrics (44 de 51 edificis)
- 2) Edificis amb caldera de gasoil (250 de 737)

El nombre d'enquestes realitzat permet disposar d'una mostra significativa dels dos grans grups d'edificis que formen el sector residencial.

²⁹ Accés a l'enquesta: https://www.eia.gov/survey/form/eia_457/2015_EIA-475A_paper.pdf

L'enquesta s'ha realitzat mitjançant l'eina *Survey123*³⁰ d'*ArcGis* i, a banda de les realitzades *in-situ* en els edificis d'interès, està disponible per ser utilitzada per la ciutadania en general. Es pot respondre a través d'aquest [enllaç públic](#) així com consultar i exportar els resultats en el [visor interactiu](#).³¹

Els resultats obtinguts en les enquestes han estat de gran utilitat per a la construcció de l'UBEM i concretament per caracteritzar els sistemes presents en els diferents edificis així com el comportament dels usuaris. El visor [visor interactiu](#) implementat (veure Figura 28) permet observar l'evolució del nombre d'enquestes realitzat, presenta uns primers anàlisis descriptius i permet exportar la totalitat de les dades per realitzar anàlisis posteriors.

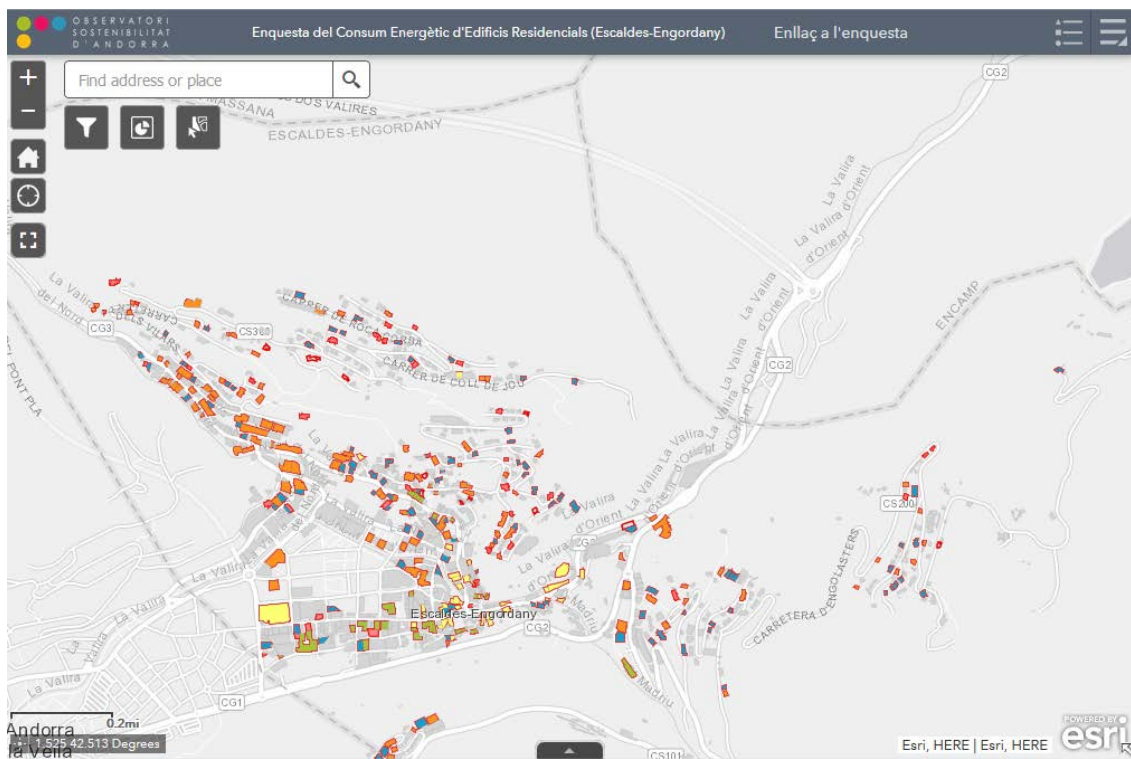


Figura 28. Plataforma de visualització interactiva dels resultats de l'ECEER

Un benefici addicional de l'enquesta realitzada és que, un cop completada la mostra, permetrà validar els resultats obtinguts en l'anàlisi de discriminant per identificar el combustible utilitzat en els edificis (veure Secció 2.3.2.1 per més detall).

³⁰ Més informació: <https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/survey123/overview>

³¹ Accés al visor: <https://arcg.is/1zrz1T>

Tot i que en aquest projecte l'enquesta s'ha realitzat de forma presencial a Escaldes-Engordany, el format és perfectament vàlid per aplicar a altres parròquies del Principat i a realitzar-se *online* en cas de no requerir d'edificis específics en la mostra.

2.11.2 Enquesta del Consum Energètic d'Edificis No Residencials (ECEENR)

L'enquesta destinada als edificis no residencials es troba en fase d'elaboració i la realització *in-situ* d'aquesta dependrà de la disponibilitat futura de recursos. L'ECEENR es basa en l'enquesta *Commercial Buildings Energy Consumption Survey*³² (CBECS), també dirigida pel *U.S. Energy Information Administration*.

³² Més informació a: <https://www.eia.gov/consumption/commercial/about.php>

3. TREBALL EN CURS I LÍNIES DE DESENVOLUPAMENT FUTUR

Tal com se'n desprèn del detall de les activitats realitzades, la línia de treball iniciada amb aquest projecte segueix oberta i es preveu continuar-la en els propers anys. El treball en curs es centra principalment en tres línies:

- Tornar a llençar les **simulacions** incorporant els resultats de l'ECEER. La incorporació de la informació extreta de l'enquesta permetrà caracteritzar el model amb dades de caràcter local i d'aquesta manera representar de forma més acurada el comportament energètic de les edificacions de la parròquia.
- **Validació** dels resultats de les noves simulacions. Un cop obtingudes les noves simulacions caldrà tornar a realitzar el procés de validació. En aquest cas, serà interessant incorporar també les dades de consum elèctric horari provinents dels *smart meters*.
- Disposar del model validat, permetrà quantificar el potencial de diferents **estratègies energètiques** encaminades a fomentar la transició energètica. En aquesta fase serà especialment important comptar amb la participació dels diferents *stakeholders* que han estat fent seguiment del projecte (especialment l'OECC, FEDA i el Comú d'Escaldes-Engordany) per tal d'aconseguir que les recomanacions derivades d'un model teòric com l'UBEM puguin ser aplicades al terreny.

A mitjà i llarg termini, s'espera que la metodologia desenvolupada gràcies a la disponibilitat i qualitat de les dades d'Escaldes-Engordany pugui estendre's a altres parròquies del país disposant així també d'un model de suport a la presa de decisions en l'àmbit de la planificació energètica i urbanística.

4. TRANSFERÈNCIA DE CONEIXEMENT

En el transcurs del projecte s'han posat els resultats a disposició dels principals responsables de la gestió i l'explotació dels recursos energètics del país, així com de les diferents administracions públiques interessades. D'altra banda, els resultats més rellevants des d'un punt de vista científic s'han comunicat a través de publicacions i assistència a congressos. Per últim, s'han realitzat també accions de divulgació amb l'objectiu d'ampliar els coneixements de la ciutadania en l'àmbit energètic.

4.1 Publicacions i assistència a congressos

Borges, P., 2019. EnergiAnd, promoting the energetic transition. Open Innovation Challenge in Andorra. Escaldes-Engordany.

<https://www.youtube.com/embed/fZF86qtyDgE>

Guillaumet, M.P., Borges, P., Rosas-Casals, M., Travesset-Baro, O., 2018. *Building archetypes in urban energy models. A comparative case study of deterministic and statistical methods in Andorra*. USIM 2018 - *Urban Energy Simulation*, Glasgow.

Guillaumet, M.P., 2018. *Modelización urbana para la planificación energética: el caso de Escaldes-Engordany*. Màster Universitari en Ciència i Tecnologia de la Sostenibilitat. Universitat Politècnica de Catalunya

<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/123084>

Francisco, G., 2018. Potencial d'aprofitament solar en cobertes d'Andorra. 12ns Debats de recerca. Energia i recursos naturals: treballant pel futur. Andorra la Vella.

4.2 Accions de divulgació

A banda de les activitats purament de recerca, s'ha treballat durant el transcurs del projecte en diverses activitats enfocades a la transferència de coneixement cap a la societat. A continuació s'enumeren les accions més destacades.

Taller Looking at Energy

En col·laboració amb l'empresa Loopa i el MIT Media Lab, l'OBSA ha dissenyat el taller Looking at Energy.³³ Aquest taller ha estat dissenyat per treballar els conceptes de generació d'energia i aïllament dels edificis des de l'àmbit de la recerca i l'enginyeria. L'experiència viscuda durant el taller permet als alumnes complementar els continguts de les unitats de treball relatives a l'energia impartides generalment ens els cursos de 5è i 6è de primària.

Les eines visuals desenvolupades durant aquest projecte han estat de gran utilitat per atreure l'atenció i interès dels estudiants.³⁴

Durant els anys 2018, 2019 i 2020 s'han realitzat diverses sessions a l'Espai d'Innovació amb diferents escoles d'Andorra.

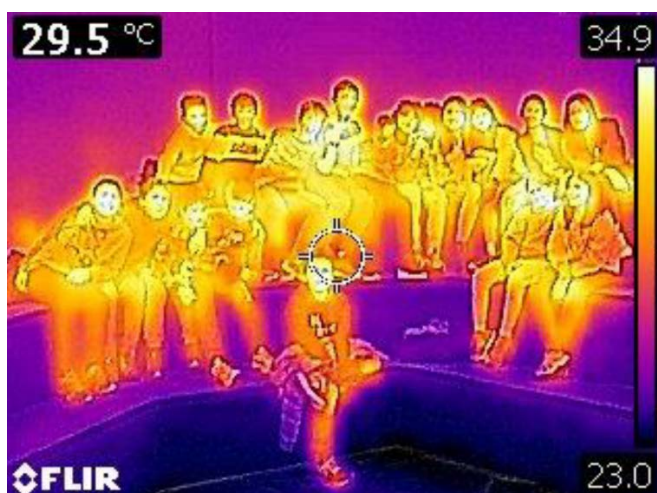


Figura 29. Taller realitzat amb l'Escola Andorrana d'Ordino l'abril de 2018

A continuació es recullen algunes de les comunicacions realitzades sobre els tallers:

<https://twitter.com/IniciativaActua/status/1237321010808082432>

<https://twitter.com/IniciativaActua/status/1108292444418965504>

https://twitter.com/OBSA_AND/status/1108321323137277952

<https://twitter.com/IniciativaActua/status/992301238355017728>

https://twitter.com/OBSA_AND/status/991998575801458688

https://twitter.com/OBSA_AND/status/981524432094138369

<https://twitter.com/IniciativaActua/status/981504669057994753>

³³ S'adjunta la presentació del taller com Annex

³⁴ Veure vídeo: <https://youtu.be/FdUKJtJd9ts>

Smart City Expo World Congress 2017

El mes de novembre de l'any 2017, tot i que el projecte es trobava en una fase molt inicial, va ser presentat a l'SCEWC celebrat anualment a Barcelona. Com es pot observar en la Figura 30, la presentació va realitzar-se a l'estand de la Fundació Actua destinat a promocionar la recerca i la innovació feta des d'Andorra.



Figura 30. Presentació del projecte a l'SCEWC2017

REFERÈNCIES

- ASHRAE, 2009. 2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals.
- Batalla, M., Ninyerola, M., Trapero, L., Esteban, P., 2016. ACDA: Atlas climàtic digital d'Andorra (període 1981-2010). Servidor de mapes. Institut d'Estudis Andorrans (IEA), Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) [WWW Document]. URL <http://www.acda.ad> (accessed 2.14.19).
- Biljecki, F., Ledoux, H., Stoter, J., 2016. An improved LOD specification for 3D building models. *Computers, Environment and Urban Systems* 59, 25-37. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.005>
- Cerezo, C., Sokol, J., AlKhaled, S., Reinhart, C., Al-Mumin, A., Hajiah, A., 2017. Comparison of four building archetype characterization methods in urban building energy modeling (UBEM): A residential case study in Kuwait City. *Energy and Buildings* 154, 321-334. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.029>
- Cerezo, C., Sokol, J., Reinhart, C., Al-Mumin, A., 2015. Three Methods for Characterizing Building Archetypes in Urban Energy Simulation . A Case Study in Kuwait City, in: BS2015: 14th Conference of International Building Performance Simulation Association. Hyderabad, India.
- Cerezo Davila, C., Reinhart, C.F., Bemis, J.L., 2016. Modeling Boston: A workflow for the efficient generation and maintenance of urban building energy models from existing geospatial datasets. *Energy* 117, 237-250. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.057>
- COAA, SaAS, 2012. Quantificació del potencial d'eficiència energètica en el sector de l'edificació a Andorra (informe no públic).
- Díaz, I., 2014. Descubrimiento de conocimiento en bases de datos espaciales (Trabajo Fin de Máster).
- DOE, 2018. EnergyPlus Version 8.9.0 Documentation. Auxiliary Programs. U. S. Department of energy.
- Govern d'Andorra, 2010. Reglament energètic en l'edificació.
- Guillaumet, M.P., Borges, P., Rosas-Casals, M., Travesset-Baro, O., 2018. Building archetypes in urban energy models. A comparative case study of deterministic and statistical methods in Andorra, in: USIM 2018 - Urban Energy Simulation.
- Huld, T., Pinedo, I., Gracia, A., Urraca, R., Dunlop, E., 2017. PVGIS version 5: Improvements to models and features, in: European PV Solar Energy Conference. pp. 2069-2074.
- Kristensen, M.H., Hedegaard, R.E., Petersen, S., 2018. Hierarchical calibration of archetypes for urban building energy modeling. *Energy and Buildings* 175, 219-234. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.030>

- Reinhart, C.F., Cerezo Davila, C., 2016. Urban building energy modeling - A review of a nascent field. *Building and Environment* 97, 196-202. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.12.001>
- Sokol, J., Cerezo Davila, C., Reinhart, C.F., 2017. Validation of a Bayesian-based method for defining residential archetypes in urban building energy models. *Energy and Buildings* 134, 11-24. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.050>
- Traveset-Baro, O., Francisco, G., Vilella, M., Pons, M., 2017. Building rooftops photovoltaic potential in mountainous regions: a case study from the Pyrenees (Extended Abstract), in: *European PV Solar Energy Conference*. pp. 2-5.
- Ward, J.H., 1963. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association* 58, 236-244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>

ANNEX

Interreg



Sudoe



European Regional Development Fund

GUIDE OF REFERENCES FOR WATER-ENERGY RENOVATION AND CONSTRUCTION IN THE SUDOE AREA

CHARACTERISATION OF RURAL TERRITORIES IN THE SUDOE AREA

APRIL 2020



AUTHORS: Patricia Borges, Oriol Travesset-Baro, Anna Pages-Ramon, Marti Rosas-Casals (Universitat Politècnica de Catalunya), Marta Gómez (University of Southern Denmark) and the Sudoe-COLEOPTER team.

CITATION: Borges, P., Travesset-Baro, O., Gomez, M., Pages-Ramon, A., Rosas-Casals, M., and the Sudoe-COLEOPTER team (2020). Guide of references for water-energy renovation and construction in the Sudoe area.

The electronic copy of this report can be downloaded at www.coleopter.eu



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

COLEOPTER PROJECT

The COLEOPTER (*COncertation LocalE pour l'Optimisation des Politiques Territoriales pour l'Energie Rurale*) project develops an integrated approach to the energy efficiency of public buildings that links technical, social and economic challenges. COLEOPTER addresses two energy efficiency challenges in buildings: difficulties for rural municipalities to act and carry out work despite the positive local impact (i.e., energy savings and local employment) and a lack of awareness of building challenges, which leads to irrational use of energy/water and low renovation rates.

The COLEOPTER approach has three components:

1. Territorial dialogue with local actors to co-construct work plans of public buildings.
2. Use of Building Information Modelling (BIM) as a collaborative tool to support the dialogue.
3. Consideration of water efficiency issues along with energy challenges to better consider usage.

The approach will be tested on four public buildings, three to be renovated (in Póvoa do Lanhoso, Portugal; Cartagena, Spain; and Creuse, France) and one new building (in Creuse, France). It will be replicated in Escaldes-Engordany (Andorra) to validate its transferability.

The main contributions of the project, namely the COLEOPTER approach and the work conducted on the test sites, will benefit municipalities, citizens and small and medium-sized enterprises (SMEs), leading to better planning of energy efficiency policies and increased public and private renovation rates.

The COLEOPTER project (SOE3/P3/F0951) is financed by the Interreg Sudoe Programme that supports regional development in Southern Europe, financing transnational projects through the European Regional Development Fund. The Programme promotes transnational cooperation to solve common problems in Southern Europe, such as low investment in research and development, weak competitiveness of small and medium-sized enterprises and exposure to climate change and environmental risks.

| | |
|----------------------------|---|
| Project leader | Céline Seince – contact@rurener.eu |
| Axis 3 | Low-carbon economy |
| Objective 4C1 | Improving energy efficiency policies and the use of renewable energy sources in public buildings and housing through the implementation of networks and joint experimentation |
| Total eligible cost | 1 454 944.07 € |
| ERDF Grant | 1 091 208.06 € |
| Duration | 36 months (01/10/2019–30/09/2022) |

Partners

RURENER

Agência para a Energia (ADENE)

Asociación Empresarial Centro Tecnológico de la Energía y del Medio Ambiente de la Región de Murcia (CETENMA)

Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

Comunidade intermunicipal do Ave

Ayuntamiento de Cartagena

Município da Póvoa de Lanhoso

Syndicat Mixte Ferme est Creuse



INDEX

| | |
|--|----|
| 1. Introduction..... | 5 |
| 2. Building characteristics in the COLEOPTER territories | 6 |
| 2.1 Póvoa do Lanhoso (Portugal) | 7 |
| 2.1.1 Thermal regulations and climate zone | 7 |
| 2.1.2 Building typologies and strategies for renovation and construction | 7 |
| 2.2 Tallante (Spain)..... | 21 |
| 2.2.1 Thermal regulations and climate zone | 21 |
| 2.2.2 Building typologies and strategies for renovation and construction | 21 |
| 2.3 Chambon-sur-Voueize and Chénérailles (France)..... | 28 |
| 2.3.1 Thermal regulations and climate zone | 28 |
| 2.3.2 Building typologies and strategies for renovation and construction | 28 |
| 3. Local availability of renovation and construction materials | 40 |
| 3.1 Material properties guide | 40 |
| 3.1.1 Building subsystem..... | 40 |
| 3.1.2 General properties | 41 |
| 3.1.3 Thermal and combustion properties..... | 41 |
| 3.1.4 Hygrothermal properties..... | 42 |
| 3.1.5 Eco-properties | 42 |
| 3.2 Raw materials, local processing and local production in each territory | 44 |
| References..... | 48 |

1. INTRODUCTION

The COLEOPTER project examines four case studies in the following Sudoe eligible regions: two in Nouvelle-Aquitaine (France), one in Norte (Portugal) and one in Murcia (Spain). Additionally, the methodology will be replicated in Escaldes-Engordany (Andorra) to validate its transferability.

Figure 1 shows the buildings to be renovated in Póvoa do Lanhoso (Norte, Portugal), Tallante (Murcia, Spain), Chénérailles (Nouvelle-Aquitaine, France) and the new building in Chambon-sur-Voueize (Nouvelle-Aquitaine, France).

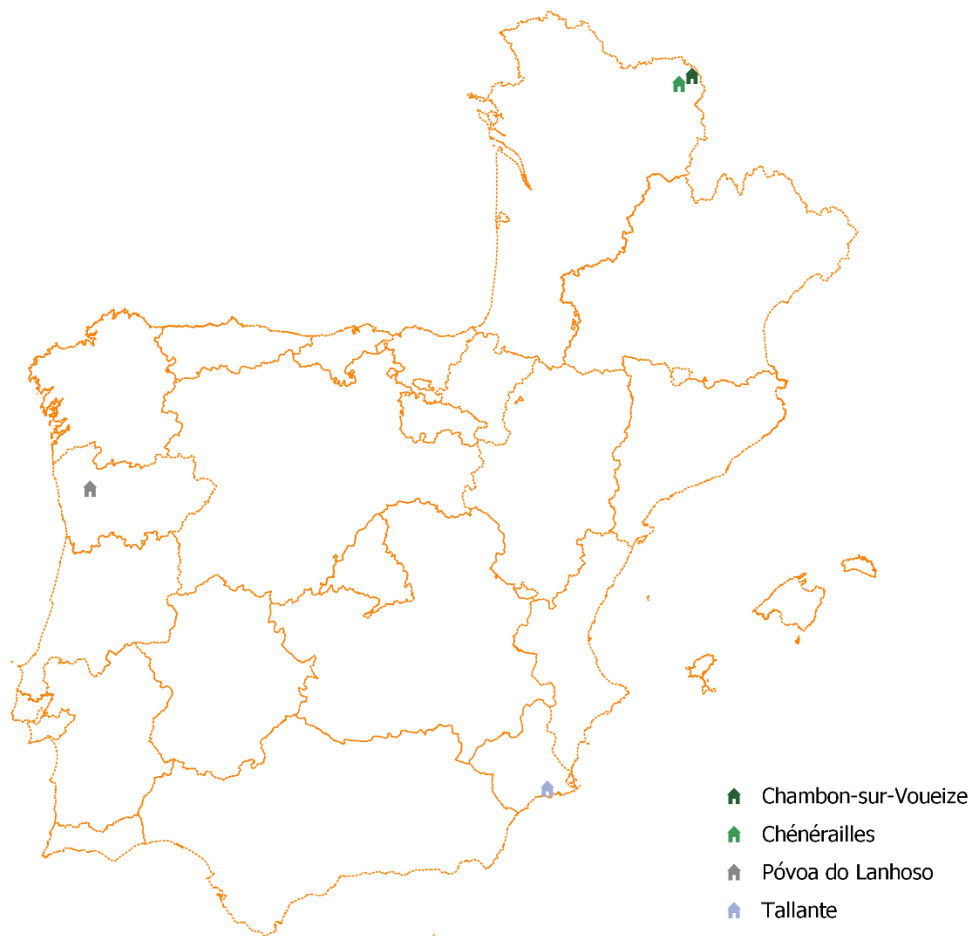


Figure 1. Location of the case studies in the COLEOPTER project

This report is divided into three main sections: a brief introduction and two main blocks of information on building renovation and construction in the Sudoe area. Section 2 contains a comparative analysis of building characteristics (including building typologies, thermal regulations and climate zones) in the COLEOPTER territories and a compilation of strategies for water-energy renovation and construction in each territory. Section 3 identifies the types and main properties of materials available in the three territories for building renovation and construction work. Finally, the document includes a guide to facilitate the selection of more appropriate materials that maximise the local impact of water-energy efficiency projects.

2. BUILDING CHARACTERISTICS IN THE COLEOPTER TERRITORIES

A significant part of a building's energy use is determined by its characteristics. In parallel, the climate severity of a territory has a considerable impact on the building heating demand (in winter) and cooling demand (in summer). As an example, Figure 2 compares the percentage contribution of cooling and heating energy demand in the climate zones of the COLEOPTER case studies (Portugal-I2V2, Spain-B3 and France-H1c). The values are based on the simulation of twelve models in each climate zone¹ (Bienvenido-Huertas, Oliveira, Rubio-Bellido, & Marín, 2019).

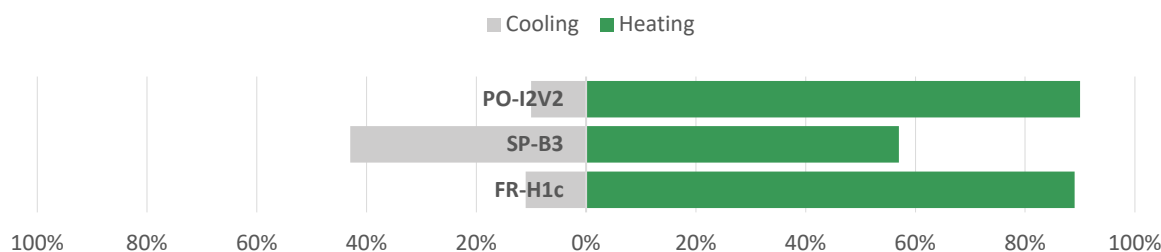


Figure 2. Percentage contribution of cooling and heating energy demand in the climate zones of the COLEOPTER case studies (based on simulations). Source: Bienvenido-Huertas et al. (2019)

Building stock analysis is the first step before sustainable water-energy renovation strategies are developed. A territory's building stock can be described in categories of building typologies. The literature provides several descriptions of building stock for countries to model their energy demand. One well-known contribution in this field is the Typology Approach for Building Stock Energy Assessment (TABULA) project,² which has developed residential building typologies for thirteen European countries. Each national typology consists of a classification scheme that groups buildings according to size, age and further parameters and a set of exemplary buildings representing the building types. TABULA Webtool³ is one of the most useful outputs of the project, as it groups all the building typologies and their energy behaviour in each country.

Climate zone, construction period and building type are the parameters that tend to serve as selection criteria for building stock segmentation (Monteiro, Pina, Cerezo, Reinhart, & Ferrão, 2017). This document uses these parameters to contextualize the building characteristics in each territory. Characteristics of construction components are presented by periods to facilitate energy evaluation and to study the best saving measures. The current thermal regulations in Portugal, Spain and France, introduced as a result of transposition of Directive 2010/31/EU, are also briefly described.

Additionally, a compilation of the most common water-energy renovation and construction strategies is presented for each territory.

¹ Cities used for each climate zone: I2V2-Braga, D3-Mallorca and H1c-Grenoble.

² More information: <https://episcopo.eu/iee-project/tabula/>

³ More information: <http://webtool.building-typology.eu/#bm>

2.1 PÓVOA DO LANHOSO (PORTUGAL)

2.1.1 Thermal regulations and climate zone

In Portugal, building energy regulations are described in Decree-Law 118/2013 (2013-08-20-DRE). The regulation Portaria 379-A/2015 establishes the limit values of thermophysical properties for envelope elements. Limit values are set according to the climate zone of the building. Figure 3 shows that three climate zones are established for each season: I1, I2 and I3 in winter and V1, V2 and V3 in summer (Bienvenido-Huertas et al., 2019).

Póvoa do Lanhoso, the location of the COLEOPTER Portuguese case study, is part of the **I2V2** climate zone.

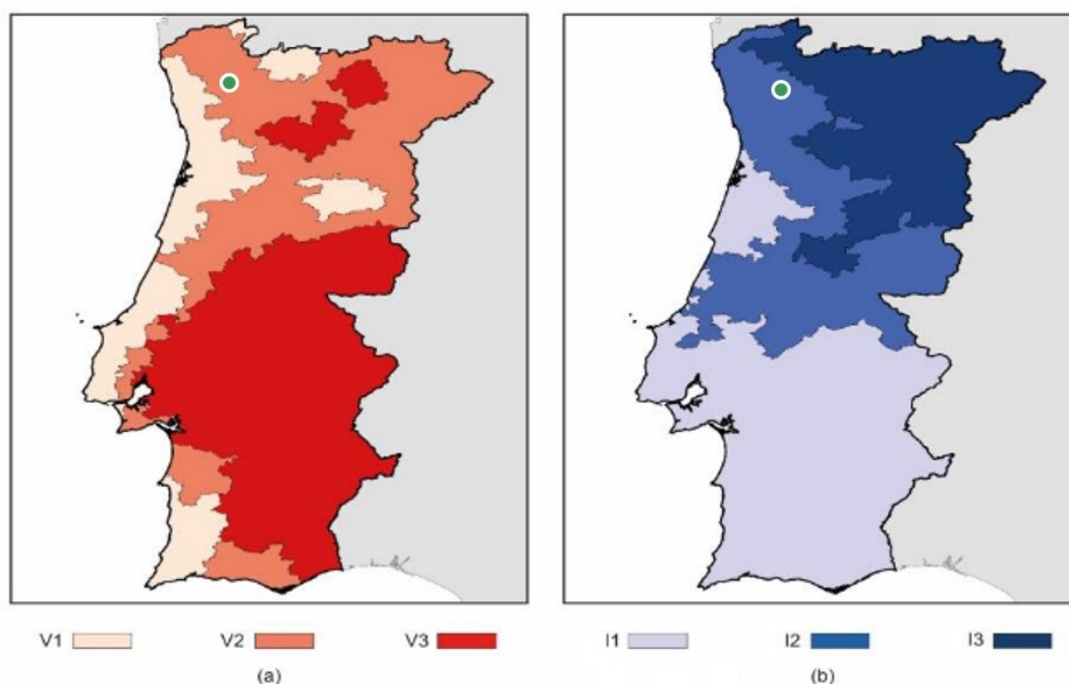


Figure 3. Climate classification in Portugal: a) summer classification and b) winter classification. Source: Bienvenido-Huertas et al. (2019)

2.1.2 Building typologies and strategies for renovation and construction

Portuguese housing stock has undergone great changes over the years. From the seventeenth century, Portuguese building evolved considerably until the use of reinforced concrete became widespread from the mid-twentieth century. As the height of buildings increased, the materials used in their construction evolved from wood to masonry (stone or brick) and finally, in the first decades of the twentieth century, to reinforced concrete.

Masonry buildings constitute a high percentage of the building stock in southern European countries, including Portugal. Given the evolution of construction practices for masonry buildings over time, variations can be found in the architecture, construction typologies and structural design. Consequently, seismic resistance varies considerably in the types of buildings that were identified. Three phases can be distinguished in masonry buildings constructed after 1755: Pombalino, Gaioleiros and Placa. Differentiation between these types of building is based not only on the time of construction, but also on the presence or absence of wooden structural elements. The existence of

these elements is very important to characterize the behaviour of each type of building in relation to seismic actions. Several authors have stated that a division can be established between types of buildings according to their structural characteristics, which are directly related to the construction period and the construction technologies employed (NESDE, 2005).

Furtado, Costa, Arêde, & Rodrigues (2016) made a first attempt to divide Portuguese building stock into typologies. Unfortunately, the building typologies defined in the study were focused on reinforced concrete buildings with masonry infill walls that are vulnerable to earthquakes, which does not correspond with the goal of the present report. Monteiro et al. (2017) proposed a methodology to characterize Portuguese building stock that has certain similarities to the methodology proposed in the TABULA project. Although the study focused on how to obtain the building typologies, instead of their characterisation, the following construction periods were identified: before 1919, 1946–1960, 1961–1990, 1991–2005, 2006–2011 and after 2012.

Portugal has a range of climatic conditions, but, nowadays, the construction solutions used in buildings throughout the country are practically the same. Current construction is based on a formula that is deeply rooted and widely used throughout the country, regardless of differences in climate, geographic location, availability of raw material and lifestyle of occupants. This formula is based on a construction system in which the outer walls are double brick masonry, the interiors are simple brick masonry and the slabs consist of prestressed joists with blocks of lost formwork.

To respect European political legislation and the political commitments made over the years, several decisions have been taken that have affected buildings in Portugal. Figure 4 shows the main Portuguese energy policies that have been established to date.

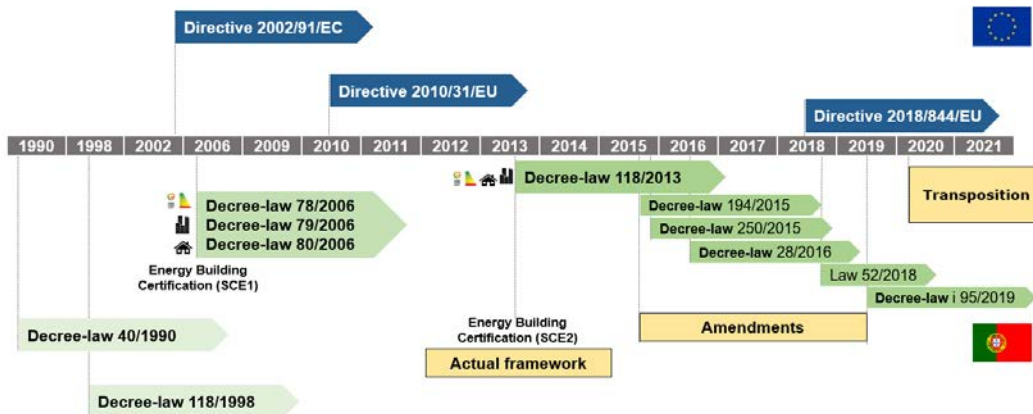


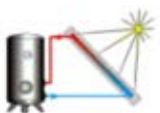





Figure 4. Main Portuguese energy policies

Decree-Law 40/90, which approved the Regulation of Thermal Behaviour of Buildings (RCCTE), was the first legislation that imposed requirements on the design of new buildings and major renovations. Its main objectives were based on guaranteeing thermal comfort requirements inside buildings without excessive energy needs, even if the construction elements did not suffer from pathologies due to condensation. Eight year later, Decree-Law 118/98 was issued, which approved the Regulation of Energy Systems for Building Climatization (RSECE). Like the previous law, this regulation focused on the thermal quality of the envelope, but with more demanding requirements. However, the main difference and objective was to define the rules of design and installation of air conditioning equipment. In 2006, after the publication of EPBD Directive 2002/91/EC, Portugal proceeded to its transposition and launched a legislative package that contained Decree-Law 78/2006 Energy

Certification System (SCE 2006), Decree-Law 79/2006 Regulation of Energy Systems and Building Climate Change (RSECE) and Decree-Law 80/2006 Regulation of Thermal Behaviour Characteristics of Buildings (RCCTE). Subsequently, buildings have tended to be more efficient. In 2013, Decree-Law 118/2013 (SCE 2013) was introduced with more demanding requirements. This is the current framework, with some amendments.

Table 1 presents the main construction elements and facilities in the Portuguese buildings since 2006, when the first SCE was approved.

| 2006-2013 | | SCE 2006 | | | |
|---------------------------|---|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Element | Construction detail | Description | U (W/m ² K) I1 | U (W/m ² K) I2 | U (W/m ² K) I3 |
| Roof |  | Concrete sloping roof with insulation (60 to 70mm) | 1.25 | 1 | 0.9 |
| Wall |  | Double brick masonry wall with insulation (40 to 50 mm) | 1.8 | 1.6 | 1.45 |
| Floor | - | - | - | - | - |
| Windows | - | - | - | - | - |
| Heating system |  | Thermal solar panel or heat pump | | | |
| Domestic hot water system | | | | | |
| 2013-2015 | | SCE 2013 | | | |
| Element | Construction detail | Description | U (W/m ² K) I1 | U (W/m ² K) I2 | U (W/m ² K) I3 |
| Roof |  | Concrete sloping roof with insulation (70 to 80mm) | 1.25 | 1 | 0.9 |
| Wall |  | Double brick masonry wall with insulation (50 to 60 mm) | 1.75 | 1.6 | 1.45 |
| Floor | - | - | - | - | - |
| Windows | - | - | - | - | - |
| Heating system |  | Thermal solar panel or heat pump | | | |
| Domestic hot water system | | | | | |




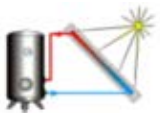
| After 2015 | | SCE 2013 with amendments | | | |
|---------------------------|---|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Element | Construction detail | Description | U (W/m ² K) I1 | U (W/m ² K) I2 | U (W/m ² K) I3 |
| Roof |  | Concrete sloping roof with insulation (60 to 70mm) | 1.25 | 1 | 0.9 |
| Wall |  | Double brick masonry wall with insulation (40 to 50 mm) | 1.75 | 1.6 | 1.45 |
| Floor | - | - | - | - | - |
| Windows |  | Aluminium frame, double glazed with thermal; or PVC frame with double glazed | 2.8 | 2.4 | 2.2 |
| Heating system |  | Thermal solar panel or heat pump | | | |
| Domestic hot water system | | | | | |

Table 1. Main construction elements and facilities in Portugal (2006-2020)

Portuguese legislation proposes some changes in the composition and materials to be used in buildings' water networks that must be applied to new and refurbished buildings. Materials must be chosen according to the specifications of use, the characteristics of the distributed water (e.g. considering its fouling or aggressive power), the location of pipes and equipment, the accessories to be applied and the heterogeneous mix of materials (according to the Portuguese Institute of Quality; IPQ 2019). If the existing building network has lead sections, they must be fully replaced according to legislation on the quality of water for human consumption (Decree-Law 306/2007, 27 August).

Materials that can be used in building water networks are iron or galvanised steel, stainless steel, cast iron, plastics and semi-plastics. All selected materials and installation systems must be suitable for contact with water and for human consumption, in accordance with the legislation.

The accessories and constituents of piping systems should follow the norms. Products made from galvanised malleable cast iron should be produced in accordance with NP EN 10242 and pipes made from galvanised steel should be produced in accordance with NP EN 10255 and NP EN 10240 standards (the latter is specific to galvanised coating).

The selection of materials must be made considering:

- The characteristics and their range of applicability.
- The type of use for which they are intended, as well as the desired levels of performance and comfort.
- The operating conditions such as flow speed, water temperature, sun exposure and possible mechanical actions.
- The areas at risk of hydrocarbon contamination (benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, etc.), and areas 50 metres around (minimum radius) fuel supply pumps. In these areas, ductile cast iron or steel piping should be installed. If plastic tubing is used, the installation should be carried out using shirting.
- Plastics, or other combustible materials, are not permitted for pipes that affect the fire network. Standing water is often present in firefighting systems, which promotes rapid aging of pipelines. The use of certain materials in galvanised irons should prevent corrosion.

Each material choice should consider the advantages and disadvantages of each material, which are summarised below.

Ferrous alloys: there are several ferrous alloy compositions that can be used in pipes and accessories of water networks. We can group them into: steel, galvanised steels, ductile cast irons and stainless steels. The use of metal pipes has decreased considerably with the increasing abandonment of the use of galvanised steel. However, metal pipes still constitute a relevant group of materials, especially for accessories (faucets, showers, etc.). They are used to transport hot and cold water and are mandatory in firefighting systems, as they enable water to be driven even with high temperatures outside.

Non-ferrous metal alloys: in addition to their enormous electrical conductivity, non-ferrous metal alloys, like copper, have characteristics such as algicide and fungicide capacity. These alloys have good resistance to atmospheric corrosion.

Polymeric materials: this family of materials consists of natural or synthetic compounds. They are obtained by polymerisation (such as polyethylene, PE), polycondensation (such as Bakelite or resin and polyester resin), polyaddition (such as vinyl polychloride, PVC) or similar processes of molecules with low molecular weight or resulting from chemical modifications of natural molecules. In this group, thermoplastic polymers are used primarily in the pipe base material and accessories, and thermosetting for coatings and elastomers when elasticity is necessary. Most of this family of materials should not be directly exposed to sunlight, as it degrades polymers.

Cementitious materials: these products are used in contact with water, mainly in reservoirs.

Composite materials: these materials are derived from the connection between two or more types of materials that are chemically compatible and have complementary mechanical properties, for example, ceramic and polymer, metal and polymer, and metal and ceramic. The best characteristics of the individual materials are enhanced, to obtain physical characteristics that may be superior to those of the constituents.




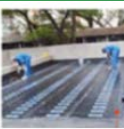

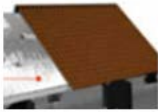


In order to complement Table 1, Adene⁴ has provided data on buildings' energy certificates in CIM do Ave.⁵ These data have been used to characterize construction elements and facilities. Although the data are limited to sports centres,⁶ the construction elements, facilities and renovation strategies can generally be extrapolated to other public building types.





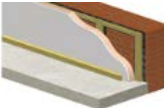
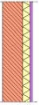
Table 2 presents the main construction elements and facilities in current sports centres in CIM do Ave based on Adene's data. The characteristics are complemented with the most common water-energy renovation strategies available for application to construction elements and facilities.



⁴ Agência para a Energia (Portuguese Energy Agency).








⁵ Póvoa do Lanhos belongs to the Comunidade Intermunicipal do Ave (CIM do Ave).

⁶ The COLEOPTER case study in Póvoa do Lanhoso is a sports centre.









| Existing state | | | | | | | Refurbishment measures | |
|---|--|--------------------------------|------------------------|-----|-----------------------------------|--------------------------------|---|---|
| Construction detail | Description | Share of current buildings (%) | Insulation information | % | Insulation U (W/m ² K) | Element U (W/m ² K) | Construction detail | Description |
| CONSTRUCTION ELEMENT: Roof | | | | | | | | |
|  | Sloped roof without thermal insulation | 16% | | | | |  | Energy efficiency Thermal insulation installation is fundamental to ensure good energy performance |
|  | Flat roof without thermal insulation | 33% | | | | |  | Waterproofing Roof waterproofing prevents infiltration that could damage it |
|  | Sloped roof with thermal insulation | 7% | Stone wool | 24% | 0.034-0.04 | 0.35-0.43 |  | Fire resistance Check the fire resistance and reaction of the materials. Request the respective technical sheet. Ideally, choose products with class A1 of reaction to fire and E in resistance |
| | | | Glass wool | 1% | 0.045 | 0.44 | | |
|  | Flat roof with thermal insulation | 44% | Extruded polystyrene | 7% | 0.037 | 0.44 |  | Acoustics In air traffic areas or similar, information should be requested on the acoustic attenuation of the proposed materials |
| | | | Sandwich panel | 14% | 0.0224-0.037 | 0.42-1.05 | | |




| Existing state | | | | | | Refurbishment measures | | | |
|---|--|--------------------------------|------------------------|------|-----------------------------------|--------------------------------|--|---|---|
| Construction detail | Description | Share of current buildings (%) | Insulation information | % | Insulation U (W/m ² K) | Element U (W/m ² K) | Construction detail | Advantages | Disadvantages |
| CONSTRUCTION ELEMENT: Wall | | | | | | | | | |
|  | Single wall without thermal insulation | 7% | | | | |  Exterior insulation | <ul style="list-style-type: none"> - Surfaces and interior areas are not reduced - Waterproofing duration increases - It is one of the most effective methods to reduce thermal losses and increase thermal comfort inside the home | <ul style="list-style-type: none"> - Not recommended if the facade is not smooth and vertical - Scaffolding installation - It can change the appearance of the exterior façade - Investment |
|  | Single or double plastered wall | 25% | | | | | | | |
|  | Single wall with exterior thermal insulation | 55% | Expanded Polystyrene | 55% | 0.031-0.04 | 0.22-1.3 |  Exterior insulation | <ul style="list-style-type: none"> - Easier to install than outside insulation - Keeps the appearance of exterior walls - Cheaper than applying insulation from the outside - One of the easiest methods to reduce thermal losses | <ul style="list-style-type: none"> - Can reduce the interior area - Increases the risk of condensation and should be avoided in very humid areas - Although the costs are lower than insulation, it requires investment capacity |
| | | | Stone wool | 16% | 0.04 | 0.42-0.53 | | | |
| Mineral wool | 8% | | 0.04 | 0.46 | | | | | |
|  | Single wall with interior thermal insulation | 25% | Extruded polystyrene | 7% | 0.037 | 0.38-1.02 | | | |
| | | | Sandwich panel | 14% | 0.037 | 0.31-0.5 | | | |





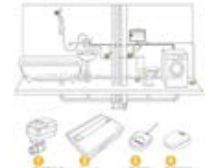
| Existing state | | | | Usual refurbishment | | | Advanced refurbishment | | |
|---|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------|-------------|------------------------|------------------------|-------------|------------------------|
| Construction detail | Description | Share of current buildings (%) | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) |
| CONSTRUCTION ELEMENT: Floor | | | | | | | | | |
|  | Flooring without thermal insulation | 13% | - | | | | | | |
|  | Flooring with thermal insulation | 87% | - | | | | | | |

| Existing state | | | | Refurbishment | | | | |
|---|---|--------------------------------|------------------------|--|---|------------------------|--|---------------|
| Construction detail | Description | Share of current buildings (%) | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Advantages | Disadvantages |
| CONSTRUCTION ELEMENT: Window | | | | | | | | |
|  | PVC frame, single glazed | 2% | - |  | Metal frame, double glazed with thermal break | 2.1-2.9 | <ul style="list-style-type: none"> - Heat losses reduction - Sound insulation improvement - More resistant than PVC (it is better for huge windows) | - Investment |
|  | Metal frame, single glazed, with thermal break | 16% | 4-6.2 | | | | | |
|  | Double glazing, metal frame without thermal break | 17% | 2.8-4.5 | | | | | |
|  | Double glazing, metal frame with thermal break | 64% | - |  | PVC frame with double glazed | 1.1-2.4 | <ul style="list-style-type: none"> - Heat losses reduction - Sound insulation improvement | - Investment |
|  | Curtain wall | 1% | - | - | - | - | - | - |

| Existing state | | | Refurbishments | | | |
|---|-----------------|--------------------------------|--|-------------|--|----------------------|
| Construction detail | Description | Share of current buildings (%) | Construction detail | Description | Advantages | Disadvantages |
| FACILITIES: Heating/cooling system | | | | | | |
|  | Fixed radiators | 5% |  | Heat pump | <ul style="list-style-type: none"> - The most efficient and effective equipment to use in a home - Significantly improves thermal comfort in the summer and allows heating in winter | - Initial investment |
|  | Chiller | 5% | | | | |
|  | Multisplit | 20% |  | Chiller | <ul style="list-style-type: none"> - It is the most efficient and effective equipment to use in service buildings - Significantly improves thermal comfort in the summer also allows heating in winter | - Initial investment |
|  | VRF | 15% | | | | |

| Existing state | | | Refurbishments | | | |
|--|---------------------|--------------------------------|--|----------------------|--|--|
| Construction detail | Description | Share of current buildings (%) | Construction detail | Description | Advantages | Disadvantages |
| FACILITIES: Domestic hot water | | | | | | |
|  | Conventional boiler | 34% |  | Condensing boiler | - More Efficient | - Investment |
|  | Water heater | 7% |  | Solar thermal panels | - Renewable energy with zero emissions - Low operating costs - Long lifetime | - High initial investment - Additional costs for installation |
|  | Thermal accumulator | 27% |  | Biomass boiler | - Carbon neutral - Renewable energy source - Reduced cost of biomass compared to competitors (gas, diesel or electricity) | - More expensive than heaters or condensing boilers - Requires more space for its installation and additional space for biomass storage - Needs more careful maintenance |
|  | Solar thermal panel | 32% |  | Heat pump | - One of the most efficient pieces of equipment - Useful life up to 25 years - Easy installation - Low maintenance cost | - Substantial initial investment |

| OTHER REFURBISHMENT MEASURES | | | |
|---|--------------------|---|---|
| Construction detail | Description | Advantages | Disadvantages |
| FACILITIES: Lighting and other electrical equipment | | | |
|  | Light replacement | <ul style="list-style-type: none"> - Reduced electricity consumption - Improved light quality | <ul style="list-style-type: none"> - The LED lamp has to fit the casing - The new lamp assembly and old luminaire may not provide the lighting foreseen in the design |
|  | Light retrofitting | <ul style="list-style-type: none"> - Reduced electricity consumption - Improved light quality | <ul style="list-style-type: none"> - Greater investment than LEDs |
|  | PV panels | <ul style="list-style-type: none"> - Reduced energy bills - Use of a free renewable energy source - Production of emission-free energy | <ul style="list-style-type: none"> - Investment - Period of return on investment - A suitable area needs to be available for the installation |

| OTHER REFURBISHMENT MEASURES | | | |
|---|---|--|--|
| Construction detail | Description | Advantages | Disadvantages |
| FACILITIES: Water | | | |
|  | Flow reducers/aerators | <ul style="list-style-type: none"> - Water consumption reduction - Reduced investment and ease of implementation | <ul style="list-style-type: none"> - Sometimes the flow may be too low - Reduced pressure |
|  | Alternative water sources – rainwater harvesting system | <ul style="list-style-type: none"> - Reduced freshwater consumption - Reduced stormwater production - Reduced surface runoff - Source of water for greywater systems | <ul style="list-style-type: none"> - Not viable in low rainfall regions |
|  | Alternative water sources – greywater system | <ul style="list-style-type: none"> - Reduced freshwater consumption - Reduced wastewater | <ul style="list-style-type: none"> - High investment costs - Usually installed during the construction phase |
|  | Piping system – design and renovation | <ul style="list-style-type: none"> - Leakage reduction - Reduced system net head | <ul style="list-style-type: none"> - Need for masonry and plumbing work |
|  | Piping system – leakage control system | <ul style="list-style-type: none"> - Leakage reduction | <ul style="list-style-type: none"> - Need for plumbing works |





| OTHER REFURBISHMENT MEASURES | | | |
|--|--|---|---|
| Construction detail | Description | Advantages | Disadvantages |
| FACILITIES: Water | | | |
|  | Piping system – smart water meters | <ul style="list-style-type: none"> - Leakage reduction - Consumption profile control | <ul style="list-style-type: none"> - Need for plumbing works |
|  | Efficient showers | <ul style="list-style-type: none"> - Reduced water consumption - Same comfort - Easy to install - Low maintenance | |
|  | Efficient taps | <ul style="list-style-type: none"> - Reduced water consumption - Same comfort - Easy to install - Low maintenance | |
|  | Dual flush toilets and auto stop urinals | <ul style="list-style-type: none"> - Reduced water consumption - Easy to install - Can be installed in old devices | |

Table 2. CIM do Ave sports centres typologies and water-energy efficiency strategies. Source: Adene (2020)

2.2 TALLANTE (SPAIN)

2.2.1 Thermal regulations and climate zone

Royal decree 314/2006 regulates the energy efficiency of buildings in Spain (BOE-A-2006-5515). This latest royal decree is divided into several standards, including an energy saving document, which is also known as CTE-DB-HE.

Country climates are classified according to climate severity in winter and summer, which is calculated depending on heating and cooling degree days. As shown in Figure 5, the classification distinguishes five zones for winter (A, B, C, D and E) and four zones for summer (1, 2, 3 and 4) ordered by severity. The CTE-DB-HE also establishes limit values of thermal transmittance of envelope elements, which are assigned according to a building's winter climate zone. These limitations are applied to new buildings and to interventions in existing buildings (Bienvenido-Huertas et al., 2019).

The climate severity of Tallante, the location of the COLEOPTER Spanish case study, is **B3**.

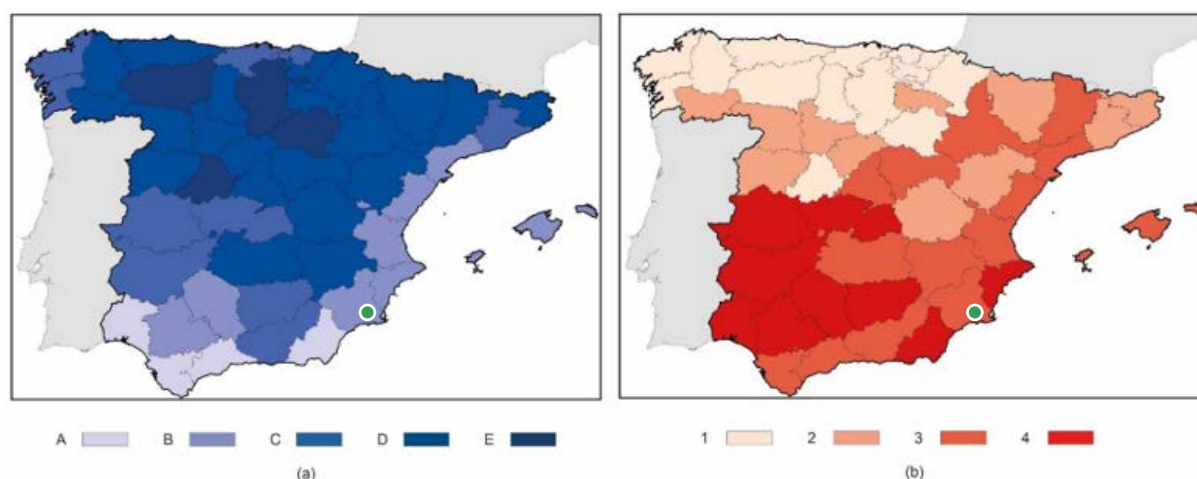










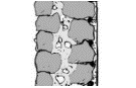















Figure 5. Climate classification in Spain: a) winter classification and b) summer classification. Source: Bienvenido-Huertas et al. (2019)

2.2.2 Building typologies and strategies for renovation and construction



















In Spain, the first thermal regulation was approved in 1979. Before that date, the energy demand of buildings was not limited by any regulations. Buildings dating from before 1979, which were mostly built without thermal insulation in their facades and roofs and with deficient carpentry with high air permeability, are real energy devourers. In general, these buildings have high energy savings potential during renovation work (IVE, 2015).

According to IVE (2016), Spanish buildings in the Mediterranean area, where Tallante is located, can be classified into six construction periods: before 1900, 1901–1936, 1937–1959, 1960–1979, 1980–2006 and after 2006.

















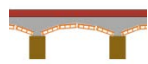








Table 3 presents the construction elements and facilities in each construction period. Their characteristics are complemented with water-energy renovation strategies (i.e., usual refurbishment, advanced refurbishment, improved standard and ambitious standard).

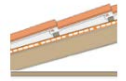






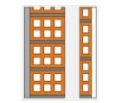
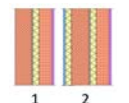
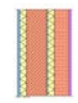
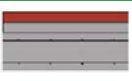

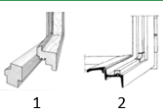






| Bef. 1900 | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|---|------------------------|--|--|---|--|---|------------------------|
| Element | Construction detail | Existing state | | Usual refurbishment | | | Advanced refurbishment | | |
| | | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) |
| CONSTRUCTION ELEMENTS | | | | | | | | | |
| Roof |  | Pitched roof, wooden frame without ventilated air chamber | 5.00-5.56 |  | Add (1) 12 cm or (2) 50 mm of insulation on the inside of the roof | (1) 0.25 (2) 0.52 |  | Add 20 cm of insulation on the inside of the roof | 0.17 |
| |  | Ventilated pitched roof, wooden frame and suspended ceiling | 4.17 |  | Add 50-80 mm of insulation on the inside of the roof | 0.63 |  | Add 180 mm of insulation on the inside of the roof | 0.19 |
| |  | Ventilated flat roof with wooden one-way frame | 1.60 |  | Add 50 mm of insulation on the outside of the roof | 0.48 | - | - | - |
| Wall |  | Masonry of natural stones | 0.24 |  | Add 50 mm of insulation on the outside of the façade through ETIC | 0.17 | - | - | - |
| |  | Masonry of cladding bricks | 2.56 |  | Add 40-50 mm of insulation on the outside of the façade through ETIC | 0.54-0.64 |  | Add 80-120 mm of insulation on the outside of the façade through ETIC | 0.26-0.36 |
| Floor |  | Flooring on the ground | 0.66 | - | - | - | - | - | - |
| |  | Flooring on the ground | 0.85 |  | Add 10 cm of insulation | 0.30 |  | Add 20 cm of insulation | 0.16 |
| Windows |  | Wood frame, single glazed, bad fit | 4.96-5.35 |  | New window, metal frame and double-glazed 4-15-4 | 2.56 |  | Install new windows with low-e double glazed 4-15-4 and thermal break | 1.66 |
| FACILITIES | | | | | | | | | |
| Heating system |  | Electric system | |  | Mixed natural gas condensing gas boiler heating + DHW | | - | - | |
| Domestic hot water system |  | Butane gas heater | | | |  | Thermal solar system contribution to the improved boiler | | |

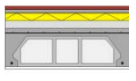



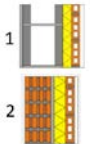
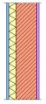
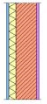
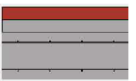







* In a rural context without natural gas network, it could be replaced by a conventional biomass boiler or a condensing propane boiler.

| 1901-1936 | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|---|------------------------|---|--|---|---|---|------------------------|
| | | Existing state | | Usual refurbishment | | | Advanced refurbishment | | |
| Element | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) |
| CONSTRUCTION ELEMENTS | | | | | | | | | |
| Roof |  | Ventilated flat roof with metal frame | 3.08 |  | Add (1) 20 mm or (2) 40 mm of insulation on the inside of the roof | (1) 1.13 (2) 0.70 |  | Add (1) 60 mm or (2) 100 mm of insulation on the inside of the roof | (1) 0.50 (2) 0.32 |
| |  | Ventilated pitched roof, wooden frame and suspended ceiling | 4.17 |  | Add (1) 80 mm or (2) 100 mm of insulation on the inside of the roof | (1) 0.41 (2) 0.34 |  | Add 180 mm of insulation on the inside of the roof | 0.19 |
| Wall |  | Masonry of cladding bricks | 2.56 |  | Add (1) 20 mm, (2) 40 mm, (3) 60 mm, (4) 80 mm or (5) 100 mm of insulation on the outside of the façade through ETIC | (1) 1.20 (2) 0.64 (3) 0.47 (4) 0.36 (5) 0.30 |  | Add 120 mm of insulation on the outside of the façade through ETIC and 60 mm on the inside clad with plasterboard | 0.14-0.17 |
| Floor |  | Flooring on the ground | 0.66-0.85 | - | - | - | - | - | - |
| |  | One-way framework, metal joints | 1.68 | - | - | - | - | - | - |
| Windows |  | Wood frame, single glazed, bad fit | 4.30-5.35 |  | New window, metal frame with thermal break and double glazed 4-15-4 | 2.63 |  | Install new windows with low-e double glazed 4-15-4 and thermal break | 1.66 |
| FACILITIES | | | | | | | | | |
| Heating system |  | Electric system | |  * | Mixed natural gas condensing gas boiler heating + DHW | | | | |
| Domestic hot water system |  | Butane gas heater | | | |  | Thermal solar system contribution to the improved boiler | | |

* In a rural context without a natural gas network, this could be replaced by a conventional biomass boiler or a condensing propane boiler.

| 1937-1959 | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|---|------------------------|--|---|---|---|--|------------------------|
| | | Existing state | | Usual refurbishment | | | Advanced refurbishment | | |
| Element | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) |
| CONSTRUCTION ELEMENTS | | | | | | | | | |
| Roof |  | Ventilated flat roof with metal frame | 1.60 |  | Add 50 mm of insulation on the outside of the roof | 0.48 | - | - | - |
| |  | Ventilated pitched roof, wooden frame and suspended ceiling | 4.17 |  | Add (1) 80 mm or (2) 100 mm of insulation on the inside of the roof | (1) 0.41 (2) 0.34 |  | Add 180 mm of insulation on the inside of the roof | 0.19 |
| |  | Ventilated flat roof with concrete horizontal framework | 1.67 |  | Add 20 mm of insulation in the ventilated chamber of the roof | 0.86 | - | - | - |
| |  | Flat roof with one-way concrete horizontal framework, prestressed joint | 1.37 |  | Add 50 mm of insulation on the inside of the roof | 0.46 | - | - | - |
| Wall |  | Masonry of cladding bricks | 2.56-2.94 |  | Add (1) 40 mm, (2) 50 mm, (3) 60 mm or (4) 100 mm of insulation on the outside of the façade through ETIC | (1) 0.64 (2) 0.54 (3) 0.47 (4) 0.30 |  | Add 120 mm of insulation on the outside of the façade through ETIC and 100 mm on the inside clad with plasterboard | 0.14 |
| |  | Masonry of perforated cladding bricks | 2.27 |  | Add 60 mm of insulation in the ventilated chamber of the roof | 0.62 |  | Add 100 mm of insulation in the ventilated chamber of the roof | 0.30 |
| Floor |  | Flooring on the ground | 0.66-0.85 | - | - | - | - | - | - |
| |  | One-way framework, metal joints | 1.83 | - | - | - | - | - | - |
| |  | One-way framework with prestressed joint | 1.26-1.27 | - | - | - | - | - | - |
| Windows |  | Wood frame, single glazed, bad fit | 4.59-5.35 |  | New window, metal frame with thermal break and double-glazed 4-15-4 | 2.63 |  | Low-e double glazed 4-15-4 window | 1.46-1.66 |
| FACILITIES | | | | | | | | | |
| Heating system |  | Electric system | |  | Mixed natural gas condensing gas boiler heating + DHW | | | | |
| Domestic hot water system |  | Butane gas heater | | | |  | Thermal solar system contribution to the improved boiler | | |

| 1960-1979 | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|--|------------------------|--|--|--------------------------------|---|--|------------------------|
| | | Existing state | | Usual refurbishment | | | Advanced refurbishment | | |
| Element | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) |
| CONSTRUCTION ELEMENTS | | | | | | | | | |
| Roof |  | Ventilated pitched roof, wooden frame and suspended ceiling | 4.17 |  | Add 12 cm of insulation on the inside of the roof | 0.28 |  | Add new waterproofing, 20 cm of insulation and gravel | 0.19 |
| |  | Ventilated flat roof with metal frame | 1.61-1.67 |  | Add 20 mm of insulation inside the cavity of the roof | 0.44 | - | - | - |
| |  | Flat roof with one-way concrete horizontal framework, prestressed joint | 1.37-1.92 |  | Add new waterproof, 50 mm on the outside of the roof | 0.46-0.51 | - | - | - |
| Wall |  | Brick cavity wall without insulation | 1.33-1.64 |  | Add insulation (1) inside the cavity and (2) 20 mm to 40 mm of insulation on the outside of the façade, through ETIC | (1) 0.53-0.57 (2) 0.40-0.45 |  | Add insulation inside the cavity and 140 mm of insulation on the outside of the façade, through ETIC | 0.12 |
| Floor |  | Flooring on the ground | 0.85 | - | - | - | - | - | - |
| |  | One-way framework with prestressed joint | 1.07-1.72 | - | - | - | - | - | - |
| Windows |  | (1) Wood frame, single glazed, bad fit (2) Metal frame, single glazed, no thermal break | (1) 4.59 (2) 5.70 |  | New window, metal frame with thermal break and double-glazed 4-15-4 | 2.63 |  | Low-e double glazed 4-15-4 window | 1.46-1.66 |
| FACILITIES | | | | | | | | | |
| Heating system |  | Electric system | |  | (1) Mixed natural gas condensing boiler heating + DHW, (2) conventional biomass boiler | | - | - | |
| Domestic hot water system |  | Gas heater | | | | |  | Thermal solar system contribution to the improved boiler | |

| 1980-2006 | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|--|------------------------|--|---|---------------------------|---|--|------------------------|
| Element | Existing state | | | Usual refurbishment | | | Advanced refurbishment | | |
| | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) |
| CONSTRUCTION ELEMENTS | | | | | | | | | |
| Roof |  | Flat roof, one-way framework with prestressed joint and insulation | 0.52-0.60 | - | - | - | - | - | - |
| |  | Pitched roof, one-way framework with prestressed joints and insulation | 1.92 |  | Add 20 mm of insulation on the inside of the roof | 0.88 |  | Add 40 mm of insulation on the inside of the roof | 0.59 |
| Wall |  | Cavity wall of (1) concrete block or (2) brick, with insulation inside the cavity | 0.58-0.72 |  | Add (1) 20 mm or (2) 40 mm of insulation exterior side of the façade through ETIC | (1) 0.51 (2) 0.36-0.39 |  | Add (1) 60 mm or (2) 80 mm of insulation on the outside of the façade through ETIC | (1) 0.31 (2) 0.25 |
| Floor |  | Flooring on the ground | 0.89 | - | - | - | - | - | - |
| |  | One-way framework with prestressed joint | 1.61-2.94 | - | - | - | - | - | - |
| Windows |  | PVC frame, double glazed, thermal break | 3.09-3.37 |  | Install new windows, metal frame with thermal break and double glazed 4-6-4 | 2.83 |  | Low-e double glazed 4-15-4 window | 1.46-1.66 |
| FACILITIES | | | | | | | | | |
| Heating system |  | (1) Conventional mixed LPG boiler, (2) electrical equipment by pipes, (3) natural gas DHW system | |  | (1) Conventional mixed biomass boiler, (2) natural gas condensing boiler | | | | |
| Domestic hot water system |  | | | | | | | | |

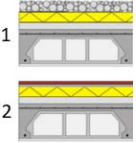








| After 2006 | | National minimum requirement | | Improved standard | | | Ambitious standard | | |
|------------------------------|---|--|--|--|---|------------------------|---|---|------------------------|
| Element | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) |
| CONSTRUCTION ELEMENTS | | | | | | | | | |
| Roof |  1 2 | Flat roof, one-way framework with prestressed joints and insulation, (1) gravel or (2) ceramic tile finish | 0.45-0.48 | - | - | - | - | - | - |
| Wall |  | Cavity or brick wall with insulation inside the cavity | 0.47-0.52 |  | Add 40 mm of insulation on the outside of the façade through ETIC | 0.31 |  | Add 80 mm of insulation on the outside of the façade through ETIC | 0.19 |
| Floor |  | One-way framework with prestressed joint with insulation | 0.44-0.56 | - | - | - | - | - | - |
| Windows |  | PVC frame, double glazed, thermal break | 3.09-3.37 | - | - | - |  | Low e double glazed 4-15-4 window | 1.46-1.66 |
| FACILITIES | | | | | | | | | |
| Heating system |  | Conventional mixed natural gas boiler heating + DHW | - | - | - | - | - | - | - |
| Domestic hot water system | | |  | Thermal solar system contribution to the existing boiler | - | - | - | - | - |

Table 3. Mediterranean Spanish building typologies and water-energy efficiency strategies. Source: IVE (2016).

2.3 CHAMBON-SUR-VOUEIZE AND CHÉNÉRAILLES (FRANCE)

2.3.1 Thermal regulations and climate zone

In France, the regulations establishing building requirements are the *Code de la construction et de l'habitation*. The levels of thermal and energy performance that are described in Article R 131-28 of the code were updated in the decree *Arrêté du 22 mars 2017*.

Unlike other regulations based on transmittance, the limitations of the thermophysical properties of the envelope in France are based on thermal resistance and depend on the climate zone of the building. Climate is divided into three zones for winter (H1, H2 and H3) and four for summer (a, b, c and d). As shown in Figure 6, eight climate zones are obtained from the combinations of winter and summer zones (Bienvenido-Huertas et al., 2019).

The climate zone of Chambon-sur-Voueize and Chénérailles, which are the locations of the French COLEOPTER case studies, is **H1c**. According to simulations carried out by Bienvenido-Huertas et al. (2019), buildings located in zones with a summer classification of type c (H1c and H2c) are those with a greater annual energy demand.

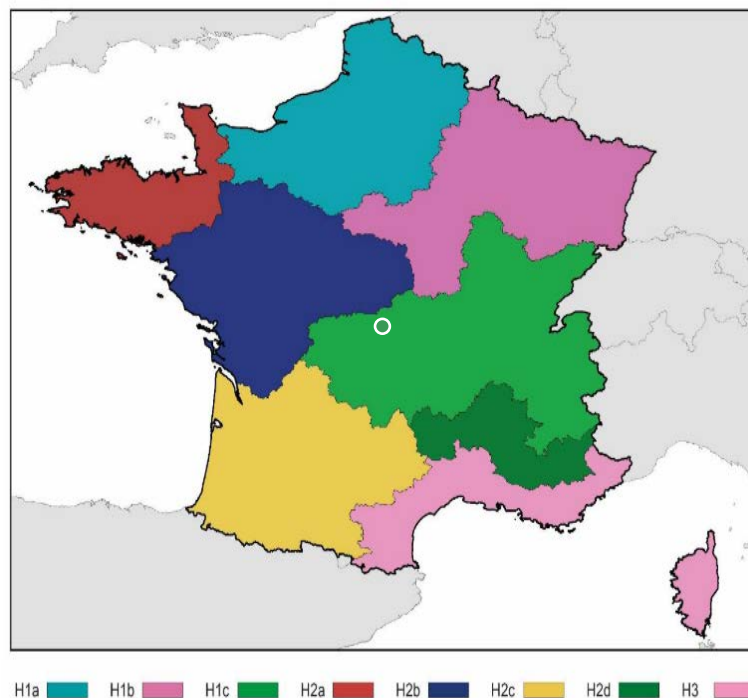


Figure 6. Climate classification in France. Source: Bienvenido-Huertas et al. (2019)

2.3.2 Building typologies and strategies for renovation and construction

The first thermal regulation in France was approved in 1974. At this time, there was a major change in energy efficiency of new buildings. According to the exhaustive study *Analyse détaillée du parc résidentiel existant* by PACTE (2017), French construction can be divided into four long periods:

Before 1948. In 1948, the massive post-war reconstruction period began.




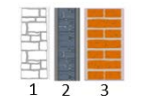


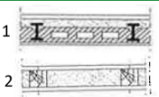


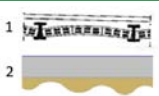


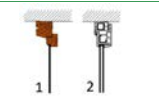







1948–1974. These two dates mark the distinction between ancient buildings built before 1948 and recent buildings built after 1974.




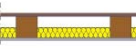








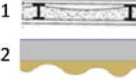








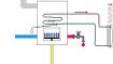

1975–2000. In 1975, the first thermal regulation was implemented. Before this date, buildings were often not insulated. The 1974 regulation imposed a minimum level of insulation.














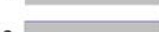









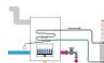

After 2000. The energy weight of buildings built after 2000 is not studied in detail.








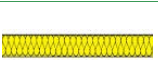
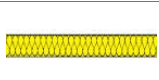






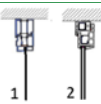







In this report, the main construction periods are divided into subperiods to provide more detail on building stock characteristics. Based on Rochard, Shanthirablan, & Brejon (2015), French buildings can be classified into ten construction periods: before 1915, 1915–1948, 1949–1967, 1968–1974, 1975–1981, 1982–1989, 1990–1999, 2000–2005, 2006–2012 and after 2012. The subperiods before 1974 correspond to historical dates that reflect significant changes in construction methods and the subperiods after 1974 correspond to changes due to the evolution of regulations.




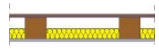

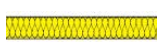

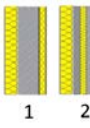
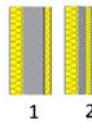



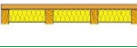













Table 4 presents the construction elements and facilities in each construction period. Their characteristics are complemented with water-energy renovation strategies (i.e., usual refurbishment, advanced refurbishment, effinergie+ and passive level).





















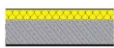




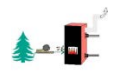
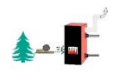


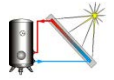
| Bef. 1915 | | | | | | | | | |
|------------------------------|--|--|--------------------------------------|---|---|------------------------|--|---|------------------------|
| Element | Existing state | | | Usual refurbishment | | | Advanced refurbishment | | |
| | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) |
| CONSTRUCTION ELEMENTS | | | | | | | | | |
| Roof |  | Wooden sloping roof (1) with insulation and tiled roofing, (2) with zinc roofing | (1) 1.35 (2) 2.40 |  | Add 12 cm of insulation between rafters + 10 cm of wood fibre | 0.36 |  | Add 12 cm of insulation between rafters + 18 cm of wood fibre | 0.20 |
| Wall |  | Masonry of: (1) rubble stone, (2) hewn stone, (3) solid bricks | (1) 1.50 (2-3) 1.70 |  | Add 6-11 cm of insulation on the inside of the façade | 0.26-0.37 |  | Add 10-12 cm of insulation on the inside of the façade | 0.23-0.24 |
| Floor |  | (1) Metal beams, flooring and brickwork, (2) in solid brick vaults between metal joints | (1) 2.30 (2) 1.20 |  | Add 10 cm of sub-slab insulation | 0.32 |  | Add 14 cm of sub-slab insulation | 0.23 |
| |  | (1) Floor in solid brick vaults between metal joists, (2) concrete floor on solid ground | (1) 3.55 (2) 2.90 |  | Add 7 cm of sub-slab insulation | 0.32 |  | Add 10 cm of sub-slab insulation | 0.23 |
| Windows |  | (1) Wood frame, single glazed, (2) wood or PVC frame, double glazed, 4/12/4, air | (1) 4.80 (2) 2.60 |  | Wood or PVC frame, double glazed, with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 1.1) | 1.40 |  | Wood or PVC frame, double glazed, with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 0.8) | 1.00 |
| FACILITIES | | | | | | | | | |
| Heating system |  | Electric system | |  | Gas condensing boiler, individual system | | - | - | |
| Domestic hot water system |  | Electric heater, individual distribution without looping | |  | Instantaneous DHW by individual boiler | |  | Thermal solar system contribution to the improved boiler | |

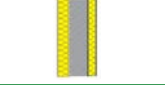
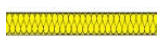


| 1915-1948 | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|---|--------------------------------|--|---|------------------------|---|---|------------------------|
| Element | Construction detail | Existing state | | Usual refurbishment | | | Advanced refurbishment | | |
| | | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) |
| CONSTRUCTION ELEMENTS | | | | | | | | | |
| Roof |  | Wooden sloping roof (1) with insulation and tiled roofing, (2) with zinc roofing | (1) 1.35 (2) 2.40 |  | Add 12 cm of insulation between rafters + 10 cm of wood fibre | 0.36 |  | Add 12 cm of insulation between rafters + 18 cm of wood fibre | 0.20 |
| |  | Wooden roof with 1 cm of insulation on the inside of the roof | 2.42 |  | Add 22 cm of insulation on the outside of the roof | 0.14 |  | Add 30 cm of insulation on the outside of the roof | 0.10 |
| |  | Concrete flat roof without insulation | 3.00-3.60 |  | Add 10 cm of insulation on the outside of the roof | 0.23 |  | Add 20 cm of insulation on the outside of the roof | 0.14 |
| Wall |  | Masonry of: (1) rubble stone, (2) solid bricks | (1) 1.80-2.10 (2) 1.70-1.80 |  | Add (1) 11 cm or (2) 12 cm of insulation on the inside of the façade | (1) 0.26 (2) 0.24 |  | Add 16 cm of insulation on the inside of the façade | 0.19 |
| Floor |  | (1) Metal beams flooring and brickwork in solid brick vaults between metal joints, (2) concrete floor with heavy aggregates | 1.70 |  | Add 10 cm of insulation underneath | 0.32 |  | Add 14 cm of insulation underneath | 0.23 |
| Windows |  | (1) Wood frame, single or double glazed, (2) wood or PVC frame, double glazed, 4/12/4, air | (1) 4.80-2.80 (2) 2.60 |  | Wood or PVC frame, double glazed, with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 1.1) | 1.40 |  | Wood or PVC frame, triple glazed, with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 0.8) | 1.00 |
| FACILITIES | | | | | | | | | |
| Heating system |  | Standard oil boiler | |  | Gas condensing boiler, individual system | | - | - | |
| Domestic hot water system |  | Electric heater, individual distribution without looping | |  | Instantaneous DHW by individual boiler | |  | Thermal solar system contribution to the improved boiler | |




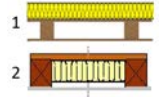
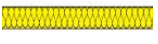
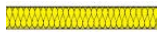



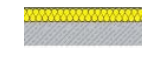
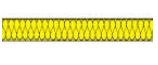
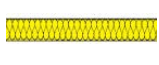

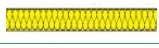
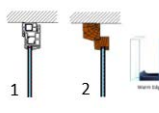






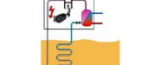
| 1949-1967 | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|--|---------------------------|--|---|------------------------|---|---|------------------------|
| Element | Construction detail | Existing state | | Usual refurbishment | | | Advanced refurbishment | | |
| | | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) |
| CONSTRUCTION ELEMENTS | | | | | | | | | |
| Roof |  | Concrete flat roof without insulation | 3.00-3.20 |  | Add 10 cm of insulation on the outside of the roof | 0.23 |  | Add 20 cm of insulation on the outside of the roof | 0.14 |
| | 1  2  | Wooden roof (1) with 1 cm of insulation on the inside of the roof, (2) without insulation | (1) 2.42 (2) 1.45 |  | Add 22 cm of insulation on the inside of the roof | 0.14 |  | Add 30 cm of insulation on the inside of the roof | 0.10 |
| Wall | 1  2  3  | Masonry of: (1) rubble stone, (2) concrete wall, (3) masonry solid bricks | (1) 1.50 (2-3) 1.70 |  | Add 12 cm of insulation on the outside of the façade | 0.26 |  | Add 16 cm of insulation on the outside of the façade | 0.19 |
| | 1  2  | Concrete floor (1) without insulation, (2) with heavy aggregates | 2.40-2.80 |  | Add 10 cm of insulation sub-slab or 7 cm of insulation sub-screed | 0.32 |  | Add 14 cm of insulation underneath or 7 cm of insulation underfloor | 0.23 |
| Windows | 1  2  | (1) Wood frame, single or double glazed, (2) wood or PVC frame, double glazed, 4/12/4, air | (1) 4.80-2.80 (2) 2.60 |  | Wood or PVC frame, double glazed, with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 1.1) | 1.40 |  | Wood or PVC frame, double glazed, with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 0.8) | 1.00 |
| FACILITIES | | | | | | | | | |
| Heating system |  | Standard oil boiler | |  | Gas condensing boiler, individual system | | - | - | |
| Domestic hot water system |  | Electric heater, individual distribution without looping | |  | Instantaneous DHW by individual boiler | |  | Thermal solar system contribution to the improved boiler | |

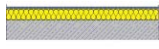
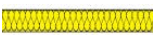
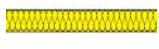








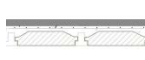
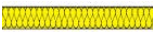
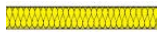

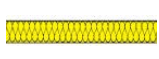








| 1968-1974 | | | | | | | | | |
|------------------------------|--|---|------------------------|---|---|------------------------|--|---|------------------------|
| Element | Construction detail | Existing state | | Usual refurbishment | | | Advanced refurbishment | | |
| | | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) |
| CONSTRUCTION ELEMENTS | | | | | | | | | |
| Roof |  | Concrete flat roof without insulation | 3.00-3.20 |  | Add 10 cm of insulation on the outside of the roof | 0.23 |  | Add 20 cm of insulation on the outside of the roof | 0.14 |
| |  | Concrete flat roof with 4 cm of insulation | 0.76 |  | Add 10 cm of insulation on the outside of the roof | 0.23 |  | Add 20 cm of insulation on the outside of the roof | 0.14 |
| |  | Wooden sloping roof with insulation and tiled roofing, | 1.35 |  | Add 12 cm of insulation between rafters + 10 cm of wood fibre | 0.36 |  | Add 12 cm of insulation between rafters + 18 cm of wood fibre | 0.20 |
| Wall |  | (1) Breeze blocks wall by clay tiles without insulation, | (1) 2.40 (2) 0.78 |  | Add 12 cm of insulation on the outside of the façade | 0.26 |  | Add 16 cm of insulation on the outside of the façade | 0.19 |
| | | (2) concrete wall with 4 cm of insulation on the inside of the wall | | | | | | | |
| Floor |  | Concrete floor without insulation | 2.50 |  | Add 10 cm of insulation sub-slab | 0.32 |  | Add 14 cm of insulation sub-slab | 0.23 |
| Windows |  | (1) Metal frame, single glazed with thermal break, | (1) 5.60 (2) 2.60 |  | Wood or PVC frame, double glazed, with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 1.1) | 1.40 |  | Wood or PVC frame, double glazed, with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 0.8) | 1.00 |
| | | (2) wood or PVC frame, double glazed, 4/12/4, air | | | | | | | |
| FACILITIES | | | | | | | | | |
| Heating system |  | Standard oil boiler | |  | Gas condensing boiler, individual system | | - | - | |
| Domestic hot water system |  | Electric heater, individual distribution without looping | |  | Instantaneous DHW by individual boiler | |  | Thermal solar system contribution to the improved boiler | |
| | | | | | | | | | |

| 1975-1981 | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|---|------------------------|--|---|------------------------|---|---|------------------------|
| Element | Existing state | | | Usual refurbishment | | | Advanced refurbishment | | |
| | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) |
| CONSTRUCTION ELEMENTS | | | | | | | | | |
| Roof |  | Concrete flat roof with (1) 4 cm or (2) 8 cm of insulation | (1) 0.76 (2) 0.57 |  | Add 10 cm of insulation on the outside of the roof | 0.23 |  | Add (1) 20 cm or (2) 30 cm of insulation on the outside of the roof | (1) 0.14 (2) 0.10 |
| |  | Wooden roof with (1) 8 cm or 10 cm of insulation on the inside of the roof | 0.49 |  | Add 22 cm of insulation on the inside of the roof | 0.14 |  | Add 30 cm of insulation on the inside of the roof | 0.10 |
| Wall |  | (1) Breeze block wall and clay tiles with 4 cm of insulation on the inside of the wall, (2) concrete sandwich panel with 4 cm of insulation | (1) 0.61 (2) 0.79 |  | Add 12 cm of insulation on the outside of the façade | 0.26 |  | Add 16 cm of insulation on the outside of the façade | 0.19 |
| Floor |  | Concrete floor with 5 cm of sub-screed insulation and 3 cm of fibralith | 0.46 |  | Add 10 cm of sub-slab insulation | 0.32 |  | Add 14 cm of sub-slab insulation | 0.23 |
| |  | Wooden floor with 4 cm of insulation between beams | 0.90 |  | Add 12 cm of sub-slab insulation | 0.27 |  | Add 16 cm of sub-slab insulation | 0.21 |
| |  | Concrete floor with 2 cm of sub-screed insulation | 1.25 |  | Add 7 cm of sub-screed insulation | 0.32 |  | Add 10 cm of sub-screed insulation | 0.23 |
| Windows |  | (1) Wood frame, double glazed 4/6/4, air, (2) PVC frame, double glazed, 4/6/4, air | (1) 2.80 (2) 3.10 |  | Wood or PVC frame, double glazed, with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 1.1) | 1.40 |  | Wood or PVC frame, double glazed, with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 0.8) | 1.00 |
| FACILITIES | | | | | | | | | |
| Heating system |  | Standard oil boiler | |  | Gas condensing boiler, individual system | | - | - | |
| Domestic hot water system |  | Electric heater, individual distribution without looping | |  | Instantaneous DHW by individual boiler | |  | Thermal solar system contribution to the improved boiler | |

| 1982-1989 | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|---|------------------------|--|---|------------------------|---|---|------------------------|
| Element | Existing state | | | Usual refurbishment | | | Advanced refurbishment | | |
| | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) |
| CONSTRUCTION ELEMENTS | | | | | | | | | |
| Roof |  | Concrete flat roof with 6 cm of insulation | 0.62 |  | Add 10 cm of insulation on the outside of the roof | 0.23 |  | Add 20 cm of insulation on the outside of the roof | 0.14 |
| |  | Wooden roof with 10 cm of insulation on the inside of the roof | 0.32 |  | Add 22 cm of insulation on the inside of the roof | 0.14 |  | Add 30 cm of insulation on the inside of the roof | 0.10 |
| Wall |  | Breeze block wall with clay tiles and 7-8 cm of insulation on the inside of the wall | 0.42-0.47 |  | Add 11-12 cm of insulation on the inside of the façade | 0.24-0.26 |  | Add 16 cm of insulation on the inside of the façade | 0.19 |
| |  | Concrete wall with 8 cm of insulation on the outside | 0.36 |  | Add 12 cm of insulation on the outside of the façade | 0.26 |  | Add 16 cm of insulation on the outside of the façade | 0.19 |
| |  | Shuttered concrete wall with 4 cm of insulation on the inside of the façade | 0.78 |  | Add 12 cm of insulation on the outside of the façade | 0.26 |  | Add 16 cm of insulation on the outside of the façade | 0.19 |
| Floor |  | Concrete floor with 5-8 cm of sub-slab insulation | 0.42-0.54 |  | Add 12 cm of sub-slab insulation | 0.27 |  | Add 16 cm of sub-slab insulation | 0.21 |
| |  | Concrete floor with 2 cm of sub-screed insulation | 1.25 |  | Add 7 cm of sub-screed insulation | 0.32 |  | Add 10 cm of sub-screed insulation | 0.23 |
| Windows |  | (1) Wood frame, double glazed 4/6/4, air, (2) wood or PVC frame, double glazed, 4/12/4, air | (1) 2.80 (2) 2.60 |  | Wood or PVC frame, double glazed, with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 1.1) | 1.40 |  | Wood or PVC frame, triple glazed, with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 0.8) | 1.00 |
| FACILITIES | | | | | | | | | |
| Heating system |  | Wood stoves (>2001) and electric convectors | |  | Wood-fired boiler, individual insulated network | |  | Wood-fired boiler, individual insulated network | |
| Domestic hot water system |  | Electric heater, individual distribution, without looping | |  | Instantaneous DHW by individual boiler | |  | Thermal solar system contribution to the improved boiler | |

| 1990-1999 | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|---|----------------------------------|--|---|------------------------|---|---|------------------------|
| Element | Existing state | | | Usual refurbishment | | | Advanced refurbishment | | |
| | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) |
| CONSTRUCTION ELEMENTS | | | | | | | | | |
| Roof |  | Concrete flat roof with 8-6 cm of insulation | 0.43 |  | Add 10 cm of insulation on the outside of the roof | 0.23 |  | Add 20 cm of insulation on the outside of the roof | 0.14 |
| |  | Insulation between wood joist | (1) 0.19 (2) 0.24 |  | Add the equivalent of 6 cm of insulation on the outside or inside of the roof | 0.25 |  | Add the equivalent of 10 cm of insulation at the outside or inside of the roof | 0.18 |
| |  | Wooden roof with 14 cm of insulation | 0.23 | - | - | - |  | Add 30 cm of insulation on the outside of the roof | 0.10 |
| Wall |  | (1) Concrete wall with 8 cm of insulation on the outside of the façade, (2) concrete wall | (1) 0.36 (2) 3.00 |  | Add 12 cm of insulation on the outside of the façade | 0.26 |  | Add 16 cm of insulation on the outside of the façade | 0.19 |
| |  | Concrete wall with 10 cm of insulation on the inside of the façade | 0.33 |  | Add 12 cm of insulation on the outside of the wall | 0.26 |  | Add 16 cm of insulation on the outside of the wall | 0.19 |
| Floor |  | Concrete slab with (1) 7 cm or (2) 10 cm of sub-screed insulation | (1) 0.42 (2) 0.36 |  | Add 12 cm of sub-slab insulation | 0.27 |  | Add 16 cm of sub-slab insulation | 0.21 |
| |  | Concrete slab with 10 cm of sub-slab insulation | 0.34 | - | - | - |  | Add 16 cm of sub-slab insulation | 0.21 |
| Windows |  | (1) Wood or PVC frame, double glazed, 4/12/4, air, (2) wood or PVC frame, double glazed, 4/12/4, air, and low emissivity layer, (3) metal frame, double glazed, 4/12/4, air | (1) 2.60 (2) 1.80 (3) 3.30 |  | Wood or PVC frame, double glazed, with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 1.1) | 1.40 |  | Wood or PVC frame, triple glazed, with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 0.8) | 1.00 |
| FACILITIES | | | | | | | | | |
| Heating system |  | Standard oil boiler | |  | Gas condensing boiler, individual system | | - | - | |
| Domestic hot water system |  | Electric heater, individual distribution without looping | |  | Instantaneous DHW by individual boiler | |  | Thermal solar system contribution to the improved boiler | |

| 2000-2005 | | Existing state | | Usual refurbishment | | | Advanced refurbishment | | |
|------------------------------|---|--|---|--|---|---|---|---|--|
| Element | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) |
| CONSTRUCTION ELEMENTS | | | | | | | | | |
| Roof |  | Concrete flat roof with 10 cm of insulation | (1) 0.28 (2) 0.19 |  | Add 10 cm of insulation on the outside of the roof | 0.23 |  | Add 20 cm of insulation on the outside of the roof | 0.14 |
| | 1 2 |  | (1) Wooden roof with 20 cm of insulation, (2) insulation between wood joist | (1) 0.19 (2) 0.24 |  | Add the equivalent of 4-6 cm of insulation on the outside or inside of the roof | 0.17-0.18 |  | Add the equivalent of 8-10 cm of insulation at the outside or inside of the roof |
| Wall |  | Hollow cinder block wall or concrete wall with 10 cm of insulation on the inside of the façade | 0.30-0.33 |  | Add 12 cm of insulation on the outside of the wall | 0.26 |  | Add 16 cm of insulation on the outside of the wall | 0.19 |
| Floor |  | Concrete slab with (1) 7 cm or (2) 10 cm of sub-screed insulation | (1) 0.42 (2) 0.36 |  | Add 12 cm of sub-slab insulation | 0.27 |  | Add 16 cm of sub-slab insulation | 0.21 |
| | |  | Concrete slab with 10 cm of sub-slab insulation | 0.34 | - | - | - |  | Add 16 cm of sub-slab insulation |
| Windows | 1 2  | (1) Wood or PVC frame, double glazed, 4/12/4, air, and low emissivity layer, (2) frame, double glazed, 4/12/4, reinforced thermal insulation for glazing | (1) 1.80 (2) 1.60 |  | Wood or PVC frame, double glazed, with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 1.1) | 1.40 |  | Wood or PVC frame, triple glazed, with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 0.8) | 1.00 |
| FACILITIES | | | | | | | | | |
| Heating system |  | Standard oil boiler | |  | Gas condensing boiler, individual system | | - | - | |
| Domestic hot water system |  | Electric heater, individual distribution without looping | |  | Instantaneous DHW by individual boiler | |  | Thermal solar system contribution to the improved boiler | |

| 2006-2012 | | Existing state | | Usual refurbishment | | Advanced refurbishment | | | |
|------------------------------|--|--|------------------------|--|--|------------------------|---|---|------------------------|
| Element | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) |
| CONSTRUCTION ELEMENTS | | | | | | | | | |
| Roof |  | Concrete flat roof with (1) 8 cm, or (2) 12 cm of insulation | (1) 0.28 (2) 0.19 |  | Add (2) 10 cm of insulation | (2) 0.23 |  | Add (1) 20 cm of insulation | (1-2) 0.12 |
| | 1 2 | (1) Wooden roof with 20 cm of insulation, (2) insulation between wood joist | (1) 0.19 (2) 0.24 |  | Add the equivalent of 4 cm of insulation on the outside or inside of the roof | 0.17 |  | Add the equivalent of 8 cm of insulation on the outside or inside of the roof | 0.14 |
| Wall | 1 2  | (1) Concrete wall with 12 cm of insulation on the outside of the façade, (2) cellular concrete blocks wall | 0.29 |  | Add the equivalent of 5 cm of insulation on the outside of the façade | 0.20-0.22 |  | Add the equivalent of 10 cm of insulation on the outside of the façade | 0.15-16 |
| |  | Concrete wall with 10 cm of thermal insulation on the inside of the façade | 0.30 |  | Add 12 cm of insulation on the outside of the wall | 0.26 |  | Add 16 cm of insulation on the outside of the wall | 0.19 |
| Floor |  | Insulating vaults on crawl space with sub-screed insulation | 0.18 |  | Add (1) 7 cm - (2) 10 cm of insulation underneath | (1) 0.32 (2) 0.28 |  | Add (1) 10 cm - (2) 14 cm of insulation underneath | (1) 0.23 (2) 0.19 |
| |  | Concrete slab with (1) 12 cm or (2) 16 cm of sub-screed insulation | (1) 0.27 (2) 0.20 | - | - | - |  | Add 16 cm of sub-slab insulation | 0.21 |
| Windows |  | Frame, double glazed, 4/12/4, reinforced thermal insulation for glazing | 1.60 |  | Wood or PVC frame, double glazed, 4/16/4 with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 1.1) | 1.40 |  | Wood or PVC frame, triple glazed, with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 0.8) | 1.00 |
| FACILITIES | | | | | | | | | |
| Heating system |  | Standard oil boiler | |  | Gas condensing boiler, individual system | | - | - | |
| Domestic hot water system |  | Electric heater, individual distribution without looping | |  | Instantaneous DHW by individual boiler | |  | Thermal solar system contribution to the improved boiler | |

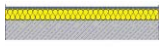
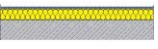
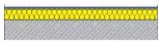

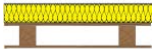
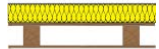






















| After 2012 | | Thermal regulation 2012 | | Label "effinergie +" | | | Passive level | | |
|------------------------------|---|--|----------------------------------|--|---|-------------------------------|---|---|----------------------------------|
| Element | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) | Construction detail | Description | U (W/m ² K) |
| CONSTRUCTION ELEMENTS | | | | | | | | | |
| Roof |  | Concrete flat roof with (1) 8 cm, (2) 16 cm, or (3) 20 cm of insulation | (1) 0.28 (2) 0.15 (3) 0.12 |  | Concrete flat roof with (1) 12 cm, or (2) 20 cm of insulation | (1) 0.19 (2) 0.12 (3) - |  | Concrete flat roof with (1) 20 cm, or (2-3) 24 cm of insulation | (1) 0.12 (2) 0.10 (3) 0.10 |
| |  | Wooden roof with 22 cm of insulation above | 0.17 |  | Wooden roof with 30 cm of insulation above | 0.13 |  | Wooden roof with 30 cm of insulation above | 0.13 |
| Wall |  | Insulating brick wall with 10 cm of insulation inside the wall | 0.21 |  | Insulating brick wall with 12 cm of thermal insulation inside the wall | 0.18 |  | Concrete wall with 26 cm of thermal insulation outside the wall | 0.12 |
| |  | Concrete wall with 12 cm of insulation outside the wall | 0.25 |  | Concrete wall with 16 cm of thermal insulation outside the wall | 0.19 | | | |
| |  | Timber frame wall with 14 cm of insulation and interior lining with 4 cm of insulation | 0.24 |  | Timber frame wall with 20 cm of insulation and interior lining with 4 cm of insulation | 0.18 |  | Timber frame wall with 22 cm of insulation and interior lining with 10 cm of insulation | 0.11 |
| Floor |  | Insulating vaults on crawl space | 0.21 |  | Insulating vaults on crawl space with 8 cm of insulation | 0.12 |  | Insulating vaults on crawl space with 8 cm of insulation | 0.12 |
| |  | Concrete floor with 12 cm of insulation under slab | 0.27 |  | Concrete floor with 16 cm of insulation under the floor | 0.19-0.21 |  | Concrete floor with (1) 20 cm or (2) 26 cm of insulation under the floor | (1) 0.17 (2) 0.12 |
| Windows |  | Frame, double glazed, 4/12/4, reinforced thermal insulation for glazing | 1.60 |  | Wood or PVC frame, double glazed, with reinforced thermal insulation for glazing (U _g = 1.1) | 1.40 |  | Passive carpentry, triple glazed, 4/16/4/16/4, with reinforced thermal insulation for glazing | 0.80 |
| FACILITIES | | | | | | | | | |
| Heating system |  | (1) Air-to-water electric heat pump | - | - | - | - |  | Multi-integrated system with exhaust air heat pump | - |
| Domestic hot water system |  | Heat pump + storage tank, individual distribution without looping | - |  | Heat pump + storage tank, individual distribution, improved insulation, without looping | - |  | Multi-integrated system + storage tank, individual distribution, improved insulation, without looping | - |

Table 4. French building typologies and water-energy efficiency strategies. Source: Rochard, Shanthirablan, & Brejon (2015)

3. LOCAL AVAILABILITY OF RENOVATION AND CONSTRUCTION MATERIALS

The aim of this section is to compile the raw materials, local processing of the materials and local production in COLEOPTER territories to be used in renovation and/or construction works. All this information has been compiled and complemented with a set of properties to consider in water-energy renovation and construction in the Sudoe area. This information is included in Section 3.2. Section 3.1 describes the main material properties and characteristics included in the analysis.

3.1 MATERIAL PROPERTIES GUIDE

CES EduPack Database for Architecture⁷ (Ashby, Fernandez, & Gray, 2008) was used to collect the properties of the materials included in this report. This database contains more than 120 materials commonly used in architectural applications, including engineered woods, steels, concretes, bricks and cements. A comprehensive set of mechanical, thermal, electrical, hygrothermal, acoustic and eco-properties are provided by the CES EduPack Database, along with durability information.

This report only includes properties with a high impact in terms of water-energy renovation and construction. The description below is based on Ashby, Fernandez, & Gray (2008). Additionally, the materials compiled in Section 3.2 are identified by building subsystem, in other words, by where in a building they can be used.

3.1.1 Building subsystem

The **superstructure (S)** is the collection of elements, including columns, beams, slabs and other components, that transfer static and dynamic loads from the building down to the foundation (or the substructure). Most building superstructures are hidden from view, covered by interior and exterior finishing materials. Other superstructures are an integral aspect of a building's architecture. Examples are the Eiffel Tower or the Centre Pompidou, both in Paris.

The **enclosure (E)** includes all the components that contribute to a durable, reliable weather barrier between the ever-changing exterior climate and the need for a stable interior environment. Windows, doors, vapour and air barriers, brick masonry, wood siding, copper flashing and many other components are assembled to control the flux resulting from air pressure, water vapour and thermal gradients between the inside and the outside. In addition, the enclosure is the "face" of a building and thus plays an important symbolic role.

The **interior (I)** building system includes all the non-structural components that spatially define the habitable space of buildings such as floor assemblies and surfaces, ceilings and wall materials, partitions, interior glazing, doors and other space-defining elements.

The building **services (Sv)** are a set of elements that provide a constant stream of air, heating and cooling, electricity, water and data delivered from central utility plants in the building to all spaces within the interior volume. This diverse group of components includes metal ducts to deliver heated or cooled air, copper and PVC plumbing to transport water, insulated copper wiring, glass optical fibre cables and many kinds of devices that serve these delivery systems including, chillers, boilers, pumps and valves. These systems are material intensive, as they require not only all kinds of metals and

⁷ GRANTA EduPack software, Granta Design Limited, Cambridge, UK, 2020 (www.grantadesign.com)

ceramics to store and deliver water and air, but also a great variety of polymers and composites for seals, adhesives, gaskets and other joint conditions.

While **water facilities (W)** are part of the services subsystem, the present report identifies them in an individual category to emphasize their relevance in renovation and construction works.

3.1.2 General properties

Source identifies when a material comes directly from nature.

The **price** (in €/kg) of materials depends on many factors, including the influence of supply and demand, the amount someone wishes to purchase and the relationship with the supplier. The prices of commodity materials given in the CES Edupack Database are derived from current London Metal Exchange, Bullion Market and Commodity Market values. Where this is not possible, prices are derived from a price model.

Density (in kg/m³) is the mass per unit volume.

3.1.3 Thermal and combustion properties

The **conductivity** of a material represents its ability to conduct heat. Some materials conduct heat well, others offer resistance to conduction. In this document, the thermal conductivity is ranked on a 4-point scale: good insulator, poor insulator, poor conductor and good conductor.

Thermal resistivity (in m²C/W) is the rate at which heat is conducted through a solid at steady state.⁸ It is governed by thermal conductivity λ . The thermal resistivity is the reciprocal of the thermal conductivity. Figure 7 shows a CES Edupack Database representation of the thermal resistivity of various materials.

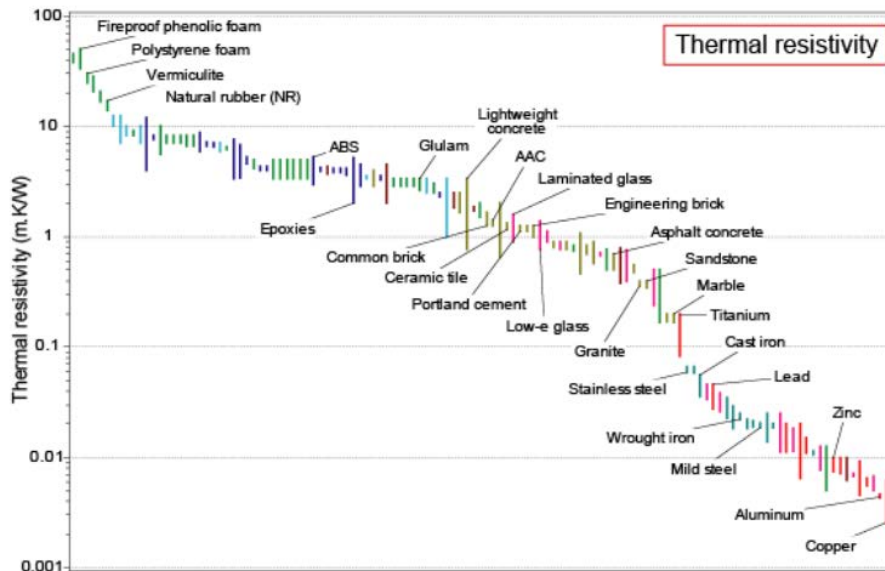


Figure 7. Bar chart of thermal resistivity of various materials. Source: Ashby et al. (2008)

⁸ Meaning that the temperature profile does not change over time.

Specific heat capacity at constant pressure (in J/kg·°C) specifies the amount of heat required to raise the temperature of 1 kg of material by 1°C (K). It is measured by recording the heat flux (W/m²) flowing from the surface at temperature T₁ to one at T₂ in the material, separated by distance.

Emissivity is a measure of the heat radiation emitted by a material. An ideal black body is assigned an emissivity of 1. The emissivity is highly dependent on the surface condition of the material, whether it is polished, painted or coated. The information in this report refers to the emissivity of the material in its natural state.

3.1.4 Hygrothermal properties

Water absorption (in %) is defined as the increase in mass as a result of moisture absorption when a major surface of a specimen is placed in contact with liquid water.

Water vapour permeability (in kg·m/s·m²·Pa) is defined as the mass of water vapour transmitted in unit time, under unit pressure difference, through a unit area of material of unit thickness. The CES Edupack database uses values quoted for relative humidity of 50% and room temperature.

Frost resistance. Resistance to water absorption is the most important aspect of resisting damage due to freeze-thaw cycles. Brittle and porous materials, such as lime mortars, brick and concrete, may be critically damaged by absorbing liquid water that then freezes and expands within the solid. In this document, frost resistance is ranked on a 5-point scale ranging from very good to very poor.

3.1.5 Eco-properties

Eco-properties are grouped into three categories (primary material production, material processing and material recycling) as detailed below. All categories include **embodied energy** and the **CO₂ footprint**. Additionally, primary material production includes **water usage** and material recycling includes the **recycle fraction**.

Primary material production

- The **embodied energy** (in MJ/kg) is the energy required to make 1 kg of the material from its ores or feedstocks. The data are approximate but are still useful to rank materials by the energy they have required. Figure 8 presents the embodied energies and thermal conductivities of various construction materials.

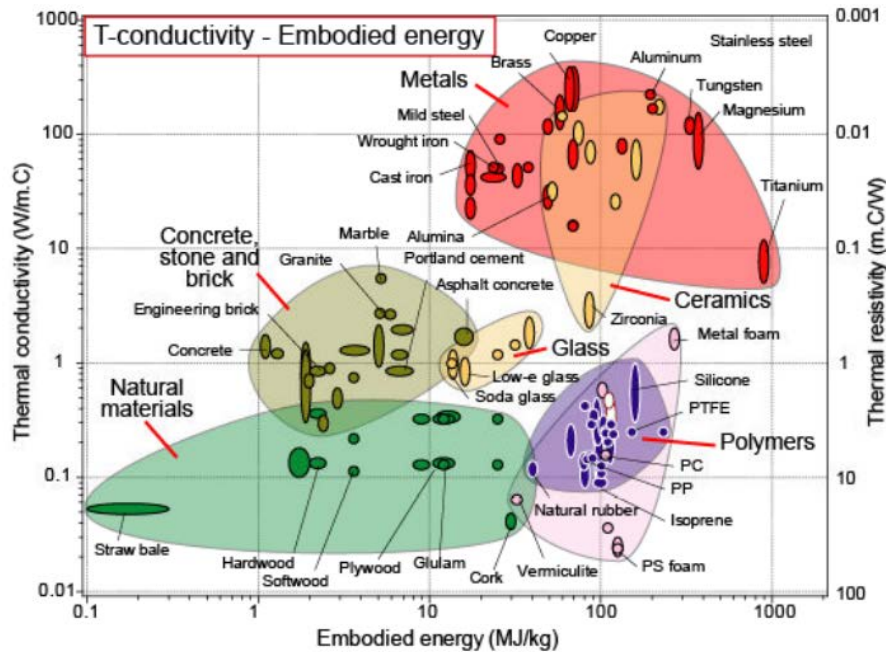


Figure 8. Embodied energy and thermal resistivity of construction materials. Source: Ashby et al. (2008)

- The **CO₂ footprint** (in kgCO₂/kg) is the mass of equivalent CO₂ produced and released into the atmosphere, as a consequence of the production of one kg of the material.
- **Water usage** data (in l/kg) are largely compiled by direct measurements of factory inputs and outputs. The range for engineering materials extends from 10 l/kg to over 1000 l/kg. Water usage data includes extraction of minerals, material conditioning, pollution control, cooling material or equipment, etc. The water consumption for natural materials includes water used for cultivation, on top of that utilised during manufacturing. It should be noted that water usage is very dependent on location. The scarcity or abundance of water will affect manufacturing practice. These values give a global world average and do not reflect local variations in water supply.

Material processing

- The **embodied energy** (in MJ/kg) in material processing includes the energy used to convert the material to one kilogram of the product.
- The **CO₂ footprint** (in kgCO₂/kg) in material processing represents the emitted CO₂ associated with the conversion of the material to one kilogram of the product.

Material recycling

- The **recycle fraction** (in %) is the fraction of current supply that is derived from recycling.
- The **embodied energy** (in MJ/kg) in material recycling includes the energy used to recycle one kilogram of the product.
- **CO₂ footprint** (in kgCO₂/kg) in material recycling represents the emitted CO₂ to recycle one kilogram of the product.

3.2 RAW MATERIALS, LOCAL PROCESSING AND LOCAL PRODUCTION IN EACH TERRITORY

Table 5 shows the raw materials and products available in the three territories for building renovation and construction work. Additionally, it gives their main properties to facilitate the selection of more appropriate materials to maximize the local impact of water-energy efficiency projects.

All raw materials and products are identified by their availability in the Sudoe territories with the collaboration of COLEOPTER partners and associates in each country. Raw materials are identified by local⁹ availability (**L**) and the existence of local processing (**LP**) of the material. Products are identified if they are produced at local scale (**LPD**).

⁹ Local refers to CIM do Ave in Póvoa do Lanhoso, Murcia in Tallante and Creuse in Chambon-sur-Voueize and Chénérailles.

| Availability in the Sudoe territories | | | | | | | | | Building system | | | | | General properties | | Thermal and combustion properties | | | Hygrothermal properties | | Material production | | | Material processing | | Material recycling | | | |
|---------------------------------------|----|-----|--------|----|-----|--------|----|-----|-----------------|---|---|---|----|--------------------|--|-----------------------------------|---------------------------------------|------------|---|--|---------------------|---------------------------|-------------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------------------|---|
| CIM do Ave | | | Murcia | | | Creuse | | | S | E | I | W | Sv | Source | Density | Resistivity | Specific heat capacity | Emissivity | Water absorption | Water vapour permeability | Embodied energy | CO ₂ footprint | Water usage | Embodied energy | CO ₂ | Recycle fraction | Embodied energy | CO ₂ footprint | |
| L | LP | LPD | L | LP | LPD | L | LP | LPD | | | | | | kg/m ³ | m. ^o C/W | J/kg. ^o C | % | % | Kg.m/s.m ² .Pa | MJ/kg | kg/kg | l/kg | MJ/kg | kg/kg | % | MJ/kg | kg/kg | | |
| PETROUS MATERIALS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Brick and tile | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ceramic tile | | | ✓ | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | Natural | 2.05e ³ -2.4e ³ | 1.18-1.33 | 750-850 | 0.5 | 0.05-0.3 | 1.02e ⁻¹³ -7e ⁻¹³ | 11.4-12.6 | 1.59-1.76 | 12-13.2 | 3.18-3.52 | 0.239-0.264 | 0.1 | - | - | |
| Common brick | | | ✓ | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | Natural | 1.69e ³ -1.95e ³ | 1.25-1.67 | 750-850 | 0.75-0.93 | 2-7 | 4.38e ⁻¹² -4.67e ⁻¹² | 2.2-5 | 0.206-0.227 | 5.27-5.38 | 9.7-10.7 | 0.727-5.83 | 15-20 | - | - | |
| Engineering brick | | | ✓ | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | Natural | 2.1e ³ -2.5e ³ | 1-1.25 | 750-850 | 0.75-0.93 | 0.5-2 | 4.38e ⁻¹² -4.67e ⁻¹² | 26.5-29.3 | 3.71-4.1 | 5.27-5.83 | 7.29-8.05 | 0.547-0.604 | 0.1 | - | - | |
| Facing brick | | | ✓ | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | Natural | 2.05e ³ -2.3e ³ | 1.11-1.25 | 750-850 | 0.75-0.93 | 2-7 | 2.5e ⁻¹² -2e ⁻¹¹ | 20.5-22.6 | 2.86-3.16 | 5.27-5.83 | 3.24-3.58 | 0.243-0.269 | 0.1 | - | - | |
| Refractory brick | | | ✓ | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | Natural | 600-900 | 2.86-4 | 750-800 | 0.75-0.93 | 0.2-0.3 | - | 2.4 | 0.181-0.2 | 21.8-24.1 | 1.63-1.8 | 0.122-0.135 | 0.1 | - | - | |
| Ceramics (other than tiles) | | | | | | | | | | | | ✓ | | Natural | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Cement | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cement (ordinary Portland) | | | | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | Natural | 1.79e ³ -2.21e ³ | 1.11-1.25 | 815-865 | 0.54 | 9.76e ⁻¹² -2.6e ⁻¹¹ | - | 5.4-6 | 0.906-1 | 35.1-38.8 | 2.35-2.6 | 0.177-0.195 | 1.1-1.3 | - | - | |
| Concrete | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Asphalt concrete | | | | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | Natural | 2.2e ³ -2.8e ³ | 0.5-0.7 | 850-920 | 0.9 | 0 | 0 | 1-1.3 | 0.0903-0.0998 | 3.23-3.57 | 0.537-0.593 | 0.0403-0.0445 | 0.758-0.838 | 0.0631-0.0698 | 13-14.4 | |
| Autoclaved aerated concrete | | | | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | | Natural | 400-900 | 1.25-1.43 | 860-1.1e3 | 0.63-0.97 | - | 6.01e ⁻¹² -2.8e ⁻¹¹ | 1-1.3 | 0.0903-0.0998 | 14.3-15.8 | 0.949-1.05 | 0.0712-0.0787 | 0.758-0.838 | 0.0631-0.0698 | 13-14.4 | |
| Concrete (structural lightweight) | | | | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | | Natural | 1.4e ³ -2e ³ | 0.769-3.33 | 860-1.1e3 | 0.63-0.97 | - | 2e ⁻¹² -6.01e ⁻¹² | 1-1.3 | 0.0903-0.0998 | 14.3-15.8 | 2.49-2.76 | 0.187-0.207 | 0.758-0.838 | 0.0631-0.0698 | 13-14.4 | |
| Dense concrete | | | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | Natural | 2e ³ -2.4e ³ | 0.571-0.909 | 835-1.05e3 | 0.63-0.97 | - | 2e ⁻¹² -6.01e ⁻¹² | 1-1.3 | 0.0903-0.0998 | 3.23-3.57 | 2.06-2.28 | 0.155-0.171 | 0.758-0.838 | 0.063-0.07 | 12.5-15 | |
| High performance concrete | | | | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | | Natural | 2.5e ³ -2.7e ³ | 0.77-0.9 | 900-1e3 | 0.63-0.97 | - | 2e ⁻¹² -6.01e ⁻¹² | 1-1.3 | 0.0903-0.0998 | 3.23-3.57 | 6.08-6.72 | 0.456-0.504 | 0.758-0.838 | 0.0631-0.0698 | 13-14.4 | |
| High volume fly ash concrete | | | | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | Natural | 1.83e ³ -2.2e ³ | 0.8-0.9 | 813-867 | 0.63-0.97 | - | 2e ⁻¹² -6.01e ⁻¹² | 1-1.3 | 0.0903-0.0998 | 3.23-3.57 | 5.31-5.87 | 0.398-0.44 | 13-14 | - | - | |
| Reactive powder concrete | | | | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | | Natural | 0.146-2.75e ³ | 0.7-0.83 | 900-1e3 | 0.63-0.97 | 1.5-1.6 | 2e ⁻¹² -6.01e ⁻¹² | 1-1.3 | 0.0903-0.0998 | 3.23-3.57 | 25.6-28.3 | 1.92-2.12 | 13-14.4 | - | - | |
| Plaster | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Plaster | | | | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | | Natural | 1.18e ³ -1.7e ³ | 1.67-2.5 | 600-1e ³ | 0.9 | - | - | 2.09-2.31 | 0.186-0.206 | 9.79-10.8 | 2.72-3.01 | 0.204-0.225 | 0.1 | - | - | |
| Bitumen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bitumen | | | | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | | Natural | 997-1.05e ³ | 0.17-0.2 | 1.68e ³ -1.8e ³ | 0.93-0.95 | 0 | 0 | 101-111 | 0.2-0.3 | - | - | - | 0.1 | - | - | |
| Stone | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Granite | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Natural | 2.63e ³ -2.8e ³ | 0.358-0.398 | 775-840 | 0.44 | 0.1-0.5 | - | 5.5-6.4 | 0.303-0.335 | 3.23-3.57 | 11.4-12.6 | 0.858-0.949 | 1-2 | - | - | |
| Limestone | | | | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Natural | 2.55e ³ -2.6e ³ | 0.465-1.09 | 807-924 | 0.95 | 2.5-11 | - | 0.24-0.35 | 0.0147-0.0163 | 13-14.4 | 6.19-6.84 | 0.464-0.513 | 1.3-1.5 | - | - | |
| Marble | | | | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Natural | 2.73e ³ -2.84e ³ | 0.167-0.2 | 853-887 | 0.75-0.95 | 0.1-0.5 | 4.73e ⁻¹³ -6.51e ⁻¹² | 1.8-2.2 | 0.118-0.13 | 3.23-3.57 | 5.66-6.26 | 0.425-0.469 | 1.3-1.5 | - | - | |
| Sandstone | | | | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Natural | 2.24e ³ -2.66e ³ | 0.345-0.398 | 837-923 | 0.6-0.83 | 2-8.5 | - | 0.4-0.6 | 0.0269-0.0297 | 3.23-2.57 | 7.34-8.11 | 0.551-0.608 | 1.3-1.5 | - | - | |
| Slate | | | | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Natural | 2.6e ³ -2.9e ³ | 0.476-0.556 | - | 0.9 | 0.01-0.1 | - | 1.16-1.29 | 0.0698-0.0772 | 3.23-3.57 | 10.5-11.6 | 0.788-0.871 | 5-10 | - | - | |

| Availability in the Sudoe territories | | | | | | | | | Building system | | | | | General properties | | Thermal and combustion properties | | | Hygrothermal properties | | Material production | | | Material processing | | Material recycling | | |
|---------------------------------------|----|-----|--------|----|-----|--------|----|-----|-----------------|---|---|----------|--|--|--|-----------------------------------|------------------------|--|---------------------------|---------------------------|--|---------------------------|---------------------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------------------|
| CIM do Ave | | | Murcia | | | Creuse | | | S | E | I | W | Sv | Source | Density | Resistivity | Specific heat capacity | Emissivity | Water absorption | Water vapour permeability | Embodied energy | CO ₂ footprint | Water usage | Embodied energy | CO ₂ | Recycle fraction | Embodied energy | CO ₂ footprint |
| L | LP | LPD | L | LP | LPD | L | LP | LPD | | | | | | kg/m ³ | m ^o C/W | J/kg.oC | % | % | Kg.m/s.m ² .Pa | MJ/kg | kg/kg | l/kg | MJ/kg | kg/kg | % | MJ/kg | kg/kg | |
| GLASS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Laminated glass | | | ✓ | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Natural | 2.35e ³ -2.45e ³ | 0.9-1.6 | 850-950 | - | 0 | 0 | 27.7-30.6 | 1.67-1.84 | 28.7-31.8 | 37.48-41.43 | 2.844-3.146 | 0.1 | 21.4-23.7 | 0.649-0.718 | |
| Low-e glass | | | ✓ | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Natural | 2.44e ³ -2.49e ³ | 0.77-1.4 | 850-950 | 0.1-0.4 | 0 | 0 | 17.1-18.9 | 1.1-1.21 | 376-416 | 2.936-3.246 | 38.6-42.77 | 2.936-3.246 | 0.1 | 13.2-14.6 | 0.324-0.359 | |
| Soda-lime glass | | | ✓ | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Natural | 2.44e ³ -2.49e ³ | 0.909-1.11 | 848-953 | 0.86-0.95 | 0 | 0 | 10.1-11.1 | 0.72-0.796 | 13.6-15.1 | 33.42-37.76 | 2.545-2.877 | 23-25 | 8.25-9.1 | 0.504-0.555 | | |
| METALLIC MATERIALS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ferrous alloys | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cast iron | | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Natural | 6.94e ³ -7.23e ³ | 0.0139-0.025 | 460-508 | 350-450 | 0 | 0 | 30.8-34 | 2.26-2.49 | 44-48 | 11063.5-12183.5 | 829.4-914.9 | 60-80 | 7.65-8.45 | 0.291-0.321 | | |
| Galvanised steel | | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Natural | 7.8e ³ -7.9e ³ | 0.0185-0.02 | 460-505 | 150-180 | 0 | 0 | 26-28.7 | 1.78-1.97 | 56.3-62.2 | 17310.1-19132.2 | 1295.8-1437.5 | 52.3-57.8 | 7.14-7.89 | - | | |
| Terne coated steel | | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Natural | 7.85e ³ -7.9e ³ | 0.0108-0.0112 | 481 | 90-150 | 0 | 0 | 32.6-36 | 2.18-2.41 | 299-330 | 17310.1-19132.1 | 1295.8-1427.4 | 52.3-57.8 | 8.49-9.38 | - | | |
| Stainless steel | | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Natural | 7.61e ³ -7.87e ³ | 0.0588-0.0667 | 450-510 | 640-747 | 0 | 0 | 69.1-76.2 | 5.18-5.71 | 130-140 | 11582.9-12802.1 | 870.88-960.31 | 35-40 | 16.8-18.5 | 1.36-1.5 | | |
| Wrought iron | | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Natural | 7.4e ³ -7.8e ³ | 0.022-0.025 | 460-470 | 340-400 | 0 | 0 | 25.1-27.7 | 1.72-1.9 | 42.3-46.7 | 18510.5-20432.5 | 1385.83-1537.57 | 52.3-57.8 | 6.96-7.69 | 0.0376-0.0415 | | |
| Non-ferrous alloys | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aluminium | | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Natural | 2.7e ³ -2.73e ³ | 0.0055-0.0065 | 934-972 | 77-180 | 0 | 0 | 198-219 | 12.2-13.5 | 1.13e ³ -1.25e ³ | 15679-17297.17 | 1173.4195-1294.8098 | 40.5-44.7 | 33.4-37 | 0.958-1.21 | | |
| POLYMERS AND ELASTOMERS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Elastomers | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ethylene propylene terpolymer | | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Man-made | 860-870 | 5.88-7.14 | 2e ³ -2.2e ³ | 0.86-0.87 | 0.01 | - | 90-99.4 | 4.28-4.73 | - | 17.483-19.29 | 2.303-2.54 | 0.1 | - | - | | |
| Polychloroprene | | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Man-made | 1.23e ³ -1.3e ³ | 8.33-10 | 2.11e ³ -2.19e ³ | 0.9 | 0.1-0.2 | - | 61.2-67.6 | 67.6 | 126-378 | 20.73-22.81 | 4.9-5.42 | 1.3-1.5 | - | - | | |
| Polymers | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Polycarbonate | | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Man-made | 1.19e ³ -1.21e ³ | 4.59-5.29 | 1.15e ³ -1.25e ³ | 0.88 | 0.135-0.2 | 2.2e ⁻¹² -2.5e ⁻¹² | 103-114 | 5.74-6.35 | 165-182 | 43.75-48.36 | 3.2804-3.626 | 0.67-0.74 | 35.1-38.6 | 2.32-2.56 | | |
| Epoxies | | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Man-made | 1.11e ³ -1.4e ³ | 2-5.56 | 1.17e ³ -1.25e ³ | - | 0.05-0.8 | 8.99e ⁻¹³ -9.05e ⁻¹³ | 127-140 | 6.83-7.55 | 26.6-29.4 | 53.89-59.35 | 4.148-4.573 | 0.67-0.74 | - | - | | |
| DUCK CANVAS AND FIBERS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Foams | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fireproof phenolic foam | | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Man-made | 35-70 | 33.3-50 | 1.85e ³ -1.91e ³ | - | 6-7 | 3.79e ⁻¹¹ -3.8e ⁻¹¹ | 97.9-108 | 4.48-4.95 | 148-163 | 39.036-43.162 | 3.1133-3.43 | 0.1 | - | - | | |
| Polystyrene | | ✓ | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Man-made | 47-53 | 25-30.3 | 1.2e ³ -1.22e ³ | 0.6 | 1-3 | 1.46e ⁻¹² -4.38e ⁻¹² | 106-117 | 4.04-4.46 | 433-479 | 34.325-37.933 | 2.7104-2.9975 | 0.95-1.05 | 45.1-49.8 | 1.43-1.59 | | |
| Vermiculite | | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Man-made | 64-160 | 14.2-17.2 | 840-1.08e ³ | 0.95-0.98 | 20-50 | - | 24.3-26.7 | 1.3-1.44 | 14.7-16.3 | - | - | 0.1 | - | - | | |
| Man-made fibres | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carbon fibre | | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Man-made | 1.8e ³ -1.85e ³ | 0.005-0.0125 | 705-715 | 0.53 | - | - | 380-420 | 23.9-26.4 | 7.03-7.77 | - | - | 4.73-5.22 | - | - | | |
| Glass fibre | | ✓ | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Man-made | 2.55e ³ -2.6e ³ | 0.741-0.833 | 800-805 | 0.75 | 0 | 5.84e ⁻¹¹ -1.61e ⁻¹⁰ | 62.2-68.8 | 3.34-3.69 | 89.8-99.2 | - | - | 0.1 | - | - | | |

| Availability in the Sudoe territories | | | | | | | | | Building system | | | | | General properties | | Thermal and combustion properties | | | Hygrothermal properties | | Material production | | | Material processing | | Material recycling | | | |
|---------------------------------------|----|-----|--------|----|-----|--------|----|-----|-----------------|---|---|---|---------|--|-------------------|--|------------------------|------------|--|---------------------------|---------------------|--|-------------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------------------|--|
| CIM do Ave | | | Murcia | | | Creuse | | | S | E | I | W | Sv | Source | Density | Resistivity | Specific heat capacity | Emissivity | Water absorption | Water vapour permeability | Embodied energy | CO ₂ footprint | Water usage | Embodied energy | CO ₂ | Recycle fraction | Embodied energy | CO ₂ footprint | |
| L | LP | LPD | L | LP | LPD | L | LP | LPD | | | | | | | kg/m ³ | m. ^o C/W | J/kg. ^o C | % | % | Kg.m/s.m ² .Pa | MJ/kg | kg/kg | l/kg | MJ/kg | kg/kg | % | MJ/kg | kg/kg | |
| DUCK, CANVAS AND FIBERS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Foam | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ✓ | | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | Natural | 1.52e ³ -1.56e ³ | 3.33-5 | 1.2e ³ -1.22e ³ | 0.77 | - | - | 43.5-48.1 | 2.45-2.71 | 7.38e ³ -8.16e ³ | - | - | 0.1 | - | - | | |
| | | ✓ | | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | Natural | 1.47e ³ -1.5e ³ | 3.33-5 | 1.2e ³ -1.22e ³ | 0.87-0.95 | - | - | 10.5-11.6 | 0.368-0.407 | 2.98e ³ -3.29e ³ | - | - | 0.1 | - | - | | |
| | | ✓ | | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | Natural | 1.25e ³ -1.34e ³ | 3.33-5 | 1.32e ³ -1.38e ³ | 0.87-0.95 | - | - | 46.1-50.8 | 1.09-1.2 | 1.62e ³ -1.79e ³ | - | - | 0.1 | - | - | | |
| WOOD | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Wood | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | Natural | 177-218 | 20.8-28.6 | 1.9e ³ -2.1e ³ | 118-142 | - | - | 3.8-4.2 | 0.181-0.2 | 665-735 | 2.968-3.29 | 0.18694-0.2757 | 0.1 | - | - | | |
| | | | | | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | Natural | 500-650 | 2.63-3.33 | 1.66e ³ -1.71e ³ | 120-140 | 12-25 | - | 11.2-12.4 | 0.831-0.919 | 665-735 | 6.364-7.021 | 0.4766-0.5266 | 1.34-1.48 | - | - | | |
| | | | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | Natural | 800-1.05e ³ | 2.86-3.33 | 1.66e ³ -1.71e ³ | 117-137 | 12-25 | 9.12e ⁻¹³ -2.01e ⁻¹² | 35.5-39.3 | 1.78-1.97 | 665-735 | 15.055-16.6 | 1.1286-1.2478 | 1.34-1.48 | - | - | | |
| Hardwood | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | Natural | 851-1.03e ³ | 2.5-3.03 | 1.67e ³ -1.7e ³ | 118-142 | 12-30 | - | 9.82-10.9 | 0.841-0.93 | 665-735 | 24.58-27.24 | 1.8487-2.04 | 8.6-9.4 | - | - | | |
| Softwood | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ✓ | | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | Natural | 380-420 | 8.33-9.09 | 1.66e ³ -1.71e ³ | 117-137 | 12-30 | 5.84e ⁻¹³ -7.8e ⁻¹² | 8.77-9.7 | 0.358-0.396 | 665-735 | 4.453-4.913 | 0.3339-0.3685 | 8-10 | - | - | | |

Table 5. Raw materials and products available in the three territories for building renovation and construction work

REFERENCES

- Adene. (2020). *Sport centre buildings energy certification in CIM do Ave and most common water-energy efficiency strategies*. Personal communication.
- Ashby, M. F., Fernandez, J., & Gray, A. (2008). *The CES EduPack Database for Architecture and the Built Environment*. 12.
- Bienvenido-Huertas, D., Oliveira, M., Rubio-Bellido, C., & Marín, D. (2019). A comparative analysis of the international regulation of thermal properties in building envelope. *Sustainability (Switzerland)*, 11(20). <https://doi.org/10.3390/su11205574>
- Furtado, A., Costa, C., Arêde, A., & Rodrigues, H. (2016). Geometric characterisation of Portuguese RC buildings with masonry infill walls. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 20(4), 396–411. <https://doi.org/10.1080/19648189.2015.1039660>
- IVE. (2015). *Potencial de ahorro energético y reducción de emisiones de CO2 en la Comunitat Valenciana*. Retrieved from http://episcopes.eu/fileadmin/episcopes/public/docs/pilot_actions/ES_EPISCOPE_RegionalCaseStudy_IVE.pdf
- IVE. (2016). *Catálogo de tipología edificatoria residencial. Ámbito: España*. Valencia.
- Monteiro, C. S., Pina, A., Cerezo, C., Reinhart, C., & Ferrão, P. (2017). The Use of Multi-Detail Building Archetypes in Urban Energy Modelling. *Energy Procedia*, 111 (September 2016), 817–825. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.244>
- NESDE. (2005). *Evolução das tipologias construtivas em Portugal*. Retrieved March 10, 2020, from http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/evol_tipol.html
- PACTE. (2017). *Analyse détaillée du parc résidentiel existant*.
- Rochard, U., Shanthirablan, S., & Brejon, C. (2015). *Bâtiments résidentiels. Typologie du parc existant et solutions exemplaires pour le rénovation énergétique en France*. Paris.



Informe final

Actualització web energia solar fotovoltaica

Equip de treball

| | |
|-------------------|--|
| Marc Pons | Director de l'Observatori de la Sostenibilitat d'Andorra |
| Guillem Francisco | Investigador de l'Observatori de la Sostenibilitat d'Andorra |
| Oriol Travesset | Cap de projectes de l'Observatori de la Sostenibilitat d'Andorra |
| Marc Vilella | Investigador de l'Observatori de la Sostenibilitat d'Andorra |

Juny, 2018



Aquesta obra està subjecta a una llicència CC Reconeixement - No Comercial - Compartir Igual (by-nc-sa)
No es permet un ús comercial de l'obra original ni de les possibles obres derivades, la distribució de les quals s'ha de fer amb la mateixa llicència CC que regula l'obra original

RESUM

Aquest document presenta les assumpcions principals realitzades per actualitzar el mapa d' "Aprofitament fotovoltaic"¹ als requeriments de la nova normativa. A partir de l'any 2018 els ajuts de Govern per al foment de l'energia solar fotovoltaica en edificacions es gestionen a través del Pla Renova 2018 amb obertura el 16/03/2018 i tancament el 30/11/2018 o fins exhauriment de la disponibilitat pressupostària.

¹ Veure <http://obsa.ad/solar>

ÍNDEX

| | | |
|-----------|---|----------|
| 1. | METODOLOGIA | 5 |
| 1.1 | Actualització a les condicions de la normativa 2018 | 5 |
| 1.1.1 | Costos econòmics i eficiència de les instal·lacions | 5 |
| 1.1.2 | Ingressos | 6 |
| 1.1.3 | Emissions estalviades | 6 |
| 1.2 | Anàlisi d'edificis específics | 7 |
| | REFERÈNCIES | 8 |

1. METODOLOGIA

1.1 Actualització a les condicions de la normativa 2018

Els resultats dels càlculs econòmics que mostra la plataforma de visualització contempnen les condicions del Pla Renova 2018:

- Aprofitament d'energia solar fotovoltaica en base a un cost de la instal·lació de referència de 1,5€/Wp
- Subvenció directa: 40%
- Import màxim de la subvenció directa per actuació i edifici independentment de si la realització és o no per fases: 20.000 €

1.1.1 Costos econòmics i eficiència de les instal·lacions

Les característiques tècniques i els costos econòmics de les instal·lacions caracteritzades s'han establert en base a les definides en el projecte "Potencial d'aprofitament solar en cobertes d'edificis del Pirineu" (ACTP023-AND/2014)². En els costos d'instal·lació s'ha aplicat un 30% de reducció tenint en compte la davallada de costos dels darrers anys. En el cas de les potències instal·lables superiors a 50 kWp s'ha aplicat una reducció superior (35%). D'altra banda, per determinar les zones aptes de les cobertes on poder implementar instal·lacions s'ha establert un llindar mínim d'hores d'insolació. La Taula 1 presenta les característiques principals considerades en els càlculs.

² http://www.obsa.ad/leapandorra/docs/informe_CTP_solar_OBSA.pdf

| | | |
|----------------------------|--------------------|-----------|
| Llindar zones aptes: | >1000 HSP | |
| Mòduls fotovoltaics: | 1,7 m ² | 250 Wp |
| Eficiència instal·lacions: | 80% | |
| Cost instal·lacions: | Potència (kWp) | €/Wp |
| | P<=2 | 1,64 |
| | 2>P<=6 | 1,36 |
| | 6>P<=20 | 1,25 |
| | 20>P<=50 | 1,16 |
| | P>50 | 1,04 |
| Cost manteniment P>50 kWp: | 25 | €/kWp.any |
| Cost manteniment P>50 kWp: | 18 | €/kWp.any |

Taula 1. Característiques econòmiques i tècniques considerades en els càlculs

1.1.2 Ingressos

Tenint en compte la normativa vigent, els ingressos anuals de les instal·lacions vindran determinats pel preu de la Tarifa C. En els càlculs d'ingressos anuals s'ha considerat un increment d'aquesta tarifa a un ritme d'un 2% anual.

1.1.3 Emissions estalviades

En el càlcul d'emissions estalviades s'ha actualitzat el factor d'emissions tenint en compte dades actuals dels mixts elèctrics francès, espanyol i andorrà. Tenint en compte les dades de l'any 2016, el factor d'emissions de l'electricitat importada d'Espanya és de 308 gCO₂/kWh (OCCC, 2017) mentre que el de la francesa de 73 gCO₂/kWh (Rte, 2017). Considerant les importacions de cada un dels països i la generació autòctona (veure Taula 2), el factor d'emissions de l'electricitat consumida a Andorra és de 171,4 gCO₂eq/kWh.

| | Local | Total |
|----------------------------------|---------|---------|
| Producció Central Hidroelèctrica | 85,62 % | 14,46 % |
| Producció Forn Incinerador | 14,38 % | 2,43 % |
| Importació Espanya | | 47,12 % |
| Importació França | | 35,99 % |

Taula 2. Producció pròpia i importació d'electricitat a Andorra l'any 2016 (FEDA, 2018)

Aquest valor és sensiblement inferior al considerat en l'edició anterior (181 gCO₂eq/kWh) i és l'utilitzat per determinar l'estalvi d'emissions associat a les potencials instal·lacions.

1.2 Anàlisi d'edificis específics

A banda de realitzar els càlculs amb les noves condicions que estableix la normativa, s'ha treballat sobre alguns edificis individualment. En alguns casos modificant la geometria de la base cartogràfica (Pavelló Poliesportiu d'Andorra i Lycée Compte de Foix) i en altres únicament limitant la superfície útil (Escola Andorrana de Santa Coloma, Escola Germans Riba d'Ordino i Hospital Nostra Senyora de Meritxell). Aquesta tasca s'ha pogut realitzar gràcies a la nova cartografia CESI (Codi Edificis Seguretat de les Instal·lacions) disponible i als estudis específics d'algunes cobertes realitzat per part de l'Oficina de l'Energia i del Canvi Climàtic.

REFERÈNCIES

FEDA, 2018. Energia - Històric [WWW Document]. URL <https://www.feda.ad/energia-i-meteo/energia/historic> (accessed 2.2.18).

OCCC, 2017. Nota informativa sobre la metodologia d'estimació del mix elèctric per part de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic.

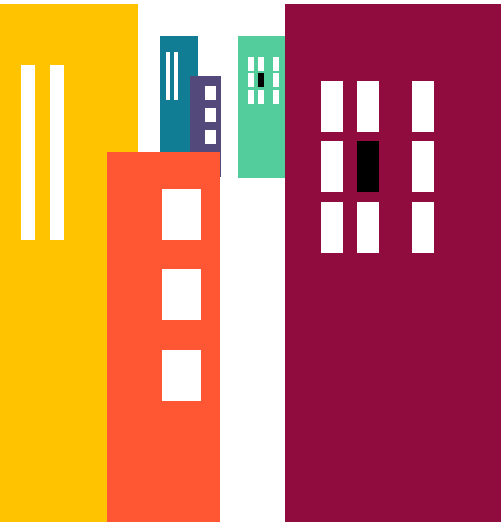
Rte, 2017. Key Figures- CO2 emissions in France [WWW Document]. URL <http://www.rte-france.com/en/eco2mix/chiffres-cles-en#chcleco2> (accessed 12.12.17).

LOOKING AT ENERGY



LOOKING AT ENERGY

Aquest taller ha estat dissenyat per treballar els conceptes de generació d'energia i aïllament dels edificis des de l'àmbit de la recerca i l'enginyeria. L'experiència permetrà complementar els continguts de les unitats de treball relatives a l'energia de l'Escola Andorrana per als cursos de 5è i 6è.



L'activitat tindrà lloc a l'Espai d'Innovació Andorra, situat a Caldea i està preparat per tenir grups de 20-25 estudiants.

EQUIP

OBSA
Oriol Travesset

LOOPA
Joan Rovira
Beti Faurà

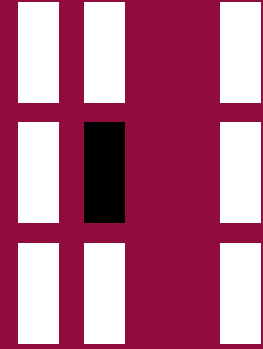
MIT MEDIA LAB
Juanita Devis

Fundació ActuaTech
Núria Macià
Elena Guirado

Fundació ActuaTech



MIT
MEDIA LAB



OBSA

LOOPA

GENERACIÓ D'ENERGIA

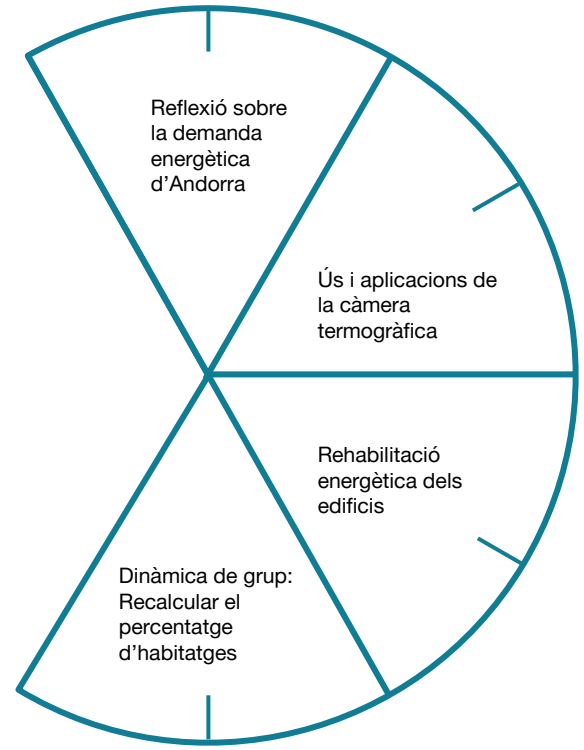
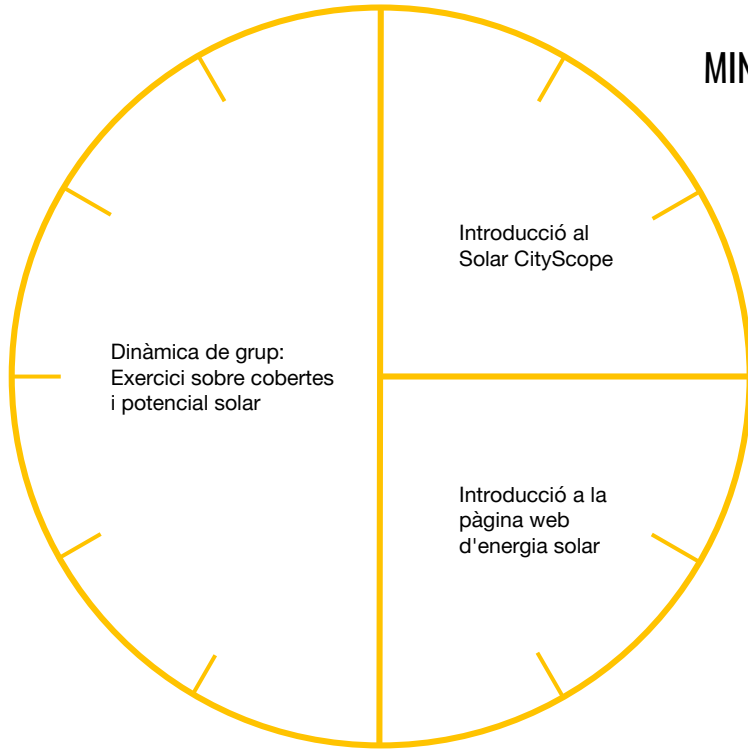
S'aproximarà l'energia solar fotovoltaica i el seu potencial a Andorra a través de dues eines visuals: (1) la maqueta del Cityscope sobre la qual es projecten capes d'irradiació mensual i de potencial de generació fotovoltaica anual i (2) la web d'energia solar a Andorra.

AÏLLAMENT DELS EDIFICIS

A partir de la reflexió sobre l'abastiment amb energies renovables dels edificis i de la dependència energètica d'Andorra, es plantejarà com disminuir la demanda energètica d'un habitatge. Com podem saber per on perd energia un edifici? Quines són les diferents accions passives on podem actuar?

GENERACIÓ
55
MINUTS

AÏLLAMENT
40
MINUTS



MATERIAL

4-5 Tauletes tàctils [1 per grup]
4-5 Pissarres [1 per grup]

1 càmera termogràfica
Làmines amb comparativa d'edifici existent i edifici passiu
Làmina amb estudi termogràfic d'edifici existent i energèticament rehabilitat

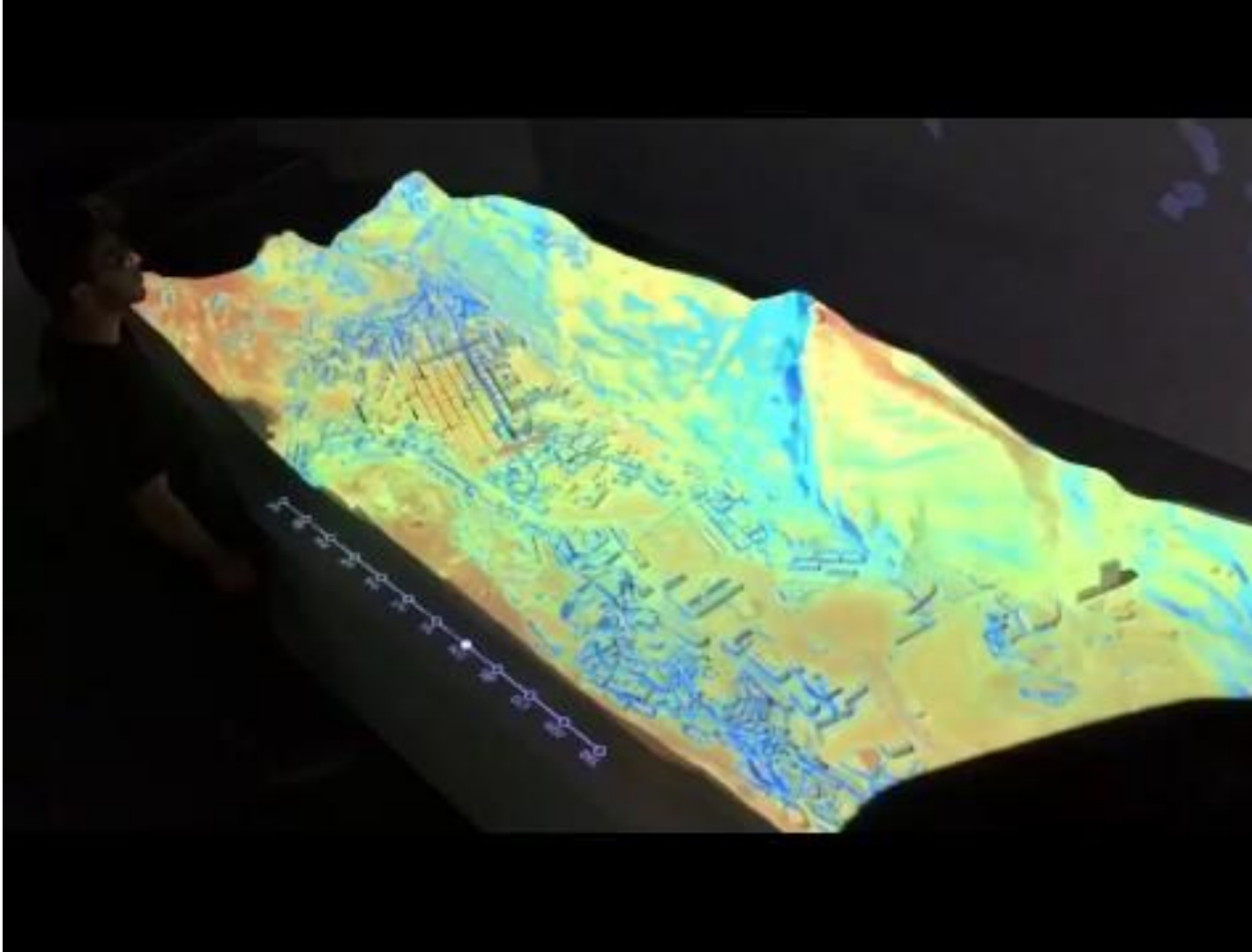
GENERACIÓ D'ENERGIA

1. Introducció al Solar CityScope
2. Introducció a la pàgina web d'energia solar
3. Dinàmica de grup: Exercici sobre cobertes i potencial solar



SOLAR CITYSCOPE

Mostrar i discutir la visualització sobre (1) la irradiació solar mensual i (2) el potencial solar fotovoltaic anual.

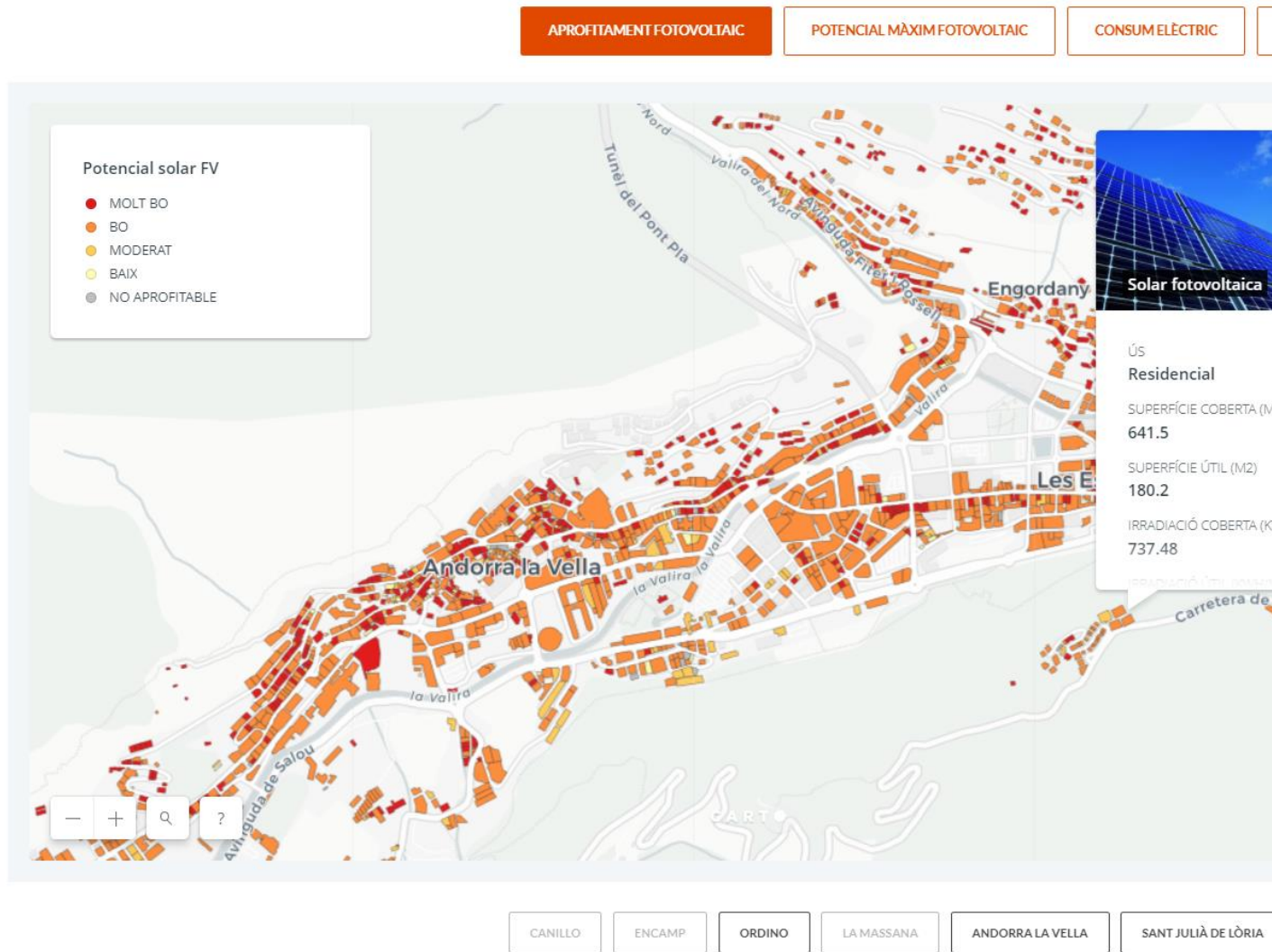


WEB ENERGIA SOLAR

Mostrar els diferents apartats de la web i explicar com trobar informació en el mapa de potencial de les cobertes.

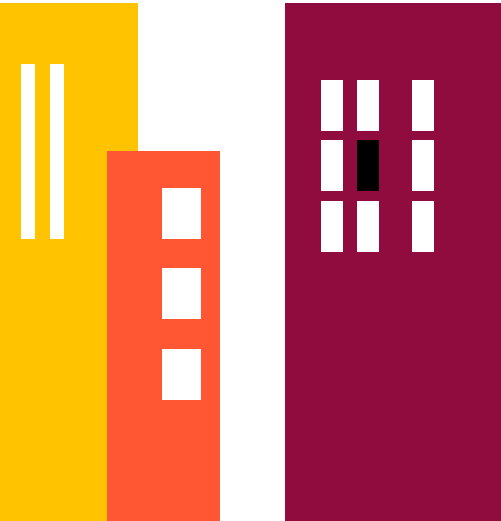
<http://www.obsa.ad/solar>

La web únicament inclou l'anàlisi per Escaldes-Engordany, Andorra la Vella, Ordino i Sant Julià de Lòria



DINÀMICA DE GRUP

1. Cercar dues cobertes i escollir la de major potencial.
2. Aportar la següent informació sobre la coberta escollida.
 1. Nombre de panells solars de la possible instal·lació.
 2. Emissions de CO₂ que permetria estalviar.
 3. Potencial de generació elèctrica anual.
 4. Percentatge d'habitatges de l'edifici que es podrien abastir amb la instal·lació.
 5. Com abastiríeu la resta d'habitatges? A part de l'energia solar, quines alternatives coneixeu?
3. Resumir la informació obtinguda en la pissarra.





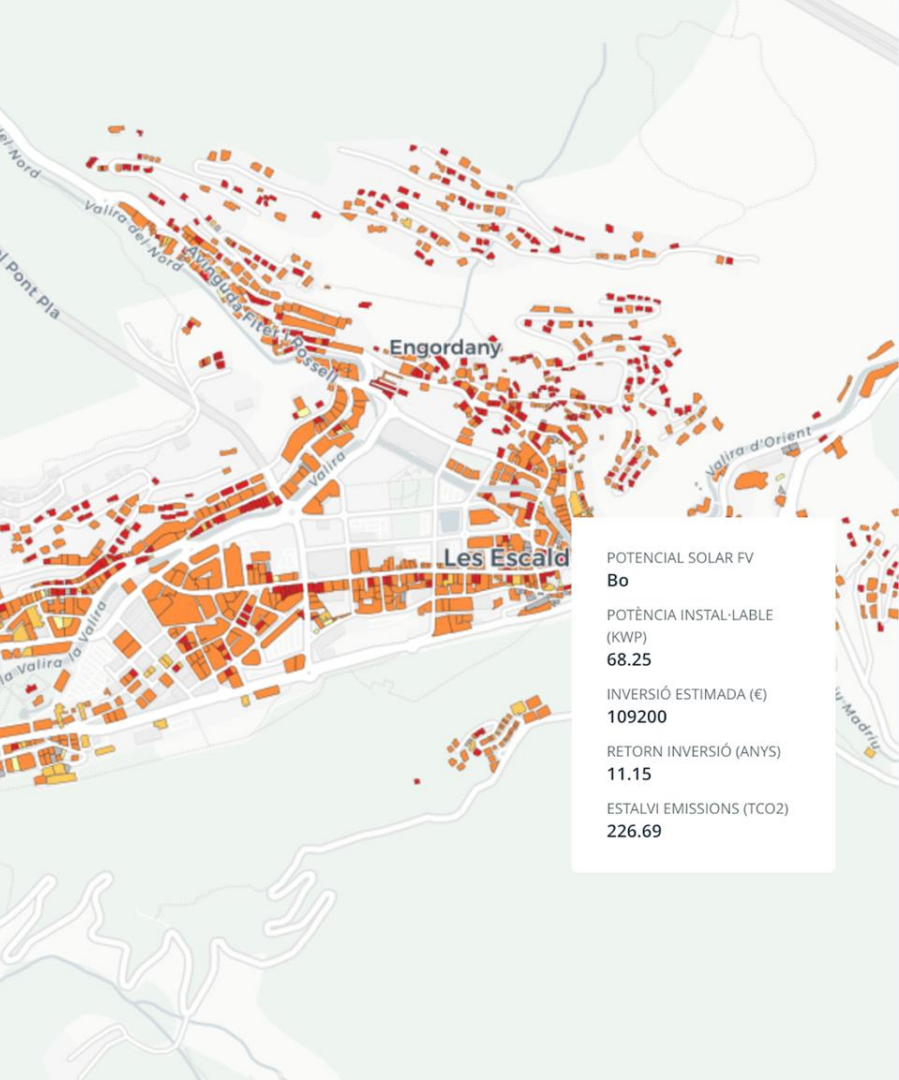
1. Cercar cobertes

1.1 Cercar dues cobertes. No tenen perquè estar a la mateixa parròquia.

4,774 MWh/any

11,048 MWh/any

1.2 Escollir la que té major potencial de generació elèctrica. Els colors és una ajuda visual; inspecciona l'edifici i trobaràs el valor exacte.



POTENCIAL SOLAR FV
Bo

POTÈNCIA INSTAL·LABLE
 (KWP)
68.25

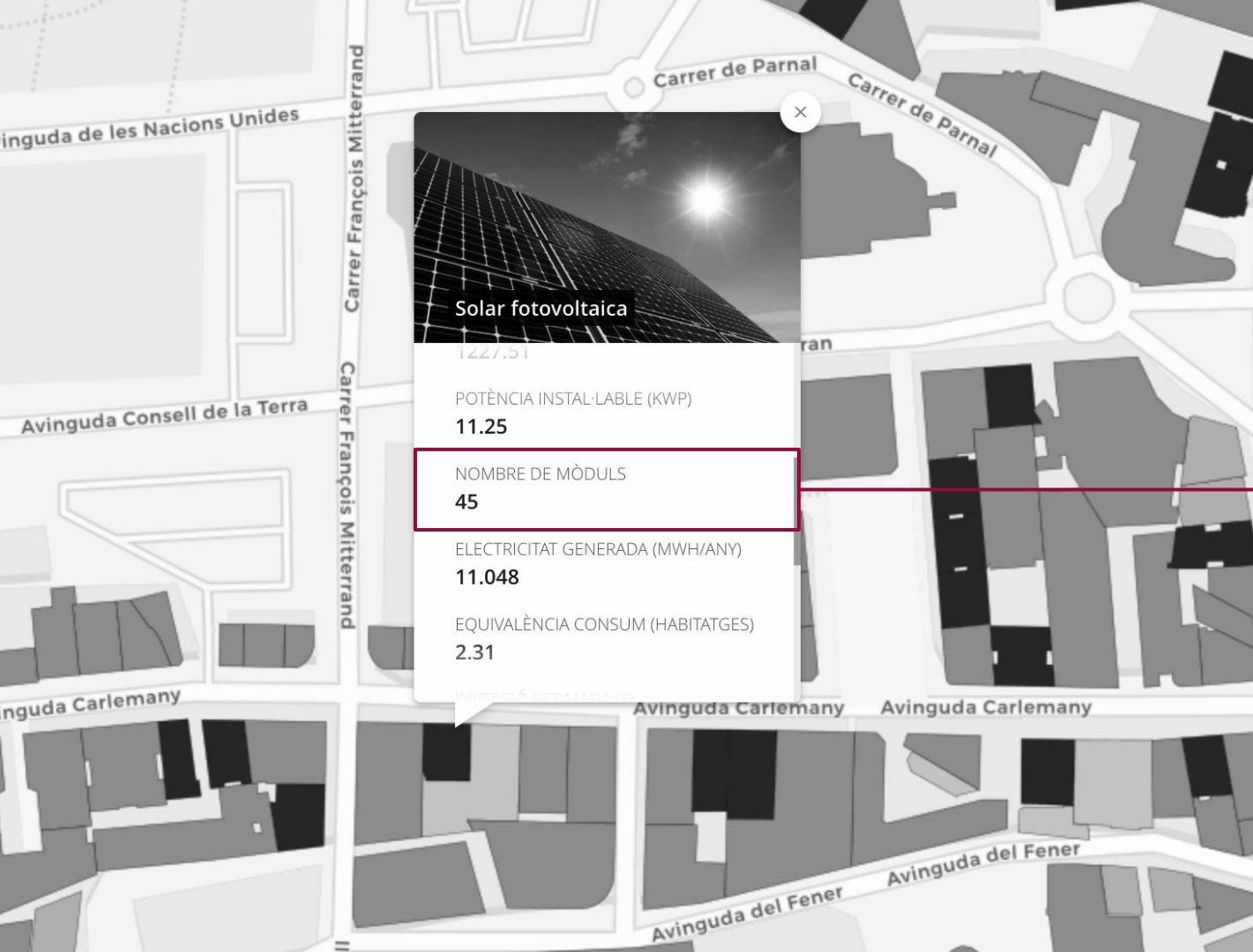
INVERSIÓ ESTIMADA (€)
109200

RETORN INVERSIÓ (ANYS)
11.15

ESTALVI EMISSIONS (TCO2)
226.69

| | |
|------------------------------------|---|
| Nombre de cobertes | 1,936 |
| Potencial de generació elèctrica | 43,345.45 MWh/any |
| Potencial solar fotovoltaica | <p>ALL SELECTED</p> <p>BO 1.1k</p> <p>MOLT BO 561</p> <p>MODERAT 137</p> <p>NO APROFITABLE 78</p> <p>BAIX 56</p> |
| Generació equivalent al consum de: | 9,074.52 habitatges |
| Estalvi d'emissions | 156,910.63 TCO2 |

2. Aportar informació sobre la coberta



2.1 Nombre de panells solars de la possible instal·lació

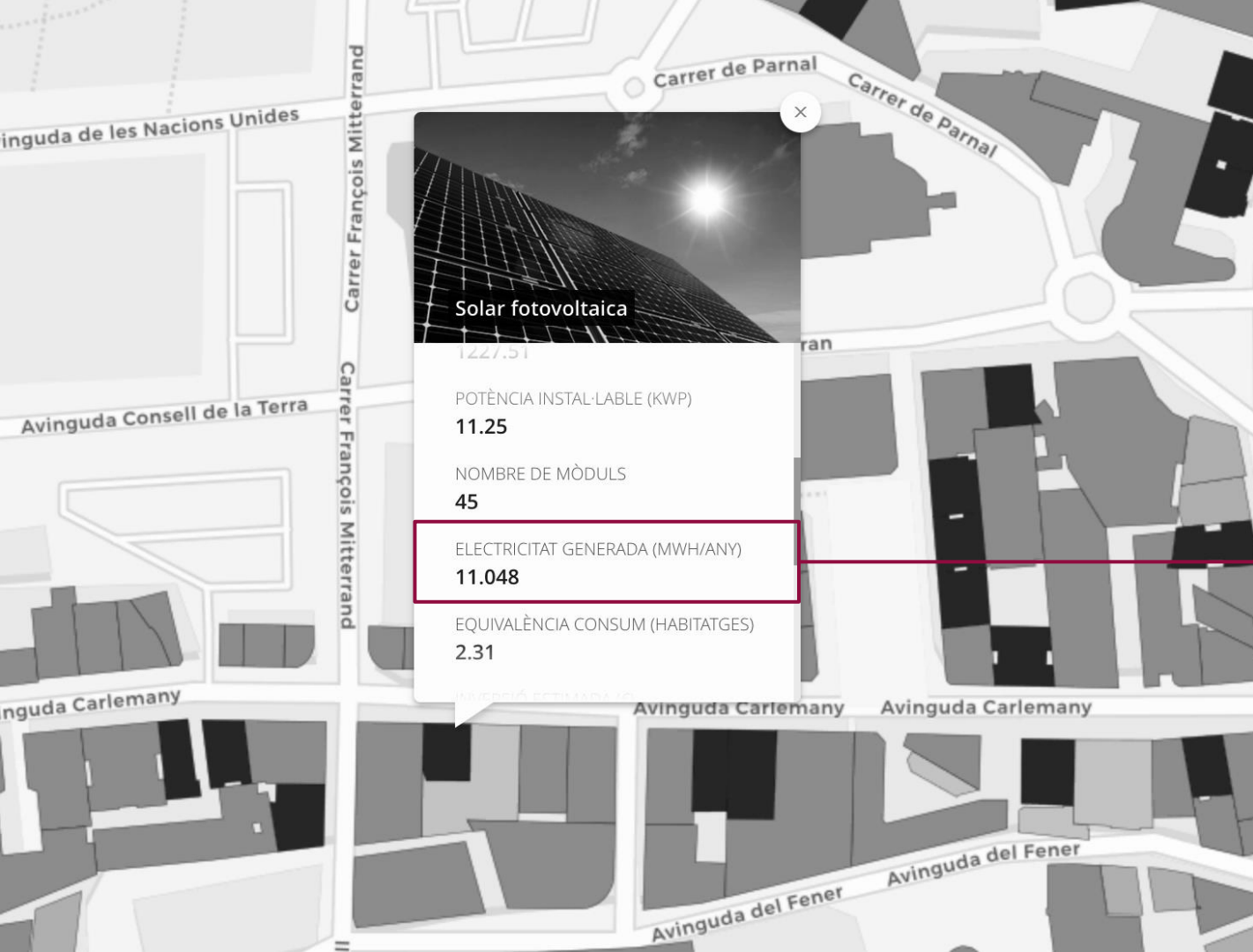
[panells solars = mòduls]

Es podrien instal·lar 45 panells solars.



2.2 Emissions de CO₂ que permetria estalviar

Instal·lar una coberta solar a l'edifici seleccionat estalviaria **39,99 tCO₂** en els 20 anys de vida de la instal·lació.



2.3 Potencial de generació elèctrica anual

S'estima que la instal·lació podria generar 11,048 MWh/any.

vinguda de les Nacions Unides

Carrer François Mitterrand

Carrer de Parnal

Carrer de Parnal



Solar fotovoltaica

1227,51

POTÈNCIA INSTAL·LABLE (KWP)

11.25

NOMBRE DE MÒDULS

45

ELECTRICITAT GENERADA (MWH/ANY)

11.048

EQUIVALÈNCIA CONSUM (HABITATGES)

2.31



Avinguda Carlemany

Avinguda Carlemany

Avinguda del Fener

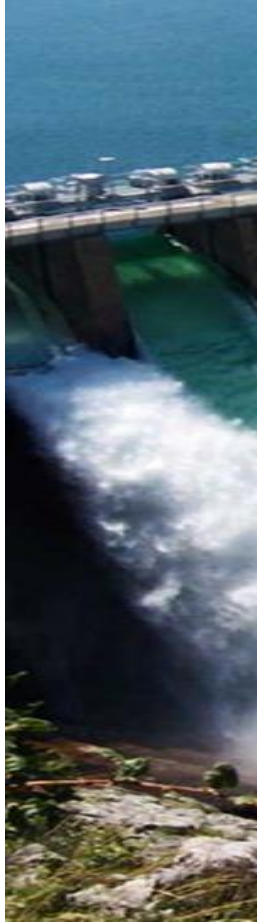
Avinguda del Fener

2.4 Percentatge d'habitatges de l'edifici que es podrien abastir amb la instal·lació

L'edifici té 8 plantes. Estimem que cada planta té 2 apartaments (habitatges).

La instal·lació permet abastir 2,31 habitatges.

$$14,44\% = 2,31 \times 100 / 16$$



Central hidroelèctrica



Central tèrmica



Central nuclear





Central eòlica





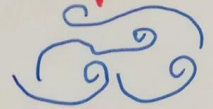




Central fotovoltaica




2.5 Com abastiríeu la resta d'habitatges?





A part de l'energia solar, quines alternatives coneixeu?

2.1: 2400
 2.2: 1996.17 TCO₂
 2.3: 551.428 KWH
 2.4: 115.44 
 2.5: edica, hidraulica, mareomotrija, geotermica, nuclear i biomassa

ESCALE
 AINA POL, Hugo Maia

Grup: *clay* Kitipaseva moduls = panells solars.

1 = 30 mòduls  
 2 = 26,1 (O₂) 
 3 = 7,211 (MWH) 
 4 - 37,5%  d'habitatges abastits.
 5 - Podriem fer una "casa"  al riu
 llavors utilitzariem l'energia  hidràulica

També podríem ^{propar} comprar un terreny d'un altre país i posar-hi molins per produir l'energia  eòlica i així la canalitzariem l'energia  a AND 

1 Ordino Pondalet 
 2.1 - Nombre de panells 
 2.2 - 65,88 TCO₂ 
 2.3 - 18.199 MWH/any
 2.4 - 6 famílies hi ha 3 famílies que resulta un 50% 
 2.5 - Amb Gaz. Coneixem l'energia solar tèrmica, hidràulica, eòlica i biomassa.

3. Resumir la informació

Escola Andorrana d'Ordino
 Abril 2018

AÏLLAMENT

1. Reflexió sobre la demanda energètica d'Andorra
2. Despesa energètica en calefacció i refrigeració
3. Rehabilitació energètica dels edificis
4. Ús i aplicacions de la càmera termogràfica
5. Dinàmica de grup: Recalculer el percentatge d'habitatges abastibles si els edificis es rehabilitessin energèticament.



REFLEXIÓ SOBRE LA
DEMANDA
ENERGÈTICA

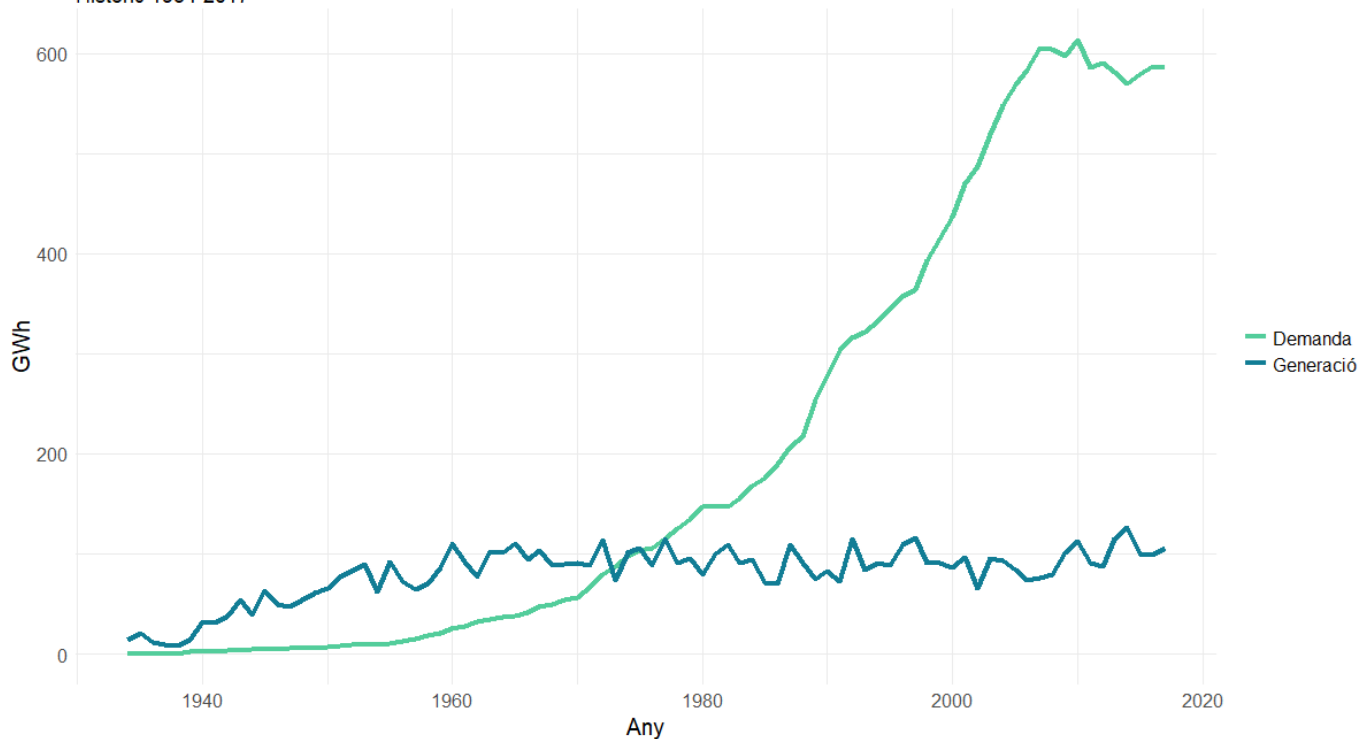


caldes

7-October 1934

Demanda vs generació elèctrica d'Andorra

Històric 1934-2017



Font: FEDA i Departament d'estadística

Demanda vs generació elèctrica d'Andorra

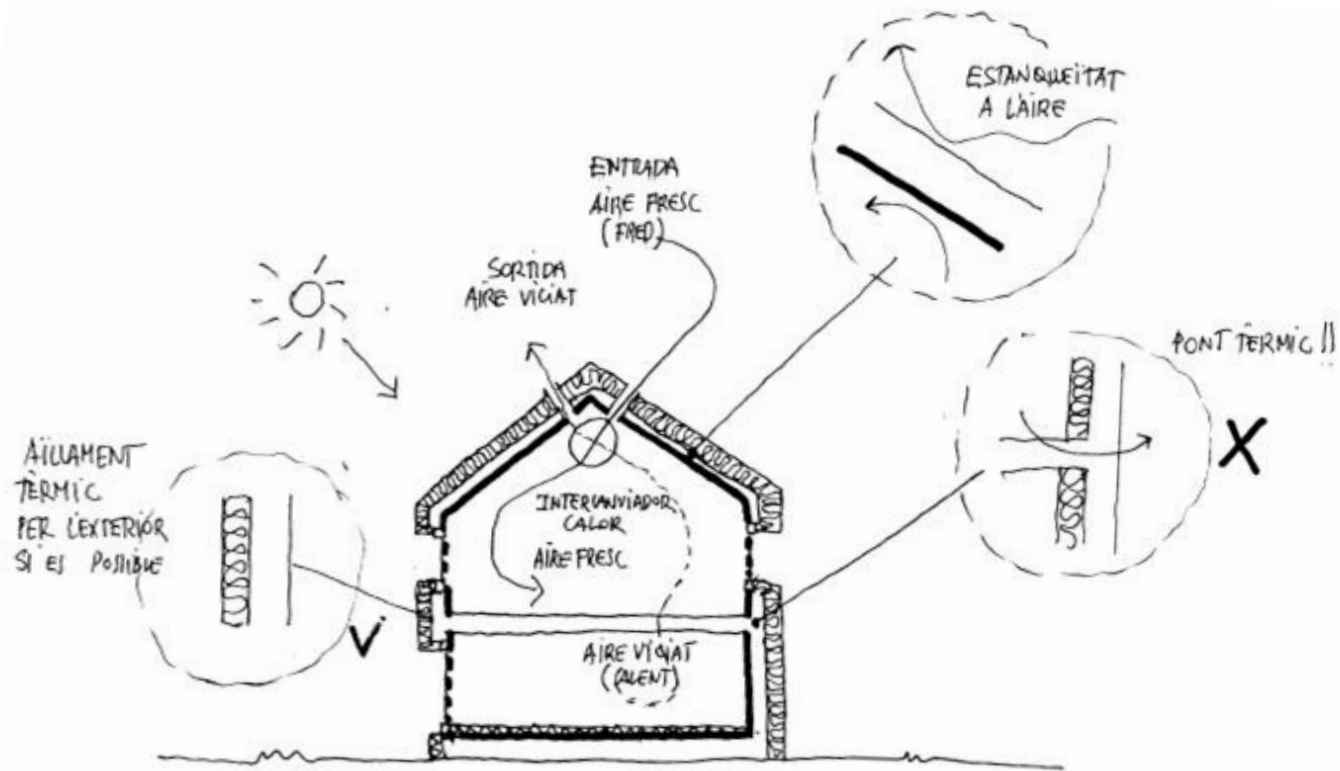
En el gràfic comparatiu, s'observa com a partir dels anys 70 es va disparar el consum elèctric al país. Això es contraposa a la limitada capacitat de producció d'energia elèctrica (provinent principalment de la central d'Engolasters).

Els darrers anys s'observa una lleugera disminució del consum.

DESPESA ENERGÈTICA EN CALEFFACIÓ I REFRIGERACIÓ

Per tal de controlar la despesa energètica en calefacció i/o refrigeració d'una casa (o edifici) caldrà tractar els següents elements:

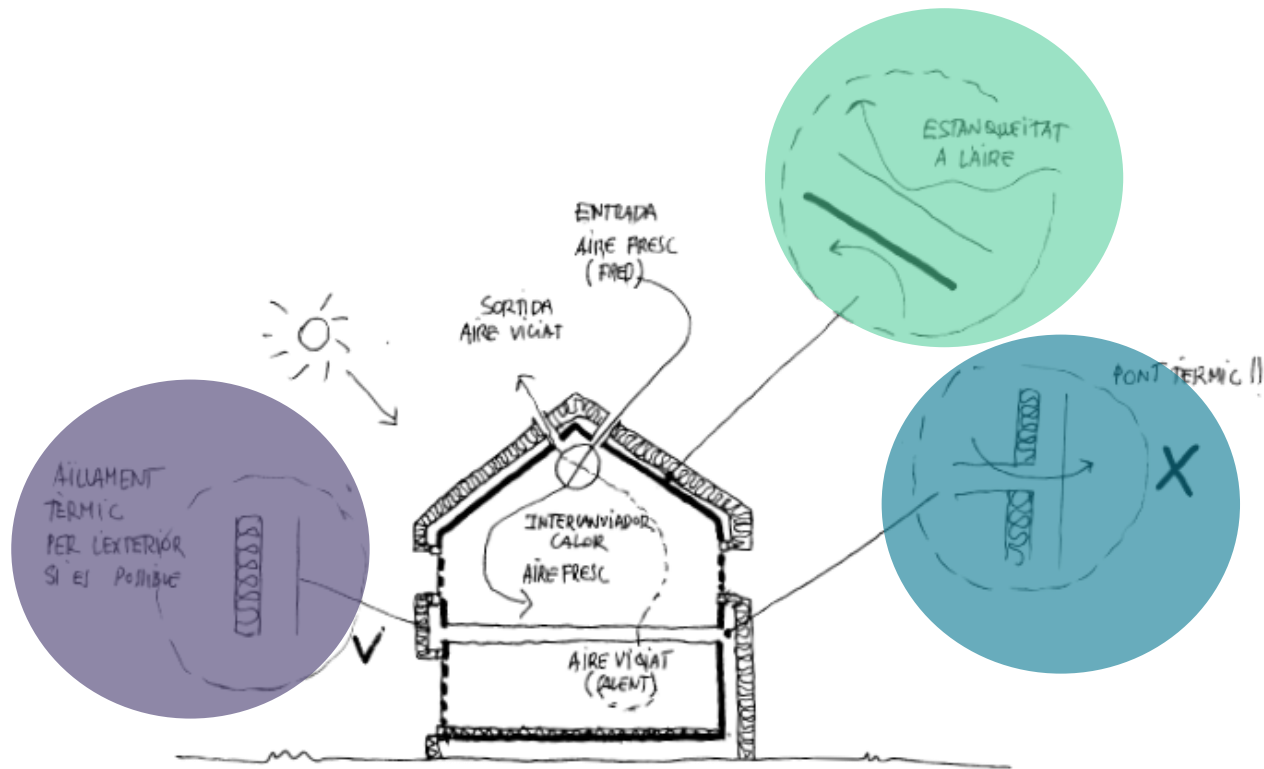
1. Maximitzar l'aïllament tèrmic (de l'ordre de 20 cm).
2. Evitar els ponts tèrmics.
3. Controlar les infiltracions d'aire exterior.
4. Renovar de manera mecànica la ventilació amb recuperació del calor interior.



REHABILITACIÓ ENERGÈTICA DELS EDIFICIS

En una casa o edifici existent (construït fa més de 5 anys), les pèrdues de calor es produeixen principalment per la coberta, les façanes i les infiltracions d'aire exterior.

Una anàlisi més acurada per a cada cas ens servirà per trobar la millor estratègia de cara a una rehabilitació energètica.



ÚS I APLICACIONS DE LA CÀMERA TERMOGRÀFICA

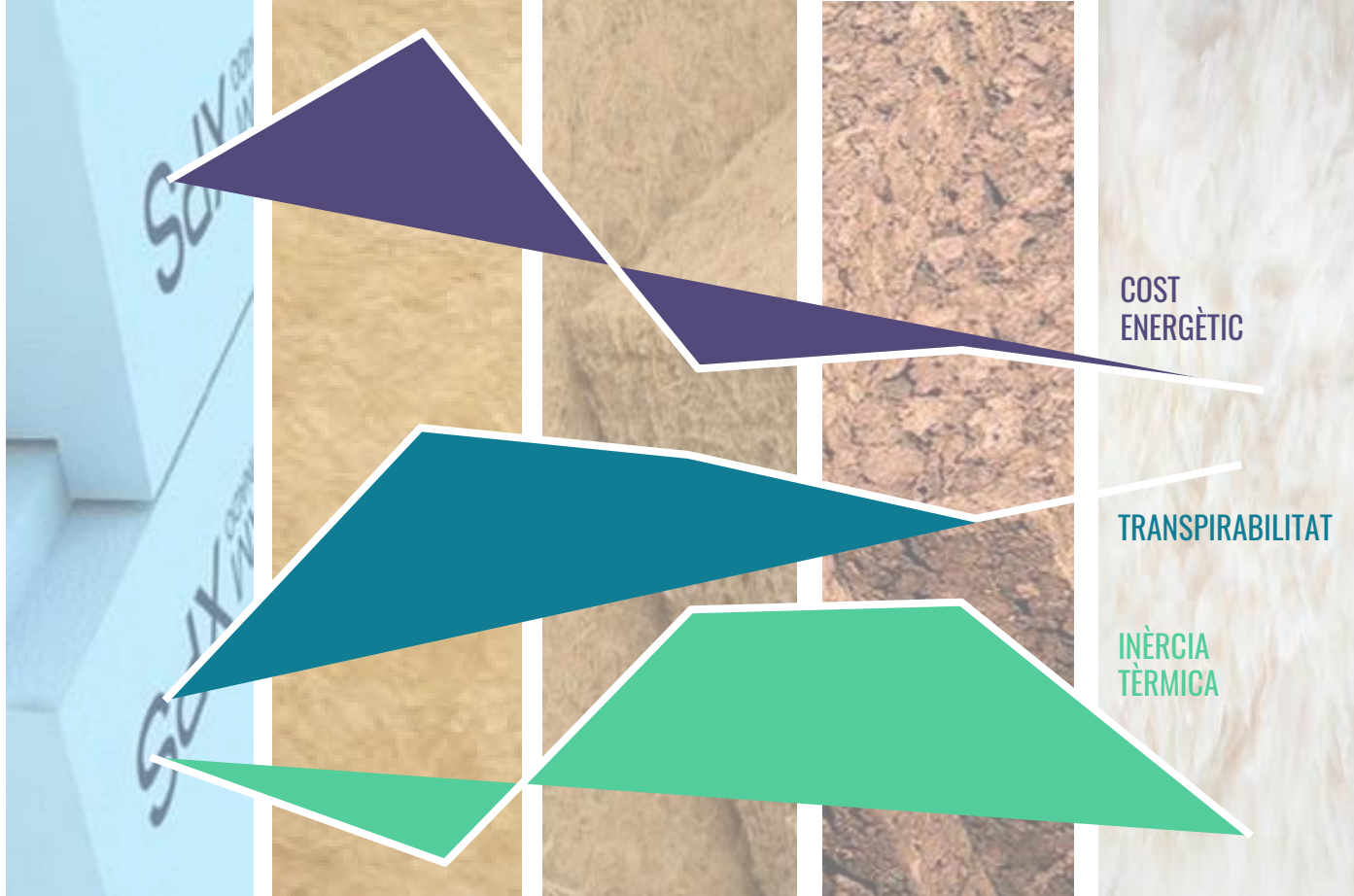
La càmera termogràfica permet veure la radiació infrarroja. Aquesta ens indica la quantitat de calor que desprenen els cossos.

Aquestes càmeres ens permeten veure per on es perd calor i, per tant, detectar els elements mal aïllats.

A la foto podem veure els ponts tèrmics, o trams on no s'ha col·locat aïllament.



Comparativa d'aïllaments en la construcció



COST
ENERGÈTIC

TRANSPIRABILITAT

INÈRCIA
TÈRMICA

Poliestirè
expandit

Llana
de roca

Fibra
de fusta

Panell
de suro

Llana
d'ovella

Els aïllament es classifiquen segons les característiques següents:

1. Origen (natural o artificial)
2. Grau d'aïllament
3. Grau de transpirabilitat
4. Inèrcia tèrmica
5. Cost energètic de producció (emissions de CO₂)

Especificacions

| | | Lambda W/mk | Espessor per R=5(cm) | Higros còpia | Resist ència vapor aigua | Foc | Temps de desfasa ment (per hora a 20 cm) | Energia primària (KW EP/UF) | Efecte hiverna cle kCO2 eq/UF) |
|--------------------|---------------------------|----------------|----------------------------|-----------------|-----------------------------------|-----|--|---|---|
| sintètic | poliestirè expandit | 0,037-0,040 | 18-20 | No | 30-100 | B | 6 |  84 |  10 |
| llanes minerals | llana de vidre | 0,035 | 17 | No | 1 | A-B | 6 | 74 |  12 |
| | llana de roca | 0,04 | 20 | No | 1 | A-B | 6 |  168 |  43 |
| origen vegetal | fibra de fusta | 0,038-0,040 | 19-20 | Baixa | 1 a 2 | E | 7,5 | 41 |  -4 |
| | cel·lulosa insuflat | 0,038-0,044 | 19-22 | Mitjana | 1 a 2 | B-E | 10 | 22 |  -10 |
| | suro panell | 0,036-0,042 | 18-21 | Baixa | 5 a 30 | E | 13 |  41 |  -26 |
| | llans de cànem panells | 0,038-0,042 | 19-21 | Mitjana | 1 a 2 | E | 7 | 69 |  -1 |
| origen animal | llana d'ovella | 0,035-0,042 | 17-21 | Alta | 1 a 2 | C | 5 |  20 |  0 |

DINÀMICA DE GRUP

1. Recalculer el percentatge d'habitatges abastibles si els edificis es rehabilitessin energèticament.





4. Recalculer el percentatge d'habitatges

A partir de l'estudi fet per a cada coberta, recalculer el percentatge d'edificis que es podrien abastir comptant que aquests s'han rehabilitat energèticament.

El consum elèctric mitjà és de 4.777 kWh/any.

La rehabilitació integral d'un edifici permet un estalvi del 70%.

3.344 kWh/any = 4.777×0.7

$11.048 / 3.344 = 3,30$
habitatges

29.5 °C

34.9

PILOT I

Escola Andorrana d'Ordino
Abril 2018



23.0

FLIR