

# Modelització de les necessitats energètiques d'una família pirinenca a la segona meitat del segle XIX

Oriol TRAVESSET<sup>1</sup>

Marc GALABERT<sup>2</sup>

Marc PONS<sup>3</sup>

Alan WARD<sup>4</sup>

## RESUM

*En el context d'un clima relativament fred, el combustible destinat a escalfar la llar constitueix un dels elements més importants del consum energètic d'un grup familiar. Es proposa un model informàtic dels fluxos d'energia d'una casa tradicional situada en una vall del Pirineu i amb les condicions climàtiques vigents a finals del segle XIX. Es determina un balanç energètic global al llarg de l'any, així com les necessitats de combustible per mantenir-hi una temperatura interna suficient. Es fa una estimació de la diferència de les quantitats de combustible necessàries segons la situació de la casa. Els resultats obtinguts mostren la importància de la localització dels assentaments de població pel que fa a les seves necessitats energètiques.*

## ABSTRACT

*Household heating firewood was one of the most important elements of the energy use of a family in the context of a relatively cold climate. A computer model of the energy fluxes of a traditional home in the Pyrenees with the climatic conditions seen at the end of the 19th century is presented. A global yearly heat balance is calculated and firewood requirements determined in order to maintain sufficient interior temperature. An estimation of the differences in energy requirements is made according to the building site. Results show the importance of population centre localization as regards energy requirements.*

**PARAULES CLAU:** *casa tradicional, balanç energètic, model informàtic, condicions climàtiques, segle XIX*

**KEYWORDS:** *traditional home, energy balance, computer model, climatic conditions, 19th century*

## 1. Introducció

Les zones de mitjana i alta muntanya constitueixen àrees en què la influència del clima es fa manifesta en les activitats humanes (BENISTON, 2003). En la segona meitat del segle XIX, el Pirineu sortia d'un període perllongat de temperatures baixes que es pot situar de manera aproximada entre els anys 1450 i 1850. Aquestes baixes temperatures es feien sentir no

<sup>1</sup> Observatori de la Sostenibilitat d'Andorra, Sant Julià de Lòria, Principat d'Andorra.

<sup>2</sup> Universitat d'Andorra, Sant Julià de Lòria, Principat d'Andorra.

<sup>3</sup> Observatori de la Sostenibilitat d'Andorra, Sant Julià de Lòria, Principat d'Andorra.

<sup>4</sup> awardk@gmail.com

només pel que fa a les temperatures de l'hivern, sinó també pels estius pel període entre els anys 1600 i 1850 (BUENTGEN, 2008). La influència del clima sobre les activitats humanes es pot estudiar tot establint correlacions entre la temperatura i la població (JOVER et al., 2012). Queda, però, poder avançar una línia explicativa clara pel que fa a les causes subjacents de les relacions matemàtiques que es puguin establir. Així, es planteja la qüestió de conèixer les condicions reals d'habitació de la població, en particular l'evolució de les temperatures a l'interior dels seus domicilis. Per consegüent, ens cal poder estimar l'abastiment d'energia de les cases, el qual constitueix l'objectiu del present treball.

Els recursos energètics disponibles per la població eren pocs. Les dificultats del transport de material pesant i les característiques de l'economia local en un país com Andorra feia que es pogués comptar de manera gairebé exclusiva amb el combustible vegetal originari del mateix país. Per altra banda, en l'època anterior que va del segle XVII a mitjans del segle XIX (LÓPEZ et al., 1988) l'activitat industrial de les fargues havia exercit un pes important sobre els recursos forestals, per l'activitat de les carboneres destinada a la producció del ferro. Tot i que es reconeix una voluntat dels comuns de gestionar el recurs natural (CODINA, 2010), el mer fet que s'hagi pres especial cura en aquesta gestió implica l'existència d'una certa preocupació per la renovació del recurs forestal, necessari no només pels usos industrials sinó també per les necessitats de la població. Si aquest abastiment era limitat, podia esdevenir un factor natural limitador de la qualitat de vida de la població o, en casos extrems, del seu creixement.

Per altra banda, la situació de la casa de muntanya sol dependre a la vegada de les activitats econòmiques desenvolupades pels seus habitants, i de les condicions naturals (LLOBET, 1947). Entre les primeres, es poden esmentar les activitats agrícoles, però també certes activitats proto-industrials sobretot al nucli d'Escaldes. Pel que fa a les condicions naturals, es poden destacar els factors relacionats amb l'altitud, però també amb l'exposició solar. Aquesta última tindria doncs una doble influència sobre les condicions de l'habitació humana, una indirectament a través de les possibilitats de cultius en la proximitat de les cases, i una altra de manera més directa tot afectant les temperatures de l'edifici i el combustible necessari per poder mantenir una certa temperatura de confort en el seu interior.

En aquest treball, es procedirà mitjançant una descripció d'una casa de muntanya prototípica i del perfil d'ús associat, que es podrà situar virtualment en dues localitzacions precises. A través de la construcció d'un model informàtic de balanç energètic, es calcularan els requeriments de combustible en cada localització tenint en compte les característiques climàtiques de la segona meitat del segle XIX. Els resultats del model s'analitzaran pel que fa a la quantitat de material combustible necessari per mantenir certa temperatura de confort, i per l'efecte de les activitats econòmiques i de l'escollida del lloc sobre aquestes necessitats. Finalment, es proposarà un model energètic integrat que permeti la seva aplicació a altres localitzacions i situacions properes.

## 2. Metodologia

### 2.1 Descripció de la casa típica i els seus usos

Fins a la primera meitat del s. xx, l'economia andorrana es basava principalment en l'activitat agrícola i en l'explotació ramadera. En un entorn muntanyós en el qual només un quatre per cent del terreny és susceptible de ser cultivat i que compta amb una alçada mitjana al voltant dels 1.900 m d'altitud, l'establiment de l'habitatge venia determinat per la proximitat a les zones de cultiu (MAS, 1987, p.13). Així, trobem que l'habitatge tradicional d'Andorra s'ha desenvolupat principalment en els fons de vall, en nuclis centrals al voltant dels terrenys de cultiu, o bé en les primeres vessants de la muntanya, allà on acabava la superfície agrícola.

Pel que fa a l'estructura i usos de l'habitatge, aquest era construït en funció de l'especialització productiva dels ocupants així com de diferents condicionants com el relleu, l'orientació, el clima o la renda disponible. Això, sumat al fet que la recerca de terrenys cultivables propiciés la dispersió de l'habitatge al llarg del país, fa que sigui difícil parlar d'un prototip estructural únic de la casa tradicional andorrana (LLOBET, 1947, p. 230; MAS, 1987, p. 29).

Per tal d'aproximar una tipologia representativa dels habitatges andorrans a finals del s. XIX, aquesta investigació parteix del treball previ de David Mas Canalís (MAS, 1987). En el seu exhaustiu estudi sobre la casa andorrana tradicional, l'autor analitza 39 cases i diverses bordes que a finals de la dècada de 1980 encara sobreviuen al desenvolupament de l'edificació moderna a Andorra. La descripció de la tipologia així com dels usos que fa l'autor dels diferents exemples immobiliaris disponibles, permet aproximar la manera de viure tradicional d'Andorra i es configura, juntament amb les tres cases-museus etnogràfiques que té el país, en un dels reculls més valuosos que donen testimoni del patrimoni arquitectònic tradicional d'Andorra.

En una primera part, Mas analitza la casa andorrana en el seu entorn geogràfic immediat així com la seva estructura, la tècnica constructiva, els materials, i l'evolució temporal de l'habitatge des de l'edat mitjana fins a principis del s. xx. La segona part presenta la descripció dels diferents casos d'estudi documentats. Per a cada cas s'adjunta un plànol de l'edificació, el poble on està situada, les dimensions, l'orientació i l'altitud sobre el nivell del mar. Partint d'aquestes dades, la representativitat estadística dels casos documentats per Mas per tal d'aproximar un habitatge típic que permeti estimar les necessitats energètiques d'una família andorrana a finals del s. XIX. De manera majoritària, la casa tradicional andorrana estava construïda en pedra lligada amb morter de fang o calç. En alguns casos es troben exemples en els quals es recobria la façana de morter de calç, tot i que sovint aquest era només utilitzat al voltant de les finestres. Les façanes exteriors, així com les parets mestres de l'habitatge solien tenir un gruix de mig metre a la planta baixa i s'aprimaven d'uns 10 centímetres en els pisos superiors. En el cas de l'interior de les façanes, sovint s'arrebossaven de morter de calç com a mesura d'aïllament tèrmic. L'altre gran material de construcció era la fusta, utilitzada per a la construcció dels teulats —als quals s'afegia una cobertura de llosa de pissarra— així com per parets separadores d'estances, paviments, portes i finestres.

Les dimensions de la casa tradicional andorrana se situaven entre els 7 i 11 metres d'amplada per entre 7 i 12 metres de profunditat. Estadísticament, els valors mitjans deixant de banda el 10 per cent d'exemples més extrems situen la superfície de la planta en uns 85 m<sup>2</sup>. Pel que fa a l'alçada, la mostra revela que, majoritàriament les edificacions comptaven amb tres plantes — planta baixa més dos pisos— fet que es traduïa en una alçada mitjana entre vuit o nou metres. Aquesta alçada no només depenia de l'alçada de cada planta i del nombre de plantes sinó també de l'angle de la coberta que variava entre els 20 i 25 graus. Aquest pendent, relativament poc acusat, permetia tant el manteniment de la neu sobre la teulada fent d'aïllant tèrmic, com el lliscament d'aquesta, sense comprometre el llosat (MAS, 1987, p. 103).

Com a últim element estructural rellevant, l'estudi estima que les finestres ocupen una superfície d'entre el 8 i el 13 per cent de la façana, sent l'últim valor el més freqüent (MAS, 1987, p. 41). La seva disposició i grandària varia en funció de la zona en què se situïn. Així, a la planta baixa es troben obertures petites com espitlleres que tenen com a funció principal la ventilació. En els pisos superiors les obertures es constitueixen en finestres de dimensions que varien entre els 65 i els 125 cm d'amplada per 65–150 cm d'alçada en funció de si són petites, mitjanes o grans, arribant fins als 210 cm d'alçada en el cas d'obertures d'accés a balcons (MAS, 1987, p. 63–83).

La compartimentació interior de la casa permet aproximar la composició dels ocupants així com els usos principals de cada divisió. En aquest sentit, la identificació de les diferents parts de la casa en els plànols de les cases que aporta l'obra de Mas facilita la caracterització dels elements més representatius de l'habitatge tradicional andorrà. Pel que fa a la planta baixa, no es destinava en cap cas a l'habitatge. Servia d'accés principal a la casa i sovint tenia tres divisions principals diferenciades: un vestíbul en el qual surt una escala cap a plantes superiors i on sovint s'acumula llenya, una o diverses corts les quals estaven ocupades per bestiar o animals de tir, i els cellers que podien ser conjunts o diferenciats per productes en les cases més benestants.

La primera planta era la part més pública de la casa. Solia constar d'una sala de dimensions més o menys grans, dita el soler, en la qual es rebien les visites o se celebraven les ocasions especials. En la mateixa planta trobem la cuina. En alguns casos pot estar integrada al soler però és habitual trobar-la separada. La cuina, a causa de la disposició de la llar de foc era una de les estances principals de la casa. En ella es reunia tota la família buscant escalfor i resguard, sobretot en els mesos d'hivern. La primera planta també comptava habitualment amb un o dos dormitoris. La disposició de dormitoris sovint podia trobar-se sobre les corts amb la intenció d'aprofitar la calor emesa pel bestiar situat a la planta baixa. La segona planta és l'estança que més variabilitat representa entre els diferents habitatges considerats. En alguns casos conté només les golfes sota teulat, que servien per assecar tabac o embotits o també per als mals endreços. De manera freqüent trobem una sala de l'estil del soler la qual podia ser utilitzada per a dur a terme tasques relacionades amb el camp o per allotjar treballadors temporers. En alguns casos aquesta sala ha desaparegut en favor d'una major compartimentació en dormitoris.

L'existència d'entre tres i quatre dormitoris pel conjunt de la casa suggereix que la composició dels ocupants de la casa devia ser d'uns sis o set individus. Tenint en compte l'estructura de la família tradicional als pirineus abans de la transició demogràfica, és probable que els dormitoris fossin ocupats de la següent manera. Un per al matrimoni cap de casa, un altre per al matrimoni hereu i els altres pels fills o algun cabaler. Aquesta hipòtesi sembla coherent amb estimacions anteriors. Les dades sobre naixements per cases de la parròquia d'Ordino entre 1800 i 1890, revelen una mitjana de 4,46 infants per casa (ARMENGOL, 1987). Tenint en compte els que superaven els 5 anys, la mitjana se situa en els 3,5 fills per casa. Això porta a l'autora a concloure que entre el matrimoni cap de casa, matrimoni hereu i fills de l'hereu, en una casa tradicional andorrana hi hauria d'haver entre set i vuit persones. Per la seva banda, (LÓPEZ et al., 1988) expressen certes reserves al voltant de les dades d'Armengol. Els autors consideren que, a causa del corrent migratori que experimentà el país durant l'últim terç del XIX seria més prudent rebaixar la xifres d'Armengol a les sis o set persones per casa.

## 2.2 Localitzacions escollides

Per poder discriminar entre els efectes deguts a l'altitud i els que tinguin relació amb l'exposició solar, es va voler trobar una situació en què fos plausible la localització de dues cases tradicionals de dimensions i usos comparables, situades també a altituds semblants. La part superior de la vall d'Andorra la Vella contenia tradicionalment quatre petits nuclis de població: Andorra la Vella pròpiament dita, el Fener, Escaldes i Engordany. Entre aquests, el Pui d'Andorra és a la vegada un terreny rocós —doncs impropï pel cultiu extensiu però a la vegada propera a les zones cultivables. També gaudeix d'una exposició al sol que pot ser d'un interès notable a l'hivern. Per aquest motiu, es va escollir per situar una de les localitzacions estudiades.

Engordany sembla haver-se tractat d'un establiment més estès geogràficament, però que gaudia d'un bon accés als terrenys cultivats al Solà d'Engordany i a la vegada gaudia d'una bona exposició. Es va descartar d'aquest estudi, però, ja que se situa a una altitud superior a la del Pui d'Andorra la Vella. Pel que fa als dos nuclis situats a l'obac de la vall, Escaldes presenta l'avantatge de dominar l'entrada de la vall des de l'est, té accés fàcil als terrenys cultivables i la zona agropecuària del Madriu, i a més gaudeix de la presència de l'aigua termal que en el seu moment va tenir certa importància per la producció de llanes i teixits. Ara bé, la importància relativa que les activitats proto-industrials (teixits) i posteriorment turístics (primers establiments termals) va desaconsellar situar-hi la segona localització d'estudi, ja que els usos als quals es destinaven les cases podien allunyar-se del binomi habitació / tasques agrícoles contemplat pel cas d'Andorra la Vella.

Finalment, el cas del poble avui dia desaparegut del Fener pot ser d'una interpretació més complexa. Començant per l'Edat Mitjana, (BARAUT, 1990), es reproduïx un document notarial de l'any 1233 que fa esment d'una vinya que se situa al *Fenerol*. També es descriuen vinyes situades a la Comella (any 1233) o, anteriorment, a Encorcés —al peu de l'actual carretera

de la Comella— «in locum dicitur Encorzese» en un document de l'any 904 (BARAUT, 1988). El nombre d'aparicions de les vinyes no és tan elevat com per àrees conegudes d'especialització en la viticultura, com pot ser el roc de San Vicens. Tot i això, el fet que en alguns casos es descriu el terreny com confrontant altres vinyes permet pensar en la presència d'una certa concentració d'aquest cultiu a la zona propera al poble del Fener.

Més endavant, els Diplomataris de la vall d'Andorra del segle XV (VELA, 2002) a penes conté alguna referència al cultiu de la vinya, mentre que el volum dedicat al segle XVII (BASCOMPTE, 1997) no en conté cap. Així, podem pensar que la importància del seu cultiu devia minvar en els segles posteriors, si més no pels seus aspectes econòmics. Queda, però, la possibilitat que els habitants del Fener hagin redirigit la seva activitat cap a cultius alimentaris com el sègol, o bé econòmics com el tabac. De fet, es coneixia a finals del segle XX la zona com a adient per aquesta última activitat, fins a la gairebé desaparició de l'activitat agrícola a causa de l'expansió de la zona comercial propera. És per aquest motiu que es va escollir com la segona localització per aquest estudi (fig. 1).

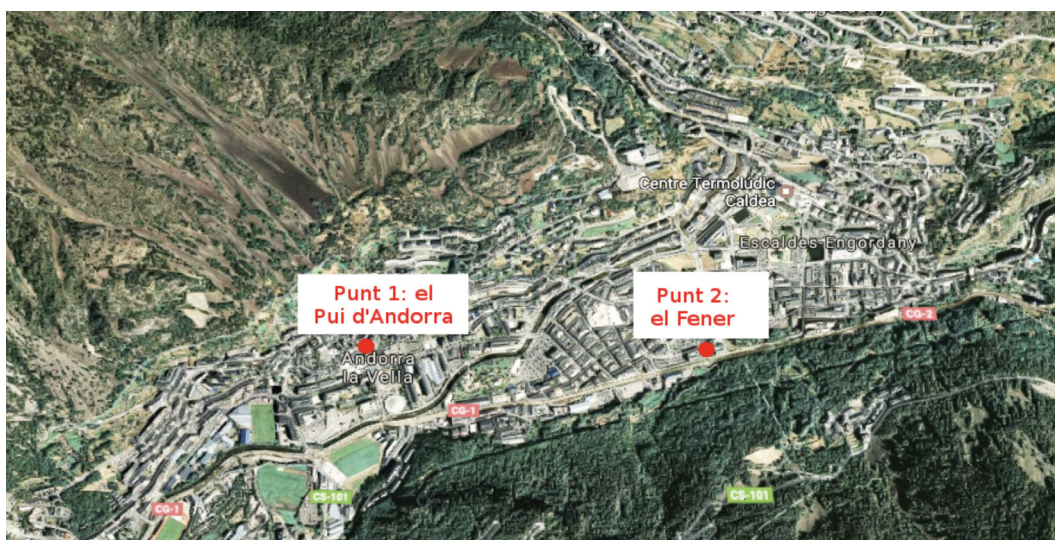


Fig. 1: Ubicacions escollides en la modelització. Font: autors.

### 2.3 Condicions climàtiques a finals del segle XIX

Les condicions climàtiques de finals del segle XIX es poden conèixer, en part, emprant dades instrumentals recollides en diversos observatoris meteorològics. Ara bé, aquests observatoris eren situats sobretot en les grans ciutats, motiu pel qual manquen dades instrumentals en indrets allunyats dels nuclis urbans. En el cas d'Andorra, tan sols disposem de dades instrumentals de temperatura a partir de l'establiment de la central de FHASA, en els últims mesos de l'any 1934. Tot i aquesta dificultat, diferents tècniques de proxies climàtics permeten aproximar-se a les grans tendències d'evolució de les temperatures, entre les quals es compten la dendrocronologia i l'estudi del  $\delta O_{18}$  dels sondejos glacials.

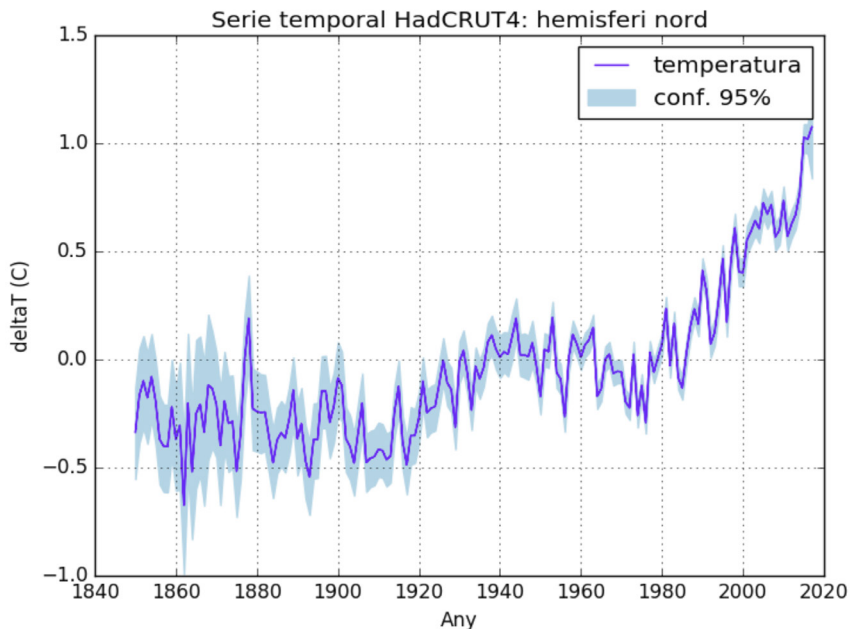


Fig. 2: Anomalia de temperatures terrestres en l'hemisferi nord, anys 1850 a 2017. Font: Osborn TJ and Jones PD (2014) The CRUTEM4 land-surface air temperature data set: construction, previous versions and dissemination via Google Earth. *Earth System Science Data* 6, 61-68 (doi:10.5194/essd-6-61-2014)

Un dels índexs de reconstrucció de les temperatures més reconeguts és el conjunt HADCRUT, actualment en la seva versió 4, i que ens mostra la presència de temperatures inferiors a les actuals —tot i que relativament estables— en l'hemisferi nord al llarg de la segona meitat del segle XIX (fig. 2). Pel que fa a les nostres necessitats, s'ha optat per mantenir l'evolució de temperatures al llarg del cicle anual, aplicant-hi un decalatge de  $-1,6$  graus respecte a les temperatures actuals, prenent com a referència actual les dades instrumentals de l'any 2016.

## 2.4 Construcció del model informàtic

Per tal d'estimar les necessitats energètiques d'una família pirinenca a la segona meitat del s. XIX, s'ha construït un model informàtic que descriu el comportament energètic d'una casa de muntanya prototípica d'aquella època. El programa de simulació energètica EnergyPlus, desenvolupat pel US Department of Energy (DOE), ha estat l'eina escollida per realitzar la modelització. Malgrat que existeixen multitud d'eines de simulació energètica d'edificis,<sup>5</sup> EnergyPlus és de les més esteses i acceptades arreu del món (FUMO et al., 2010). A més, gràcies al seu codi obert, es utilitza com a motor de càlcul de moltes altres eines (p.ex. Design Builder, OpenStudio, N++). En aquest estudi, el motor de càlcul d'EnergyPlus s'utilitza a través de l'eina OpenStudio,<sup>6</sup> la qual facilita el procés de caracterització de totes les variables

<sup>5</sup> Recull d'eines de simulació energètica d'edificis a <http://www.buildingenergysoftwaretools.com/>

<sup>6</sup> Openstudio: <https://www.openstudio.net/>



del model a través de la seva interfície gràfica. La definició geomètrica de l'habitatge es realitza amb el programa de modelatge en 3D SketchUp, el qual disposa d'un plugin que el permet vincular-lo a OpenStudio. Al-Zubaidi (2013) descriu en detall el procés de modelització i les potencialitats de les eines utilitzades en el present estudi (EnergyPlus, OpenStudio i SketchUp).

#### 2.4.1 Característiques de l'habitatge i elements constructius

La geometria principal de l'habitatge s'ha establert seguint una casa de pagès situada en un nucli urbà. Concretament s'ha utilitzat ca la Núria (MAS, 1987, p. 243) com a referència, entenent que és un cas representatiu de casa de muntanya de l'època tal com es deriva del model de casa prototípica establerta en la secció 2.1. Partint de les característiques de ca la Núria, la casa modelitzada disposa de tres plantes més golfes, la façana principal s'orienta a nord, i la façana E està en contacte amb una altra construcció. En l'Annex A es presenten les diferents zones de l'habitatge juntament amb les seves dimensions. L'alçada de totes les plantes s'ha considerat de 2,5 m. Les dimensions i ubicacions de les diferents obertures (portes i finestres), així com els materials constructius, s'han establert segons la documentació aportada per Mas (1987) i a observacions puntuals realitzades durant l'estudi.<sup>7</sup> L'Annex B mostra els materials utilitzats i gruixos considerats en els diferents elements constructius del model així com el model 3D de ca la Núria construït amb SketchUp i OpenStudio. Les propietats dels materials es basen en el catàleg d'elements constructius dels Código Técnico de la Edificación (MINISTERIO DE FOMENTO, 2010)

#### 2.4.2 Activitat i patrons d'ocupació

Els patrons d'ocupació, les activitats i les temperatures de confort de les diferents zones són elements fonamentals en la demanda energètica d'un habitatge. Segons el descrit en la Secció 2.1, s'ha establert que viuen sis persones a l'habitatge amb una càrrega tèrmica de 65 W/persona (KLEIBER, 1947). La cort es considera sempre ocupada i disposa d'una euga, un porc i una vaca aportant una càrrega tèrmica de 740 W. L'única zona que s'escalfa és la cuina en la que s'estableix una temperatura de confort de 19°C durant les hores diürnes (6.00 a 22.00 h). L'habitatge es considera plenament ocupat de les 19:00 h a les 7:00 h i amb una persona la resta d'hores.

#### 2.4.3 Construcció de l'arxiu climàtic

Per tal de realitzar la simulació energètica amb EnergyPlus és necessari disposar d'un fitxer climàtic de les zones d'estudi. Malauradament, tot i l'àmplia base de dades existent<sup>8</sup>, no es disposa d'un fitxer d'Andorra (p.ex. format .epw). Aquest, s'ha construït mitjançant dades horàries anuals (any 2016) de temperatura, humitat relativa i pressió atmosfèrica de l'estació meteorològica de FEDA Central. Val a dir que en el cas de temperatures s'ha aplicat la correcció la Secció 2.3. Les dades de radiació solar, les úniques que varien entre ambdues ubicacions

<sup>7</sup> Ca la Núria està ubicada al centre històric (el Pui) d'Andorra la Vella.

<sup>8</sup> Fitxers climàtics disponibles de més de 21000 localitzacions a <https://energyplus.net/weather>



(Andorra i Fener), s'obtenen de l'eina PVGIS.<sup>9</sup> Per últim, la cobertura nuvolosa s'estableix en base a les dades de l'estació d'observació manual de Sant Joan de l'Erm (METEOCAT, 2017).

### 3. Resultats i discussió

#### 3.1 Resultats del model

El model energètic, aplicat a la primera situació al Pui d'Andorra la Vella, ens proporciona els resultats següents (taula 1).

<i>Model/Situació</i>	<i>Andorra (GJ)</i>	<i>Fener (GJ)</i>
S'escalfa tan sols la cuina. Presència d'animals a la cort.	3,66	4,19
S'escalfa tan sols la cuina. Presència d'animals a la cort.	4,51	5,07
S'escalfa tan sols la cuina. Sense presència d'animals a la cort.	4,68	5,25
S'escalfa tot l'edifici.	86,11	96,07

*Taula 1: Consums d'energia proporcionats pel model de la casa. Font: autors.*

En el primer estudi, s'ha considerat la casa en la seva configuració original, escalfant amb mitjans artificials tan sols la zona de la cuina. La seva superfície reduïda, combinada amb les temperatures relativament més càlides de l'any 2016, permeten observar un consum de tan sols 3,66 GJ al llarg de l'any a Andorra, i 4,19 GJ al Fener. D'aquesta manera, ja es posa en manifest la demanda tèrmica més gran al Fener a causa de la seva ubicació obaga.

En el segon model, s'ha traslladat la mateixa configuració física de la casa a la situació climàtica de finals del segle XIX, arribant així a un consum més elevat, necessitant 4,51 GJ al llarg de l'any per escalfar l'espai de la cuina a Andorra, i 5,07 GJ al Fener. En aquests dos primers casos, s'ha considerat que només existia una única altra font de calor en les altres estances de l'edifici: la presència de bestiar a la quadra de la planta baixa, amb una producció conjunta d'energia valorat en 740W. En el tercer cas, però, s'ha tret el bestiar de la cort, acabant amb un consum superior, de 4,68 GJ i 5,25 GJ respectivament.

Finalment, l'últim model pren en compte una configuració en què la totalitat de l'edifici —llevat de golfes i cort— estaria escalfat. S'augmenta així considerablement la superfície calenta en contacte amb l'aire exterior, i els requeriments d'energia augmenten de manera molt significativa, fins a 86,11 GJ i 96,07 GJ respectivament. La fig. 3 mostra la demanda tèrmica mensual, observant-se la no uniformitat al llarg de l'any.

El model informàtic permet calcular les temperatures en les diferents estances. Prenent una situació temporal concreta amb una temperatura externa de 5°C i interna de 19°C, es calcula que el consum energètic total instantani és de 962 W a través del foc encès a la cuina, a més de 600 W de calor produïts pel bestiar (fig. 4).

<sup>9</sup> <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

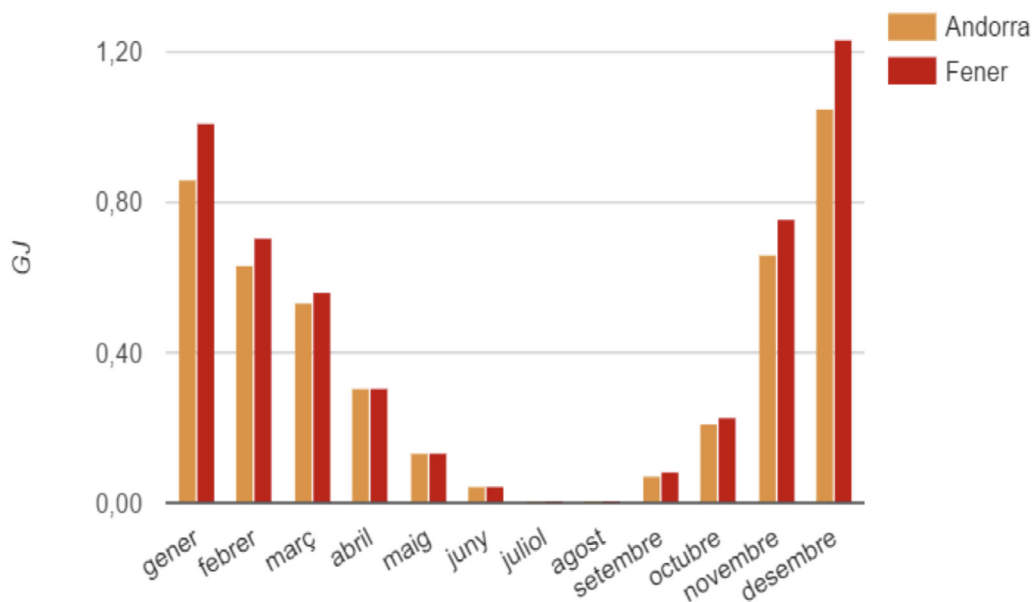


Fig. 3: Demanda d'energia tèrmica mensual a finals del segle XIX, segons situació geogràfica a Andorra la Vella i al Fener. Font: autors.

Es pot observar que els fluxos de calor més grans perduts per la cuina es produeixen a través de la sala del primer pis, amb la qual es troba en contacte directe a través de dos envans primers. D'altra banda, es produeix una pèrdua de calor important des de la cuina directament cap a l'exterior, el que s'atribueix al fet que es tracta de l'estança amb més diferencial de temperatura a través d'una paret exterior.

També es pot notar que tan sols la cuina es troba a una temperatura superior a  $10^{\circ}\text{C}$ , mentre que totes les altres estances estan en valors molt baixos, més propers a la temperatura exterior i que en l'actualitat es considerarien allunyats dels estàndards de confort.

### 3.2 Discussió

El càlcul en equivalent llenya de l'energia necessària, o sigui la transformació de GJ a kg de llenya, presenta certs reptes. S'ha estudiat l'eficiència de la combustió en cuines tradicionals amb llenya com a combustible. Autors com (Smith, 1994) estimen que el poder calorífic de la llenya pot ser en mitjà uns  $17,6 \text{ MJ/kg}$ , tot i que existeix un ampli consens sobre el fet que aquest valor experimenta variacions importants en funció de l'essència de la fusta, i sobretot del seu grau d'humitat. Per altra banda, els mateixos autors conclouen que una fracció de la llenya no arriba a ser cremada, quedant-se restes de carboni barrejades amb les cendres. S'estima que el valor mitjà de la pèrdua per aquest aspecte del procés és d'11% del poder calorífic de la llenya.

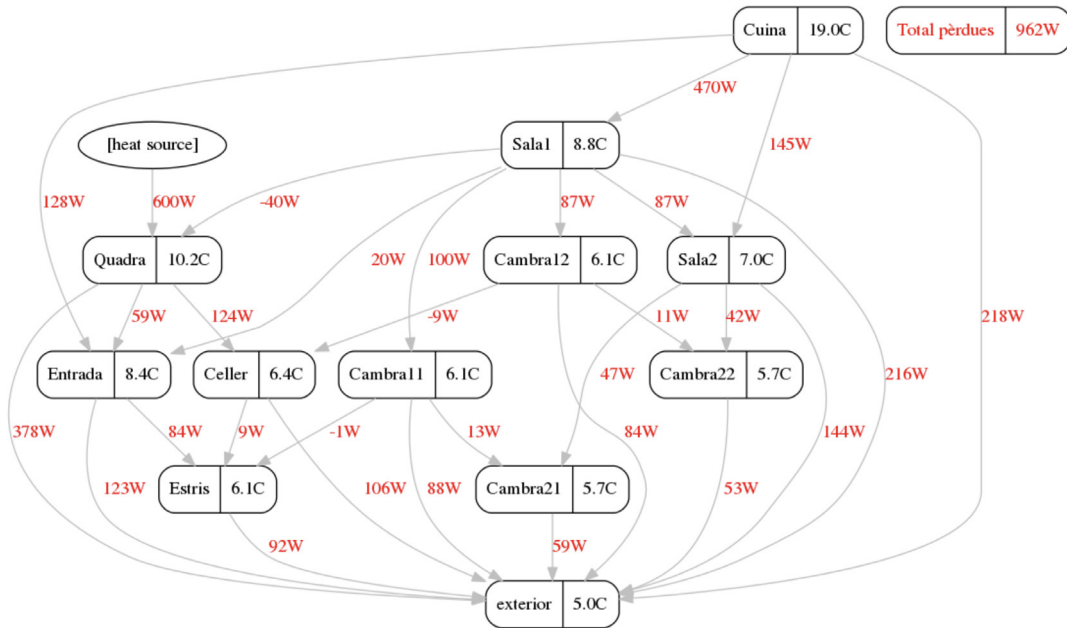


Fig. 4: Fluxos d'energia tèrmica a l'interior de la casa, escalfant tan sols la cuina i amb bestiar a la quadra, en una situació concreta (temperatura interna: 19°C, externa 5°C). Font: autors.

Segons els resultats experimentals presentats en (OZGEN et al., 2014), una llar de foc tradicional pot tenir una eficiència calorífica estimada en tan sols 50%, valor que es pot comparar amb un 70% en el cas d'una cuina econòmica, o valors superiors a 90% pel que fa als aparells actuals emprant pèl·lets com a combustible.

Tenint en compte aquestes dades, es pot estimar l'energia aprofitable en 7,832 MJ/kg de llenya cremada en una llar de foc oberta, arribant als resultats desplegats a la Taula 2.

Model/Situació	Andorra (kg)	Fener (kg)
S'escalfa tan sols la cuina. Presència d'animals a la cort.	467	535
S'escalfa tan sols la cuina. Presència d'animals a la cort.	576	647
S'escalfa tan sols la cuina. Sense presència d'animals a la cort.	598	670
S'escalfa tot l'edifici.	10.995	12.266

Taula 2: Consums d'energia proporcionats pel model de la casa, amb conversió en quilograms equivalents de llenya. Font: autors.

A partir d'aquestes dades, s'imposen algunes evidències. En primer lloc, i en acord amb allò que sosté la tradició, es nota una diferència en els consums de llenya segons la situació considerada. La insolació suplementària a la zona del Pui d'Andorra permet fer un estalvi en consum de llenya de calefacció d'un 12% respecte a la ubicació al Fener. Per altra banda, també s'aprecia la diferència de consum entre els valors calculats pel segle XIX, i per les tem-

peratures actuals. En aquest cas, la variació de consum s'aproxima a 100 kg de llenya, valor considerable en relació amb consum anyal.

Pel que fa a l'aportació de calor dels animals, cal dir que els resultats obtinguts no permeten observar un estalvi important gràcies a la seva presència. Una possible explicació seria que, en la configuració física d'aquest edifici concret, la quadra té una superfície de contacte important amb l'exterior, que fa que es produeixin pèrdues de calor directament des de la quadra, sense poder ser aprofitades per les estances ocupades pels membres de la família.

Finalment, el tancament de la cuina és una mesura que, segons el model informàtic, permet un major estalvi d'energia. S'explicaria així el motiu pel qual la família tradicional tenia tendència a agrupar-se al voltant del foc de la cuina, deixant que la resta de la casa mantingués temperatures relativament baixes. Si no es fes així, els valors observats s'aproximen al consum de llenya que se sol tenir en compte avui en dia per una casa amb característiques semblants.

#### 4. Conclusions

Aquesta recerca ha estimat les necessitats energètiques d'una família andorrana durant la segona meitat del segle XIX. El principal objectiu de la recerca era contrastar com la situació geogràfica de l'habitatge té unes implicacions clares en el consum energètic de la unitat familiar. Els resultats mostren que una orientació solejada de la casa permet un estalvi energètic d'un 12% de llenya al llarg de tot l'any. Aquesta valoració té implicacions significatives en l'estudi de la societat andorrana i per extensió pirinenca de l'època. Per una banda, és possible pensar que les famílies benestants poguessin escollir situacions privilegiades per establir la construcció de la seva casa. Si això resultava en una menor despesa per escalfar la casa, a llarg termini això es configuraria en un factor més d'immobilitat social.

Un altre resultat interessant prové del còmput de la calor emesa pels animals de la cort. Contràriament al que hom pot pensar d'acord amb el coneixement socialment establert, sembla que l'aportació calòrica dels animals no resultava significativa. Si això fos així, aquest resultat tindria una incidència directa en l'estudi de les necessitats energètiques de famílies no directament relacionades amb la ramaderia. En aquest sentit, el resultat obre la porta a estudiar les diferències energètiques de famílies en funció de les seves especialitzacions productives, com per exemple l'assentament de població al nucli de les Escaldes per tal d'aprofitar les aigües termals en la manufactura de llana. 📌

## Referències bibliogràfiques

- AL-ZUBAYDI, A. «Building Models Design And Energy Simulation With Google Sketchup And Openstudio». *Journal of Advanced Science and Engineering Research*, 3, (2013), p. 318–333.
- ARMENGOL, L. *La parròquia d'Ordino al segle XIX: estudi demogràfic i històric*. Andorra: Institut d'Estudis Andorrans, Centre de Perpinyà, 1987.
- BARAUT, C. *Cartulari de la Vall d'Andorra. Segles IX–XIII*. Vol. 1. Andorra: Govern d'Andorra, Conselleria d'Educació i Cultura, 1988.
- *Cartulari de la Vall d'Andorra. Segles IX–XIII*. Vol. 2, Andorra: Govern d'Andorra, Conselleria d'Educació i Cultura, 1990.
- BASCOMPTE, D. *Diplomatari de la Vall d'Andorra: Segle XVIII*. Govern d'Andorra, Ministeri de Cultura, 1997.
- BENISTON, M. «Climatic change in mountain regions. A review of possible impacts.» *Climatic Change*, 59 (2003), p. 5–31.
- BÜNTGEN, U., D. FRANK, H. GRUDD i J. ESPER. «Long-term summer temperature variations in the Pyrenees». *Climate Dynamics*, 31 (2008), p. 615–631.
- CODINA, O. «El carbó vegetal com a font d'energia per a una protoindústria: el cas de la farga a Andorra». *L'energia a Andorra: 22a Diada d'Andorra, XLI Universitat Catalana d'Estiu*, 2010, 199–212.
- FUMO, N. P. MAGO, R. LUCK. «Methodology to estimate building energy consumption using EnergyPlus Benchmark Models». *Energy and Buildings*, 42(12), 2010, p. 2331–2337.
- JOVER, E., A. WARD, A. i U. BÜNTGEN. «Linking long-term temperature variability to population density in Andorra (Central Pyrenees)». *Population and Environment*, 35, 1 (2012), 98–111.
- KLEIBER, M. «Body size and metabolic rate», *Physiological Reviews* 27, 4, (1947), 511–541.
- LLOBET, S. *El medi i la vida a Andorra*. Andorra: Promocions Literàries, 1986.
- LLUELLES, M. J. *La transformació econòmica d'Andorra*. Lleida: Pagès Editors, 1991.
- LÓPEZ, E., J. PERUGA i C. TUDEL. *L'Andorra del segle XIX*. Andorra: Conselleria d'Educació i Cultura, 1988.
- MAS, D. *La casa tradicional andorrana*. Andorra: Conselleria d'Educació i Cultura, 1987.
- METEOCAT. *Dades de cobertura de núvols de les estacions de Tavascan, Estèrri, Sant Joan de l'Erm i la Seu d'Urgell*, 2017.
- Catálogo de elementos constructivos del Código Técnico de la Edificación*. Madrid, Ministerio de Fomento, 2010.
- OZGEN, S., S. CASERINI, S. GALANTE, M. GIUGLIANO, E. ANGELINO, A. MARONGIU i C. MORREALE. «Emission factors from small scale appliances burning wood and pellets.» *Atmospheric Environment*, 94 (2014), 144–153.
- SMITH, K. R. «Health, energy, and greenhouse-gas impacts of biomass combustion in household stoves.» *Energy for sustainable development*, 1, 4 (1994), p. 23–29.
- VELA, S. *Diplomatari de la Vall d'Andorra: Segle XV*. Andorra: Govern d'Andorra, Ministeri de Turisme i Cultura, 2002.

## Annex A

Zona	Amplada (m)	Profunditat (m)	Superfície (m <sup>2</sup> )	Ubicació
Entrada	3	4,75	14,25	Planta baixa
Cort	4,5	4,75	21,38	Planta baixa
Desembaràs	3	4,75	14,25	Planta baixa
Celler	4,5	4,75	21,38	Planta baixa
Soler	4,5	4,75	29,93	Primer pis
Cuina	3	1,90	5,70	Primer pis
Dormitori 1	3,75	4,75	17,81	Primer pis
Dormitori 2	3,75	4,75	17,81	Primer pis
Sala	7,5	4,75	35,63	Segon pis
Dormitori 3	3,75	4,75	17,81	Segon pis
Dormitori 4	3,75	4,75	17,81	Segon pis
Golfes	7,5	9,50	71,25	Tercer pis

Taula 1: Dimensions de les zones de l'habitatge modelitzat. Font: autors.

## Annex B

Element constructiu	Material	Gruix (cm)
Murs exteriors	Granit	50
	Enguixat interior*	0,15
Terra planta baixa	Granit	20
Murs interiors	Fusta	7
Forjat entre plantes	Fusta	8
Coberta	Llosa	4
	Fusta	5
Finestres	Vidre	0,4
	Fusta	3
Portes	Fusta	3

Taula 2: Materials i gruixos dels diferents elements constructius (\*només primer i segon pis). Font: autors.

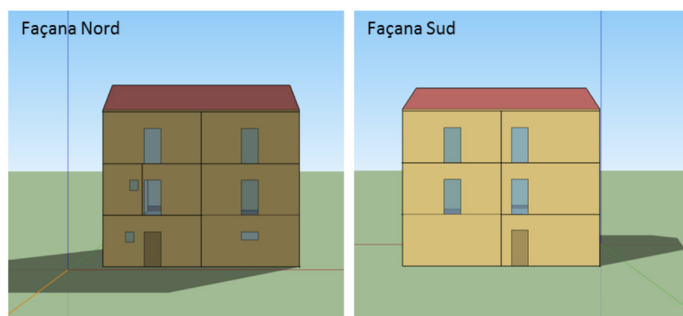


Fig. 1: Model 3D construït amb SketchUp i OpenStudio. Font: autors.