

Treball de Fi de Grau

## Enginyeria en Tecnologies Industrials

### Transformació energètica d'un habitatge rural

#### MEMÒRIA

**Autor:** Armand Rougé Creus  
**Director:** Jose Maria Morancho Llana  
**Convocatòria:** Tardor 2021-2022



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resum

Aquest projecte de Final de Grau té per objecte transformar des del punt de vista energètic un habitatge rural totalment dependent energèticament en un habitatge totalment independent gràcies a l'ús d'energies renovables. Aquest habitatge ha estat comprat recentment i, per tant, al no disposar de factures elèctriques antigues, tractarem d'explicar i de calcular el consum energètic estimat de l'habitatge.

Primerament, s'ha estudiat la situació actual de les energies renovables en l'àmbit mundial, europeu i estatal. I, també s'han investigat les raons per les quals avui dia el preu del MWh és tan elevat.

A continuació, s'ha introduït l'habitatge rural objecte d'estudi, explicant la seva estructura, la instal·lació energètica actual i les condicions climatològiques que l'envolten. A partir d'aquesta anàlisi, el següent punt a tractar ha estat un dels apartats més complicats: dimensionar correctament la demanda energètica de l'habitatge. S'ha explicat i calculat, quins són tots i cadascun dels consums que s'han de tenir en compte en un habitatge, per finalment, trobar un consum referent per cada mes de l'any en funció de l'ocupació de la casa. Per aquest apartat, s'ha utilitzat una eina informàtica específica per dimensionar el consum de calefacció i refrigeració de l'habitatge, atesa la seva complexitat i a la seva importància en els resultats finals.

Seguidament, s'han estudiat les múltiples solucions energètiques renovables disponibles avui dia. Especialment, han estat l'eòlica i la solar, i també s'ha fet una pinzellada sobre el nou vector energètic del futur: l'hidrogen. Aleshores, un cop estudiades totes les solucions energètiques, s'han plantejat sis alternatives diferents per la instal·lació d'aquestes energies renovables en funció dels diferents perfils de consums de l'habitatge, diferenciant entre sistemes aïllats i connectats a la xarxa. S'ha utilitzat una eina informàtica per avaluar cadascun dels sis casos, en funció de les diferents solucions energètiques proposades. També cal dir que, tots els components tecnològics utilitzats (panells solars, bateries, etc.) són reals i cap cost ha estat estimat.

De les alternatives proposades, hem seleccionat dues i han estat estudiades al detall. Tanmateix, aquesta eina informàtica també ens ha permès avaluar l'impacte mediambiental d'ambdues alternatives i estimar els costos de cadascuna d'elles amb els seus respectius estalvis, costos de la despesa elèctrica, entre d'altres.

Per últim, s'ha realitzat un pressupost tenint en compte el preu de les dues alternatives seleccionades, el cost d'un enginyer acabat de titular i les subvencions existents avui dia. Pel que fa les subvencions, hem dedicat un punt del treball sencer atesa la seva rellevància en el cost final.



# Índex

<b>ÍNDEX</b>	<b>5</b>
<b>1. PREFACI</b>	<b>11</b>
1.1. Origen del projecte .....	11
1.2. Motivació .....	11
<b>2. INTRODUCCIÓ</b>	<b>13</b>
2.1. Les energies renovables avui dia .....	13
2.1.1. Al món i a Europa.....	13
2.1.2. A Espanya.....	15
2.2. Problema energètic actual, preu del MWh disparat .....	19
2.3. Objectius del projecte .....	23
<b>3. CAS D'ESTUDI</b>	<b>26</b>
3.1. Localització.....	26
3.2. Clima .....	27
3.2.1. Sol.....	27
3.2.2. Vent .....	29
3.2.3. Compatibilitat .....	33
3.3. L'habitatge .....	34
3.3.1. Dimensions interiors.....	35
3.3.2. Materials .....	38
3.4. Instal·lació energètica actual.....	40
<b>4. DEMANDA ENERGÈTICA</b>	<b>42</b>
4.1. Consum d'un habitatge aïllat.....	42
4.1.1. Energia i potència .....	42
4.1.2. Necessitats d'un habitatge .....	43
4.2. Demanda dels electrodomèstics .....	44
4.3. Demanda d'il·luminació .....	45
4.4. Demanda de la bomba hidràulica.....	47
4.4.1. Alternativa .....	48
4.5. Demanda d'ACS.....	49
4.6. Demanda de fred i calor .....	53
4.6.1. Pèrdues de calor .....	53
4.6.2. Conducció, Convecció i Radiació.....	55
4.6.3. Condicions de contorn .....	56

4.6.4.	Problema dinàmic i complex .....	57
4.7.	HULC® Lider – Calener CTE.....	59
4.7.1.	Dades generals.....	61
4.7.2.	Base de dades .....	63
4.7.3.	Disseny de l'habitatge .....	70
4.7.4.	Ponts tèrmics .....	73
4.7.5.	Simulació .....	74
4.7.6.	Demanda total.....	76
4.8.	Diferents alternatives de consums finals .....	79
<b>5.</b>	<b>DIFERENTS ALTERNATIVES .....</b>	<b>82</b>
5.1.	Energia Fotovoltaica .....	82
5.1.1.	Fonaments.....	82
5.1.2.	Evolució .....	84
5.1.3.	Panells fotovoltaics .....	85
5.1.4.	Dimensionament.....	88
5.1.5.	Instal·lació connectada o aïllada de la xarxa.....	90
5.2.	Eòlica .....	91
5.2.1.	Fonaments.....	91
5.2.2.	Evolució .....	93
5.2.3.	Dimensionament.....	95
5.3.	Hidrogen .....	97
5.3.1.	Nou vector energètic.....	97
5.3.2.	Hidrogen gris, blau i verd .....	98
5.3.3.	Emmagatzemament i distribució .....	99
5.3.4.	Dimensionament.....	100
<b>6.</b>	<b>HOMER® .....</b>	<b>103</b>
6.1.	Les diferents alternatives .....	104
6.2.	Consum elèctric .....	106
6.3.	Recursos renovables .....	111
6.4.	Panells fotovoltaics, aerogeneradors, bateries i inversors utilitzats.....	113
6.5.	La xarxa elèctrica.....	118
6.6.	Configuració del software .....	122
6.7.	Variables i presentació dels resultats .....	125
6.8.	Resultats Residència Principal .....	128
6.9.	Resultats Segona residència sense termòstat.....	129
6.10.	Resultats Segona residència amb termòstat .....	130
6.11.	Resultats detallats de les dues alternatives escollides .....	134

6.12. Taula resum de totes les alternatives estudiades .....	140
<b>7. AJUTS ECONÒMICS</b> .....	<b>141</b>
7.1. Ajuts enfocats a l'autoconsum.....	141
7.2. Incentius fiscals .....	144
7.3. Costos finals .....	145
7.3.1. Costos incloent l'ajut a l'autoconsum .....	145
7.3.2. Costos incloent ambdós ajuts .....	148
<b>8. IMPACTE MEDIAMBIENTAL</b> .....	<b>150</b>
8.1. empremta de la xarxa .....	150
8.2. empremta dels components.....	152
8.3. empremta total .....	153
<b>9. PRESSUPOST</b> .....	<b>154</b>
<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>157</b>
<b>AGRAÏMENTS</b> .....	<b>159</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>160</b>
Referències bibliogràfiques.....	160









# 1. PREFACI

## 1.1. Origen del projecte

Un dels temes recurrents al llarg del segle XXI ha estat el canvi climàtic. Actualment, les repercussions d'aquest canvi ja ens estan impactant en la nostra societat i les expectatives de futur no són esperançadores. La temperatura del planeta ja s'ha incrementat d'1,1 °C respecte al període preindustrial, molt a prop del límit d'1,5 a 2 °C. A conseqüència d'aquestes evidències, els moviments socials han crescut dia rere dia per forçar els governs a actuar i a implementar noves mesures per reduir les emissions. Durant aquests últims anys, la Comissió Europea ha anat preparant plans d'actuació per arribar a la descarbonització completa de la Unió Europea el 2050, reemplaçant totes les fonts energètiques fòssils, per d'altres totalment renovables.

D'altra banda, a l'any 2018 al nostre país, es va tombar el famós impost al sol i, per consegüent, l'any següent es va publicar el Reial decret 244/2019. Aquest decret va donar viabilitat econòmica a les instal·lacions de renovables dedicades a l'autoconsum i va impulsar a les persones a fer servir energies renovables permetent la venda d'excedents a la xarxa i aportant subvencions molt elevades.

Tanmateix, l'augment de preu del MWh al llarg d'aquest 2021 ha preocupat molt a la ciutadania. Aquest preu no ha parat d'augmentar, arribant a valors mai vistos al llarg de la història i causant molts problemes a moltes famílies. Per altra banda, no es preveuen que els preus disminueixin aviat i, per tant, l'única via per abaratir costos actualment és la instal·lació d'un sistema d'autoconsum per no dependre totalment de la xarxa.

Amb aquest projecte es pretén contribuir a la implementació de les energies renovables d'ús domèstic, dissenyant un sistema capaç d'aportar l'energia necessària per a un habitatge rural sense contaminar el medi ambient. Amb l'objectiu de ser capaç d'instal·lar sistemes d'autoconsum en qualsevol casa i contribuir el més possible en la lluita contra el canvi climàtic.

## 1.2. Motivació

Amb aquest projecte es pretén aprendre el màxim possible sobre les energies renovables a fi d'implementar-les com una eina habitual d'ús domèstic i així contribuir el màxim possible a la lluita contra el canvi climàtic.

El fet que la casa d'estudi sigui pròpia, fa més interessant aquest projecte. Probablement a curt termini, un cop valorades totes les solucions viables, s'implementi un sistema renovable en l'habitatge a partir de l'estudi realitzat. Per tant, tots els càlculs fets al llarg del projecte han de ser precisos i han de tenir en compte el màxim nombre de variables possibles per tal de dimensionar la instal·lació necessària al mil·límetre.

Per últim, m'agradaria demostrar que avui dia és possible dimensionar per a qualsevol habitatge, una instal·lació d'energia renovable. Cal que la societat sigui conscient que el canvi climàtic té solucions viables i tingui present que avui dia una instal·lació d'energia renovable no només ajuda a contribuir en la descarbonització del planeta sinó que també pot suposar un estalvi econòmic.

## 2. INTRODUCCIÓ

Actualment, el nostre planeta pateix l'esgotament de diversos recursos fòssils, utilitzats dia a dia, i el consum d'aquests està desencadenant una elevada contaminació ambiental. S'ha d'actuar tan aviat com es pugui, abans que sigui massa tard. Per fer-hi front, disposem de molts recursos tecnològics que han anat millorant al llarg d'aquests últims anys, i ara, és hora d'utilitzar-los pel bé comú. L'objectiu és aconseguir que aquestes noves tecnologies, subministrin a les poblacions i a les grans indústries, l'energia necessària per al seu funcionament sense haver de contaminar el nostre planeta.

Al llarg d'aquest treball, parlarem de l'anomenat canvi climàtic. Existeixen dues maneres diferents per combatre'l: reduint la quantitat de gasos emesos a l'atmosfera (continuant consumint combustibles fòssils), o substituint el model energètic i produir energia de manera neta sense contaminar.

Aquí ens centrarem en la substitució del model energètic, prenent com a objecte d'estudi el canvi del model energètic d'un habitatge rural. L'objectiu és transformar-lo en un habitatge totalment dependent d'energies renovables, implementant la solució òptima pel medi ambient.

Per tant, l'objectiu final d'aquest treball serà implementar les energies renovables en l'entorn rural, perquè en un futur pròxim aquesta opció sigui la més habitual. Cal que el nostre projecte de vida sigui el més respectuós possible amb el medi ambient.

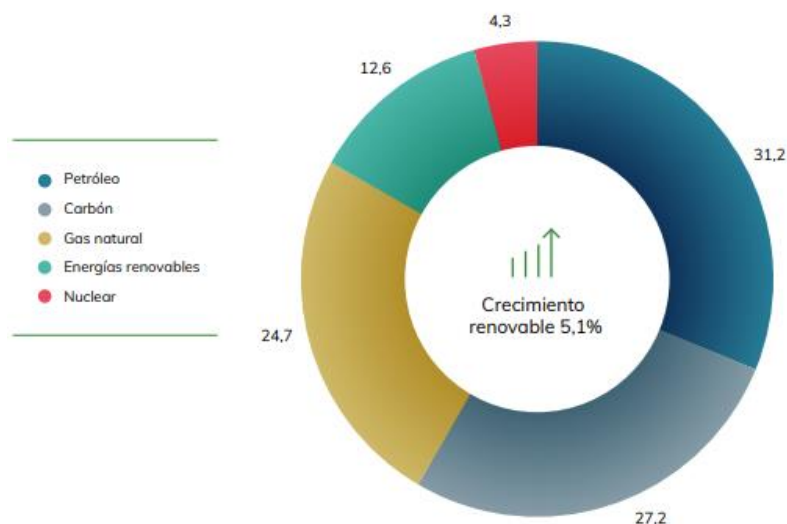
### 2.1. Les energies renovables avui dia

Durant l'any 2021, en un entorn energètic marcat per la pandèmia de COVID-19, les institucions europees i mundials han continuat avançant en la transició energètica. Aquests últims dos anys hem viscut una de les majors crisis econòmiques al llarg de la història. Es van parar per complet els països, un rere l'altre, tancant fronteres i paralitzant les seves economies. Es van buidar les carreteres, les indústries van parar de produir i tots nosaltres ens vam confinar a dins les nostres cases. Tot això va aconseguir que es generés una caiguda en picat del consum dels productes petrolífers com ara en els transports o indústries i també, va generar una caiguda molt gran dels preus de l'electricitat. Ara veurem com han evolucionat les energies renovables, durant aquests anys de pandèmia.

#### 2.1.1. Al món i a Europa

En analitzar el comportament dels mercats energètics tant mundials com Europeus, al llarg a finals del 2020, el creixement de les energies renovables ha sigut molt significatiu.

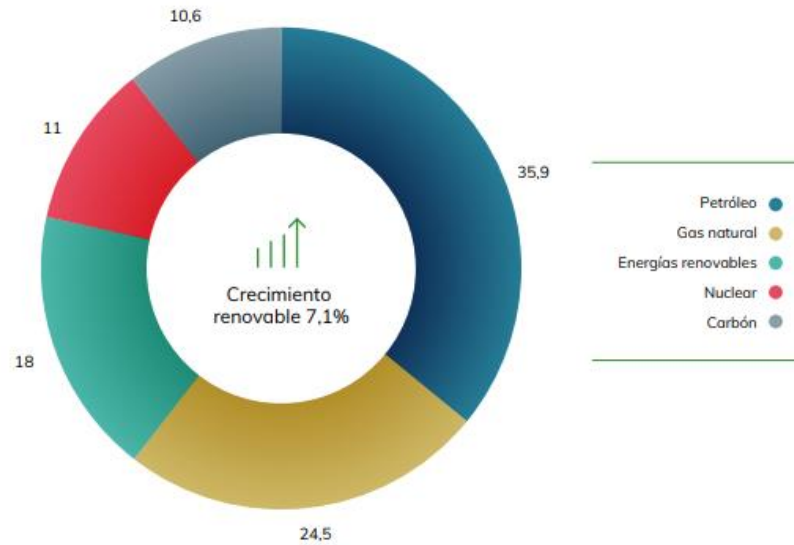
A nivell mundial, s'ha experimentat un creixement d'aquestes energies del 5,1% comparat a l'any anterior. També, continua sent la quarta energia més important del consum total i respecte a l'any anterior, aquest percentatge s'ha incrementat d'1,2 punts percentuals. Igualment, les energies provinents dels combustibles fòssils encara tenen un pes elevat en el balanç final, representant un 83% total en el món. La revolució energètica mundial només acaba de començar i per tant, s'espera que l'energia renovable ocupi un percentatge molt important del total.



*Figura 2.1: Consum d'energia primària a finals del 2020 en el món [1].*

Per altra banda, en l'àmbit europeu, el consum d'energia provinent d'energies renovables durant el 2020 ha sigut més elevat, aconseguint arribar al 18% del total. L'augment comparat a l'any anterior ha sigut de 3 punts percentuals, major que en la majoria dels països en el món. Igualment, el petroli continua ocupant la primera posició amb un 35,9% de l'energia total consumida, seguida pel gas natural (24,5%). Pel que fa al carbó, el seu percentatge ha continuat disminuint al llarg dels anys. Podem veure un gràfic amb aquestes dades en la figura 2.2 d'aquest apartat.

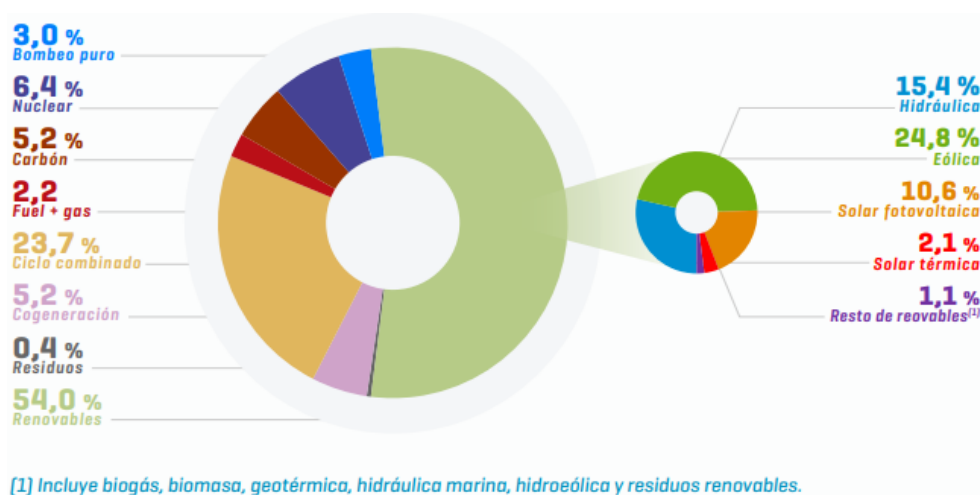
A més, durant aquests últims anys, la Comissió Europea ha anat preparant plans d'actuació per arribar a la descarbonització completa de la Unió Europea el 2050. Per arribar a aquest objectiu, s'ha creat un calendari mediambiental en el qual de moment, de cara al 2030, tots els països membres hauran de reduir les seves emissions un 55% respecte als nivells de contaminació del 1990. A més de presentar propostes legislatives, ha publicat estratègies importants que tenen com a finalitat desenvolupar tecnologies que facin possible la descarbonització, complementaries a les energies renovables convencionals com ara l'hidrogen i el seu emmagatzematge.



*Figura 2.2: Consum d'energia primària a finals del 2020 en Europa [1]*

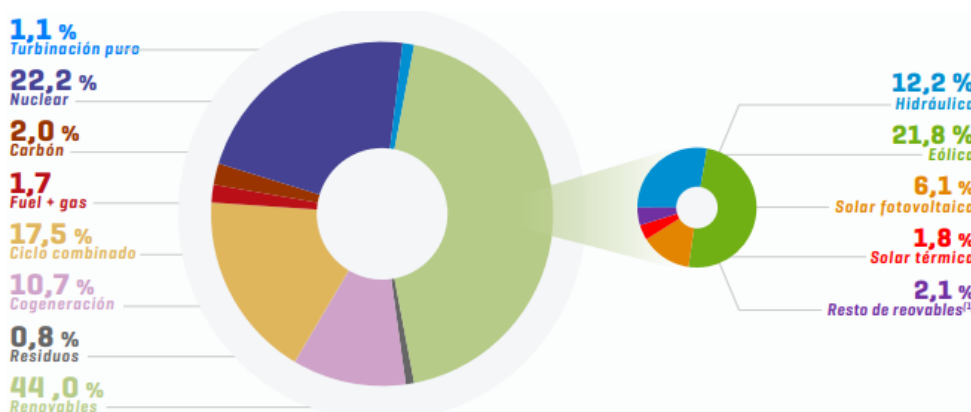
### 2.1.2. A Espanya

A finals de l'any 2020, Espanya ha incrementat la potència instal·lada renovable del 8,7% respecte a l'any anterior, el que suposa un augment de 4.782 MW. Aquest increment de potència és degut principalment l'augment de la potència solar fotovoltaica que ha aportat un 61,3% de la nova potència. Tanmateix, la potència eòlica ha aportat 1.802 MW addicionals i ha superat per fi la potència instal·lada de les centrals de cicles combinats. A principis del 2021 a Espanya se'n van generar 110.556 GWh d'energia renovable, que corresponen al 44% de la generació total.



*Figura 2.3: Diagrama de la potència instal·lada per a diferents tecnologies a principis*

del 2021 [2].



[1] Incluye biogás, biomasa, geotérmica, hidráulica marina, hidroeólica y residuos renovables.

Figura 2.4: Diagrama de la generació energètica produïda a principis del 2021 [2]

En aquestes dues figures podem veure els diferents pesos de cada tecnologia elèctrica en funció de la seva potència instal·lada i l'energia elèctrica produïda a nivell nacional. Com podem veure, a principis del 2021, les energies renovables tenen un gran pes en el nostre sistema elèctric. Com hem dit anteriorment, veiem que l'energia provinent de fonts renovables és del 44% i la potència instal·lada és del 54%. Aquestes xifres mostren el potencial renovable de l'estat Espanyol i la facilitat que té geogràficament per produir aquest tipus d'energia. D'altra banda, veiem com la resta de la generació d'energia provindrà sobretot de les centrals nuclears o de les centrals tèrmiques de cicle combinat.

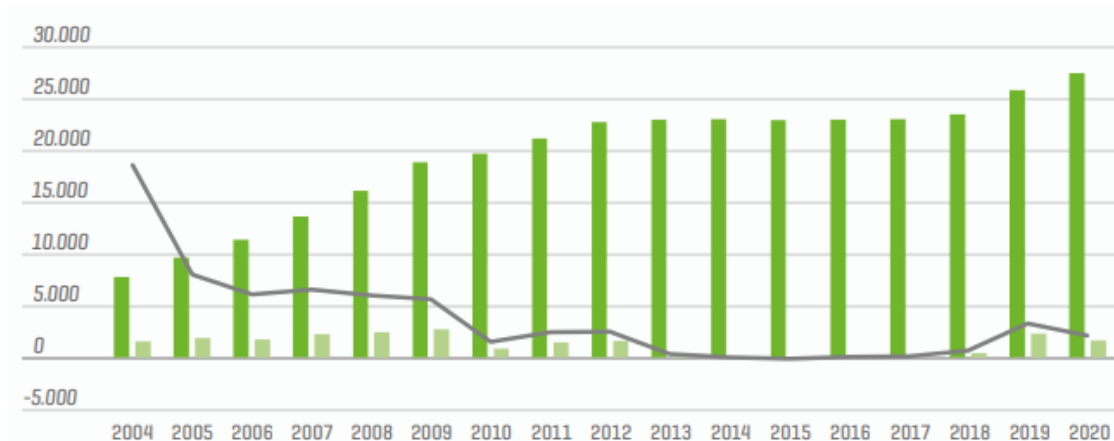
Ara bé, la dada més sorprenent és la poca generació d'energia solar que produeix el país, sabent que Espanya té una irradiació solar molt superior a tots els altres països de la unió europea. Tanmateix, actualment, l'energia renovable amb més creixement justament és la solar juntament amb l'eòlica. En incrementar les energies renovables, la producció elèctrica a partir de les centrals de carbó han disminuït, fet que ha afavorit a disminuir les emissions de CO<sub>2</sub> associades a l'energia elèctrica.

També, veiem com l'energia eòlica és la més important de tot el mix d'energies renovables, suposant gairebé un 22% de l'energia total produïda. A més, les tres comunitats autònomes que més generen energies renovables són Castilla y Leon, Galicia i Andalusia. Pel que fa Castilla y Leon, aquesta continua sent l'autonomia amb més generació d'energia renovable suposant un 87% de la seva producció total, sent l'energia eòlica la seva principal font (50%).

Ara, estudiarem l'evolució de les tres energies renovables més importants que són l'eòlica, la hidràulica i la solar.



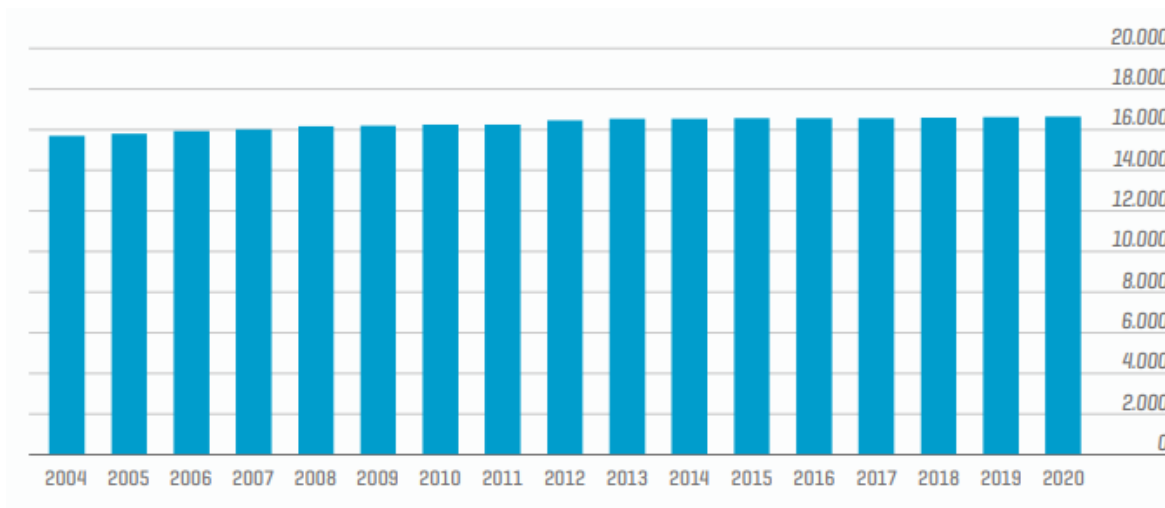
A principis del 2021, l'energia eòlica generava 54.899 GWh de l'energia total, suposant un nou màxim històric respecte els anys anteriors. Ara bé, la gran variabilitat que presenta el vent fa que la contribució de la generació eòlica en la cobertura horària de la demanda pateixi importants oscil·lacions. Igualment, Espanya es manté com el segon país del ranking de major capacitat eòlica instal·lada darrere d'Alemanya que supera els 60GW instal·lats. Quan a la contribució total de la generació elèctrica, el líder continua sent Dinamarca amb aproximadament un 60% de la producció total d'energia. Aleshores, l'evolució de la potència eòlica instal·lada aquests últims anys ha sigut la següent:



*Figura 2.5: Evolució de la potència eòlica instal·lada a l'estat espanyol en MW (barres verd fosc) [2].*

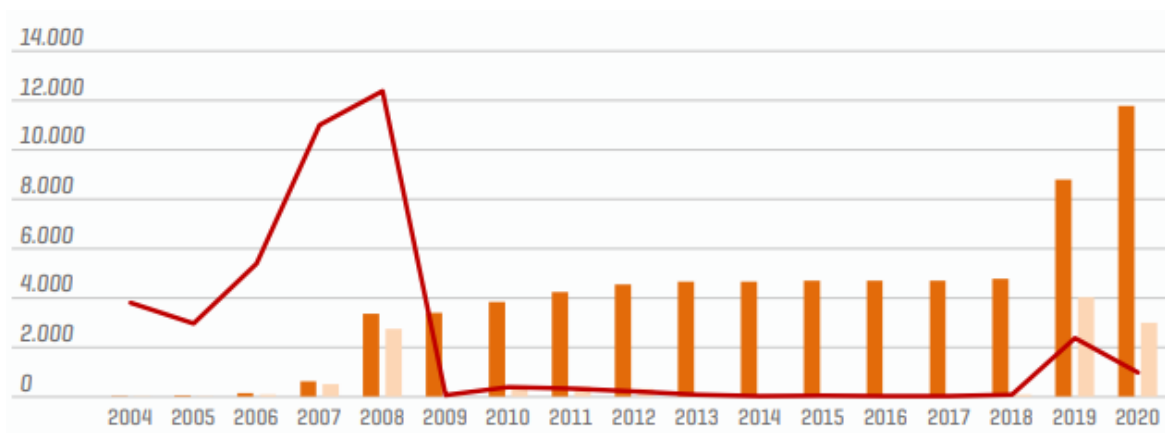
També, a principis del 2021, l'energia hidràulica produïda va ser de 30.614 GWh de l'energia total a nivell nacional. Un dels avantatges que presenta aquesta tecnologia comparada a la resta de renovables és la seva gestió, ja que es pot disposar d'ella quan es necessiti per subministrar per exemple els pics de demanda del matí o de la tarda nit. En comparació a la resta de països europeus, l'estat espanyol ocupa el cinquè lloc en energia generada a través d'aquesta tecnologia.

En la següent figura 2.6 veiem que l'augment de la potència instal·lada ha sigut gairebé nul·la, ja que la quasi totalitat del potencial de generació d'aquesta energia ja ha estat explotat. No queden salts d'aigua que justifiquin una inversió viable per generar electricitat. D'altra banda, es preveu que els efectes del canvi climàtic castigui la freqüència de les precipitacions al llarg dels pròxims anys.



*Figura 2.6: Evolució de la potència hidràulica instal·lada a l'estat espanyol en MW [2]*

Per últim parlarem de l'energia solar. Durant els últims anys, l'energia solar fotovoltaica ha experimentat un gran creixement. La potència instal·lada a principis del 2021 va ser de 14.018 MW i van generar 19.827 GWh de la generació total del país suposant un creixement del 37,5% comparat a l'any anterior. Un cop presentat el gràfic de l'evolució d'aquesta energia, explicarem la raó per la qual l'energia fotovoltaica no ha sigut utilitzada al llarg d'aquests últims anys.



*Figura 2.7: Evolució de la potència fotovoltaica instal·lada a l'estat espanyol en MW (corba taronja) [2]*

Com podem veure en aquesta figura, l'evolució de la potència instal·lada fotovoltaica (corba taronja) s'ha mantingut estable al llarg dels anys fins fa relativament poc. No estudiarem ni la corba beix ni la corba vermella perquè en aquest estudi no són d'interès. Aquest augment és degut principalment a la retirada de l'impost al sol, creat pel PP l'any 2015. Aquest famós impost, tenia com a objectiu fer pagar els propietaris dels panells solars que estiguessin

connectats a la xarxa un cost extra per només poder disposar de la xarxa quan ho necessitessin encara que no hi fessin ús. Això va crear una gran polèmica perquè les persones amb instal·lacions ja fetes d'energies renovables, de cop havien de pagar per un servei que no els hi feia falta. D'altra banda, la gent que volia instal·lar panells fotovoltaics des de zero, no veiem cap viabilitat econòmica en els projectes d'autoconsum. Aleshores l'única opció viable per no pagar aquest impost, era aïllar-se completament de la xarxa, però assumint uns costos d'instal·lació molt majors.

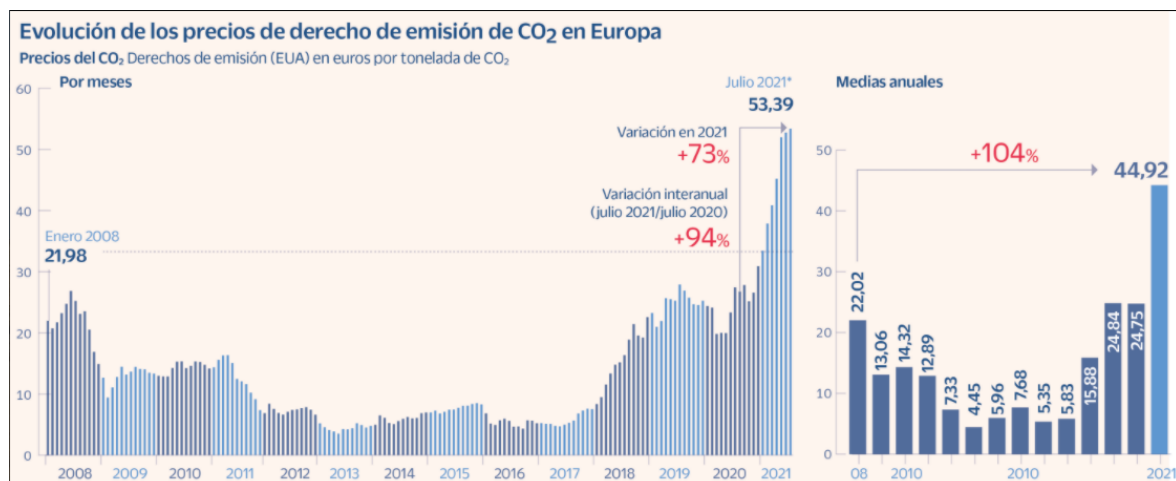
Més endavant, a l'any 2018 el PSOE va eliminar aquest impost al sol, proposant a més a més, diverses estratègies de transició energètica per no endarrerir-se comparat a al resta de països europeus. Aleshores, l'abril del 2019 es va publicar el nou reial decret 244/2019 que va permetre regular d'una vegada per totes, les instal·lacions dedicades a l'autoconsum.

## **2.2. Problema energètic actual, preu del MWh disparat**

El preu de l'energia d'aquest 2021 ha anat augmentant sense parar, arribant a nivells record mai vistos. Els experts coincideixen que el preu de l'energia continuarà pujant, fins que no s'adoptin les diverses mesures que hi ha sobre la taula del govern d'Espanya.

Se sap que actualment, les causes d'aquesta pujada record són dues. Per un costat, és degut al preu dels drets d'emissió de CO<sub>2</sub> que les empreses han de comprar per compensar la contaminació produïda, i, el preu del gas natural. Al cremar el gas natural per crear energia elèctrica (com el carbó), s'emet diòxid de carboni a l'atmosfera i, per consegüent, s'han de pagar els drets d'emissió corresponents, a més a més del propi preu del gas. Aleshores, l'encariment del gas afecta per dues bandes al preu final de l'electricitat.

Els drets d'emissió de CO<sub>2</sub> són donats per la Unió Europea i serveixen perquè les empreses puguin compensar les seves emissions contaminants. Per consegüent, sí les empreses contaminen de més, seran fortament sancionades econòmicament. Avui dia, aquests drets se subhasten (60% del total) o es donen de forma gratuïta (40% del total). Es cotitzen com a futurs (és un contracte financer en el qual dues parts acorden intercanviar un actiu en el futur) i formen part d'un mercat creat per la Unió Europea en el 2005. Des d'aleshores, el preu d'aquests drets ha anat augmentant fins a arribar a preus mai vistos. En la següent gràfica podem veure l'evolució del preu al llarg dels anys:



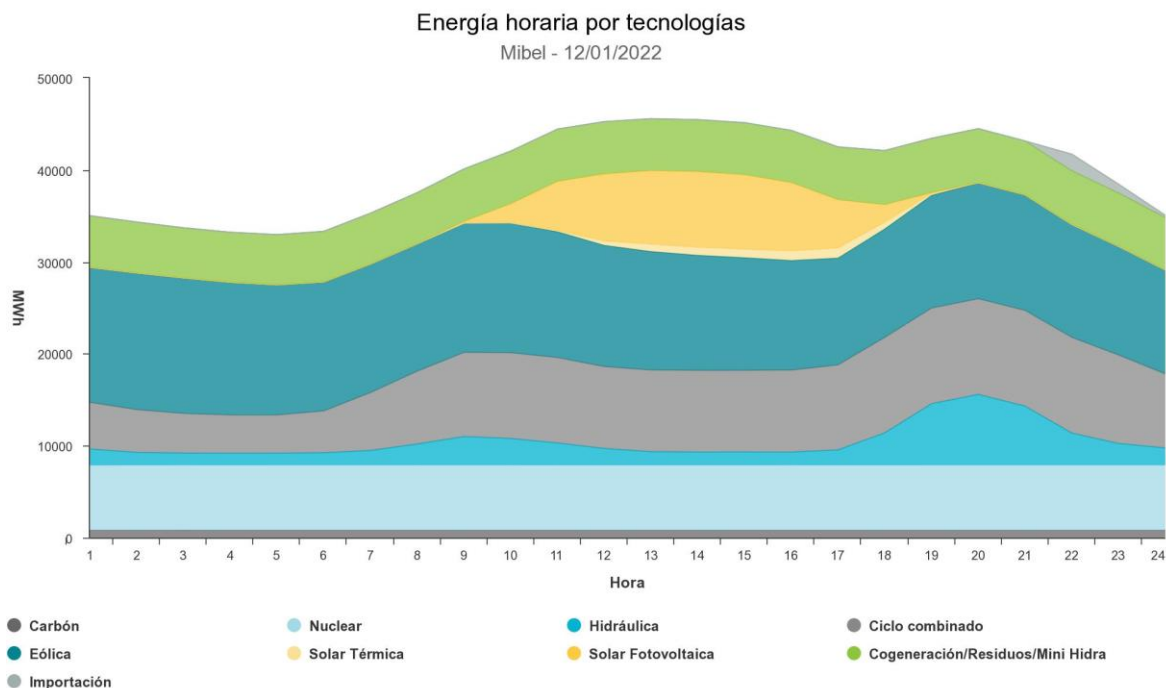
*Figura 2.8: Evolució del preu dels drets de CO<sub>2</sub> [3].*

En aquest gràfic, podem veure l'evolució dels drets del 2008 fins al 2021. Durant el mes de gener d'aquest any 2022, els preus dels drets d'emissió han aconseguit arribar als 82,93 €, que representa un preu molt elevat si el comparem amb els que teníem l'any 2013 o 2017 que rondaven al voltant dels 5 € per tona de CO<sub>2</sub> emesa.

La Unió Europea aposta fermament per la plena descarbonització en el 2050 i és per aquesta raó que els drets d'emissió han pujat els últims anys. S'estima que aquests drets continuaran pujant fins que la generació d'electricitat no contaminei. Actualment, els preus estan disparats degut a la forta demanda i a la poca oferta disponible d'energia renovable. Cal dir, que cada any els reguladors ofereixen un 2,2% menys drets per encarir el preu final progressivament.

Tanmateix, és molt important saber com es produeix el mix energètic que consumim de la xarxa elèctrica i quins són els preus de venda de l'energia final. L'electricitat es produeix amb diferents tecnologies: renovables, nuclear, gas, hidràulica, etc. Ara bé, el preu de cadascuna d'aquestes energies depen de la demanda i la capacitat de les empreses a produir-la.

Quan no plou, les centrals hidroelèctriques no produeixen electricitat. Si no bufa el vent, els aerogeneradors no funcionen. I si el cel està molt tapat els panells solars no generen energia. Per consegüent, encara que les fonts renovables siguin relativament barates (com la nuclear), aquestes estan molt limitades degut a la seva variabilitat. Per garantir la demanda elèctrica, el que es fa és tenir sempre funcionant les centrals nuclears, ja que aquestes no es poden aturar i generen electricitat constantment amb una variabilitat pràcticament nul·la, i utilitzar el resta d'energies en funció de la necessitat (demanda).



***Figura 2.9: Mix energètic de la xarxa elèctrica d'un dia convencional [4]***

En aquesta figura podem veure el mix energètic produït en un dia normal, com podria ser el 12 de gener d'aquest 2022. Ens adonem com en funció de les hores del dia s'utilitzen més o menys les diferents tecnologies generadores d'energia i com s'intenta usar les més barates com ara la nuclear, l'eòlica, o la solar.

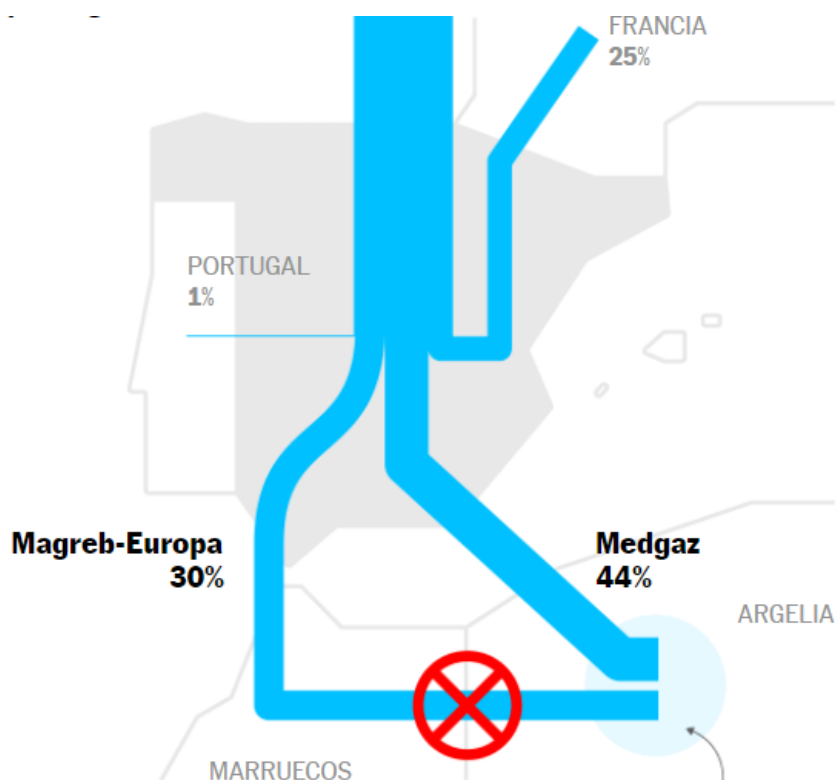
Una característica pròpia de l'electricitat és la impossibilitat d'emmagatzemar-la en quantitats elevades. Per això, la generació d'energia elèctrica ha de compensar en cada instant de temps, la demanda prevista. Sabent que la producció energètica de les energies renovables depenen de la climatologia, serà necessari l'ús de tecnologies que puguin incrementar o reduir la seva producció elèctrica molt ràpidament per poder seguir les variacions de la demanda neta en funció de la producció de les energies renovables. La tecnologia més utilitzada per generar electricitat de manera massiva i instantània són les centrals tèrmiques de cicle combinat, a partir de gas natural.

El més important de tot, és entendre que el preu final de l'electricitat vindrà dictat per l'última energia necessària per cobrir la demanda, que porta el nom de "tecnologia marginal". Com ja hem explicat, la tecnologia menys usada és la del gas natural, ja que contamina i no és barata. La hidràulica també serà de les menys emprades, perquè sols s'utilitza en casos puntuals. Es podria dir que l'energia hidràulica és més aviat una reserva energètica. Aleshores, el preu de l'energia global avui dia, vindrà dictat pel preu del gas natural i la hidràulica. A més a més, els generadors d'energia hidràulica gestionen la producció en funció dels seus interessos econòmics quan el preu de l'energia entregada a la xarxa és

més cara [5]. Amb tot això el que podem veure és que darrere del preu final, hi ha molts matisos i una gestió de part del govern qüestionable.

L'altre factor que entra en joc és el preu del gas que últimament s'ha disparat. La dependència energètica de l'estat espanyol respecte l'exterior és molt elevada. Per exemple en el 2017, un 73% de l'energia total consumida va ser importada degut a que la producció nacional és molt baixa. Per consegüent, les importacions són molt importants per garantir la seguretat energètica. Pel que fa al gas natural, a partir de dades importades del PNIEC ("Plan Nacional Integrado de Energía y Clima") de l'any 2020, sabem que el gas importat d'altres països prové de: Algèria (74%), Nigèria, Perú, Qatar i d'altres països.

La principal raó pel qual el gas natural s'ha encarit és degut a les tensions geopolítiques entre l'Algèria i el Marroc, i a la forta demanda mundial aquests últims anys. En la figura següent podem veure més clarament el que està passant actualment:



*Figura 2.10: Tancament del gasoducte Magreb-Europa. [6]*

Durant els primers dies del mes de novembre de l'any passat, un dels principals gasoductes de transport de gas natural va ser tancat pel govern Algerià degut a les fortes tensions polítiques amb el Marroc. Aquest conducte subministrava a tota Europa, i, per consegüent, a l'estat espanyol li va fer falta suplir la demanda a través de vaixells metaners. Per suplir la demanda de 6.000 milions de metres cúbics de gas no subministrats a causa del tancament

del gasoducte, han fet falta 60 metaners. A més, actualment el preu del transport marítim també està més car que mai. Doncs l'única solució per suplir la demanda ha sigut a través d'aquests vaixells, pagant preus excessivament alts que s'han repercutit directament en el preu del MWh del mercat.

Per consegüent, a causa dels preus estratosfèrics dels drets d'emissió de CO<sub>2</sub>, de l'encariment del gas natural i del seu transport marítim, el preu del MWh ha batut rècords aquest últim any. Per tenir una idea, podem veure en el preu final de l'electricitat al llarg d'aquest últim any en gràfic següent:



*Figura 2.11: Preu mitjà diari de l'electricitat del mercat espanyol [7]*

Per poder comparar aquestes dades, cal dir que el preu mitjà de l'electricitat al llarg dels últims quinze anys ha estat al voltant dels 50 a 60 €/MWh

Per tant, aquest augment de preus i la contribució a la descarbonització del planeta, han sigut les motivacions més importants en aquest treball.

### 2.3. Objectius del projecte

Com s'ha mencionat anteriorment, aquest treball es centrarà en estudiar el model energètic per un habitatge rural. L'objectiu del projecte, serà trobar diferents alternatives per transformar un habitatge totalment dependent energèticament en un habitatge totalment independent gràcies a les principals energies renovables disponibles.

A continuació, desglossarem el full de ruta emprat al llarg d'aquest projecte:

- Estudi de les energies renovables d'avui dia i l'augment de preu del MWh
- Estudi de l'habitatge, del clima que l'envolta i de la instal·lació energètica actual
- Estudi de la demanda energètica de l'habitatge i plantejar aquesta demanda en funció del tipus d'habitatge (residència principal o secundària).
- Estudi de les energies renovables utilitzades en aquest projecte
- Dimensionament de la instal·lació renovable en funció de les necessitats de l'habitatge
- Estudi de les subvencions enfocades a l'autoconsum i de les bonificacions fiscals
- Estudi de l'impacte mediambiental de l'habitatge abans i després de la implementació de les alternatives escollides.
- Calcular el pressupost de les alternatives escollides.

Per començar, estudiarem la situació actual de les energies renovables a diferents escales. Això és important per veure fins on han arribat les energies renovables i quines són les tecnologies que més han evolucionat al llarg del temps. I ens permetrà veure quines seran les millors solucions energètiques renovables pel nostre habitatge estudiant en detall l'evolució de les alternatives més utilitzades.

Seguidament, s'analitzarà l'habitatge en qüestió per conèixer les seves oportunitats i les seves necessitats. Mirarem quin clima és el dominant en la zona de l'habitatge i com el podem aprofitar. L'objectiu serà determinar el potencial solar i eòlic, ja que aquests valors seran decisius per triar quina tecnologia serà la més adient pel nostre habitatge.

D'altra banda, un objectiu molt important del projecte serà determinar la demanda energètica de l'habitatge. Aquesta demanda serà crucial per més endavant determinar la quantitat de components (panells solars, aerogeneradors, etc.) necessaris per subministrar l'energia total demandada. Això comportarà desglossar tots els consums d'un habitatge com ara la demanda d'il·luminació, d'aigua calenta sanitària, etc. per finalment calcular el consum final del nostre habitatge. Pel que fa a la demanda de calefacció i refrigeració, s'emprarà una eina informàtica atesa la complexitat dels càlculs. Per tant, caldrà aprendre a utilitzar aquesta eina. La idea serà dimensionar la demanda amb precisió en funció de cada mes de l'any per així determinar en quins mesos obtenim unes demandes superiors o inferiors a la mitjana. En tractar-se d'una residència secundària, però que pròximament es convertirà en una residència principal, s'ha calculat la demanda de l'habitatge en funció de la seva ocupació. Al introduir dos consums diferents en funció de l'ocupació, ens permetrà més endavant proposar diferents instal·lacions renovables en funció del consum de l'habitatge. Per consegüent, un cop estudiades totes les alternatives, escollirem les millors.



Un altre dels objectius del projecte és entendre com funcionen les energies renovables que s'utilitzaran. Per això, estudiarem detalladament les dues energies que més hem fet servir en aquest treball i parlarem també del vector energètic del futur, l'hidrogen. També, analitzarem com implementar aquestes energies en un habitatge rural, introduint diferents fórmules i models de càlcul.

Un cop s'ha decidit quines tecnologies renovables utilitzar, i s'ha calculat la demanda energètica de l'habitatge, es comprovarà si les diferents alternatives són viables econòmicament. També, es compararà les diferents alternatives per veure si és millor un sistema connectat o aïllat de la xarxa. L'objectiu d'aquesta part del treball és saber com implementar les energies renovables en el nostre habitatge, i alhora sigui viable. També, es farà servir una altra eina informàtica, amb el propòsit d'aprendre com funciona i saber-la utilitzar en qualsevol habitatge.

L'estudi econòmic jugarà un important paper al llarg d'aquest treball. Per tant, les subvencions enfocades a l'autoconsum són fonamentals. L'objectiu serà entendre i saber aplicar els diferents ajuts disponibles actualment. També, es realitzarà el pressupost per veure quin serà el cost total de les instal·lacions escollides.

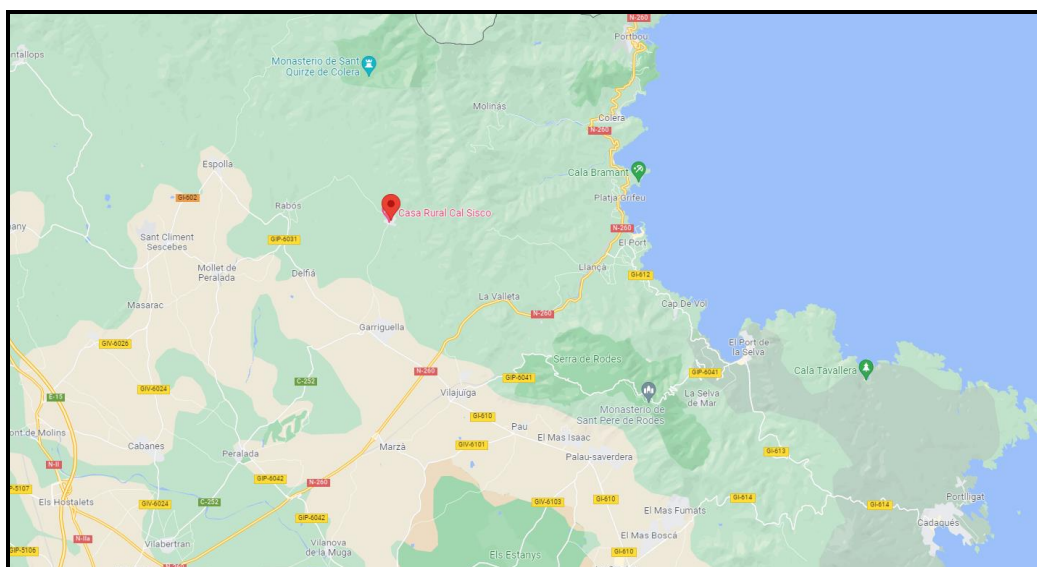
Finalment, un cop escollides les millors alternatives, realitzarem un estudi mediambiental amb l'objectiu de conèixer quin és l'impacte ambiental de l'habitatge amb o sense energies renovables per finalment comparar-los.

### 3. CAS D'ESTUDI

A continuació estudiarem l'habitatge que ha de ser renovat al detall, atès al seu protagonisme en el resultat final d'aquest treball. Com hem dit anteriorment en el prefaci, aquesta casa rural ha estat adquirida a principis d'estiu de l'any 2021. Al ser una casa relativament nova, construïda en el 1996, s'ha pogut consultar gran part del projecte d'obra original, on hi constant els plànols, dades dels materials emprats, fonaments utilitzats, topografia de la zona, etc. En aquest apartat farem servir tots aquests documents per presentar la casa i poder entendre tant la seva distribució com el seu entorn, i les seves necessitats.

#### 3.1. Localització

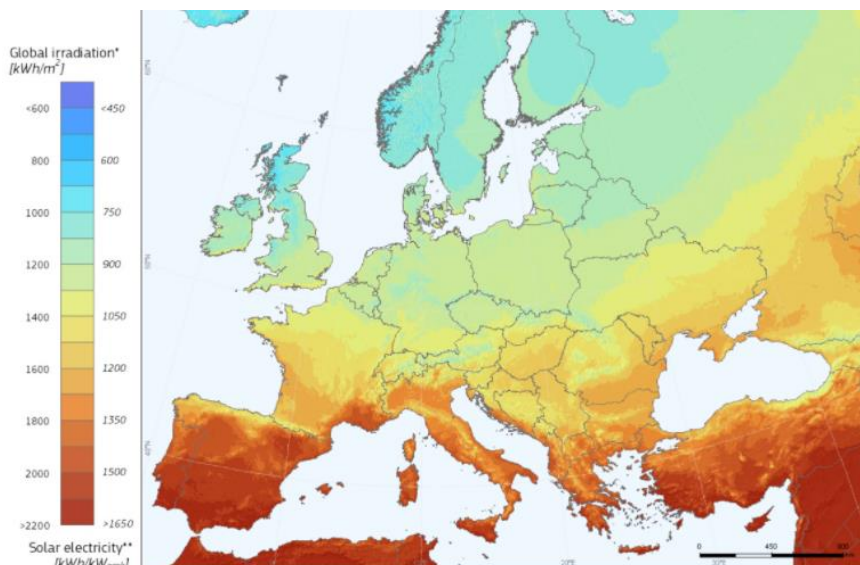
L'habitatge en qüestió es troba en el nord-est de Catalunya, en l'Alt Empordà. Més concretament, està en un poble anomenat Vilamaniscle, que està a uns 20 km de Figueres (Girona).



*Figura 3.1 Localització geogràfica de l'habitatge*

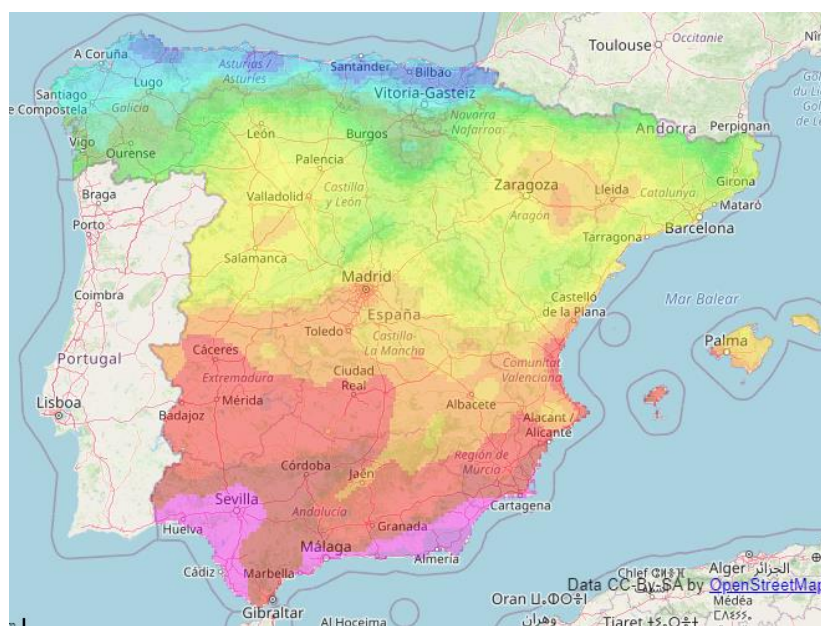
Aquest poble està situat en la muntanya i té una topografia molt irregular amb pujades i baixades molt pronunciades. Com veurem en la imatge següent, la casa està situada a 160 m d'altitud respecte al mar. Però en canvi, l'entrada del poble està a 120 m. És a dir, que si volem caminar des de l'entrada fins a l'habitatge, caminarem menys de 500 m però amb 40 m de desnivell.





*Figura 3.3: Irradiació solar a Europa anual [8].*

Pel que fa la radiació a nivell estatal, Catalunya no està situada ni molt menys en la zona de més radiació del país. Això no obstant, continua essent molt superior a la d'altres països de la Unió Europea. En la següent figura podem veure els diferents nivells de radiacions solars a Espanya segons a la base de dades oberta de Adrase:

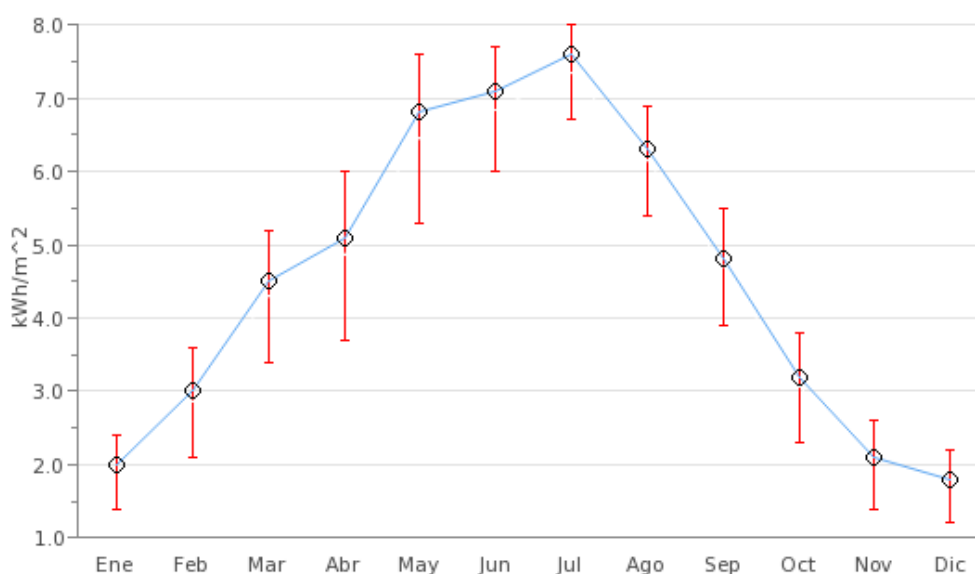


*Figura 3.4: Irradiació solar a Espanya [9].*

Aquesta mateixa base de dades open-free, permet conèixer la irradiació solar que rep qualsevol habitatge en concret dins del territori espanyol amb només introduir-hi les coordenades. Aquest tipus d'eines informàtiques són molt interessants, ja que donen accés

a dades molt útils per a qui vulgui implementar qualsevol mena de tecnologia de millora energètica en el seu habitatge (com ara panells solars, materials constructius que aïllin millor la radiació, etc.). Pel que fa als càlculs realitzats, per donar el resultat final, aquesta base de dades utilitza una infinitat de dades guardades sobre les irradiacions solars d'anys anteriors per finalment fer una mitja i entregar el valor mitjà, alt o baix en funció de les coordenades introduïdes. I fan referència a cada mes de l'any al llarg d'un any sencer.

També existeixen altres eines com ara el PVGIS (*"Photovoltaic geographical Information System"*) pertanyent a la Comissió Europea o el *"POWER Data Acces Viewer"* de la Nasa. No obstant, tots ells donen valors molt semblants. Així doncs, utilitzant les dades de l'Adrase obtenim els següents valors:



*Figura 3.5: Gràfic d'irradiació solar global sobre el pla horitzontal [9].*

Com a argument final a favor de l'energia solar a Catalunya, cal dir que en el nostre territori s'han fet estudis del nombre de dies per any en els quals fa sol i són al voltant de 300, és a dir, un 84% dels dies de l'any. Per contrastar aquest valor, dir que la mitja d'Anglaterra ronda al voltant dels seixanta dies, cinc vegades inferior i amb una irradiació molt menor.

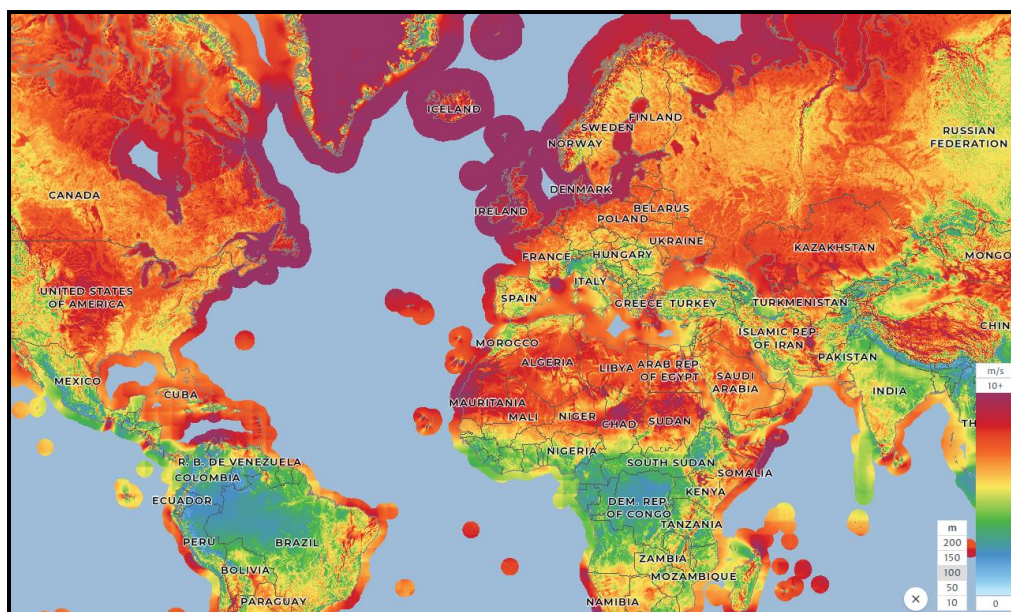
### 3.2.2. Vent

L'energia eòlica és l'energia obtinguda del vent. Es tracta d'un tipus d'energia cinètica produïda per l'efecte dels corrents d'aire, que varien en funció de l'època de l'any. Aquesta energia dependrà de la densitat de l'aire, la humitat i de l'àrea d'escombrada del rotor (hèlix de l'aerogenerador).

Existeixen diverses eines per la determinació de la velocitat mitjana del vent en una zona



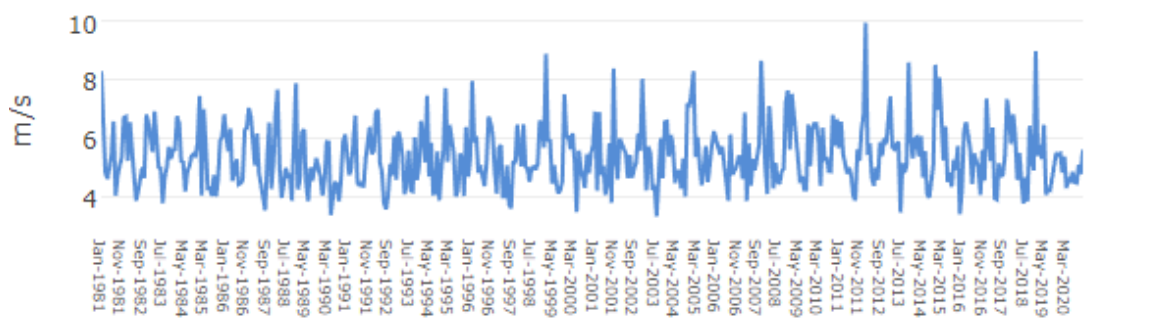
determinada. Una de les més conegudes torna a ser el “POWER Data Acces Viewer” de la Nasa. D'altra banda, disposem d'altres com el “Global wind Atlas” o el CENER (Centre nacional d'energies renovables). Aquestes bases de dades open-free, són consultables en mapes on podem distingir diferents velocitats del vent en funció de les diferents zones del món. També, existeix la possibilitat d'introduir-hi les coordenades exactes de la localització del nostre cas d'estudi per acabar obtenint un conjunt de resultats a través de gràfics i taules.



*Figura 3.6: Atlas amb les diferents velocitats mitjanes del vent [10]*

Pel que fa al càlcul, aquestes eines utilitzen mesures del vent al llarg de la superfície terrestre, des de fa aproximadament quaranta anys fins a l'actualitat. Això els hi permet obtenir un resultat molt acurat i així poder dimensionar correctament la nostra instal·lació eòlica. També hi ha la possibilitat de mesurar la velocitat del vent en funció de diferents altures: 10 m, 50 m, 100 m, 150 m, o 200 m sobre la superfície en la qual es troba el cas d'estudi.

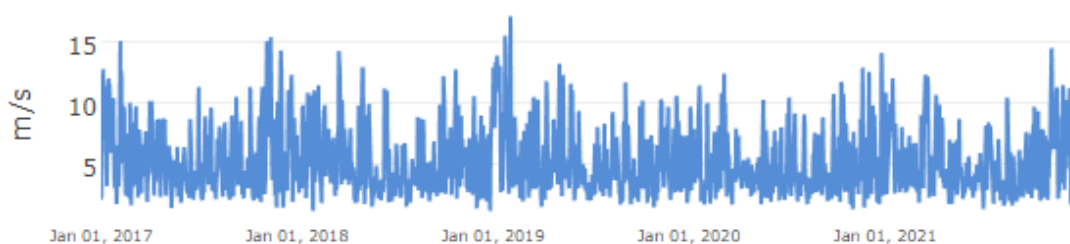
Nosaltres utilitzarem el POWER, perquè els resultats són més fàcilment comprensibles i alhora ens dona la possibilitat d'escollir una alçada de 10 m (algunes eines no accepten valors inferiors als 50 m). Obtenim doncs que:



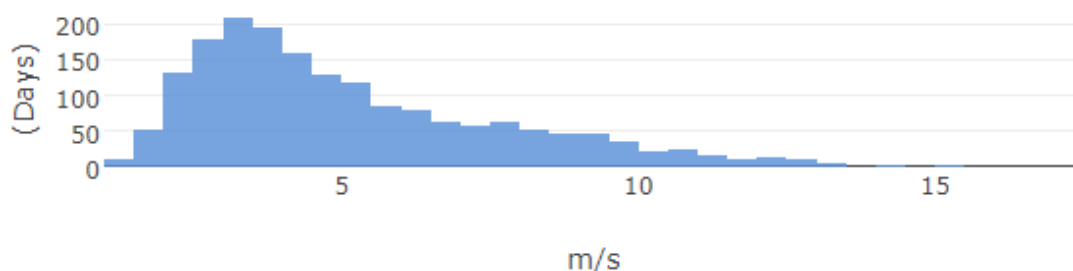
*Figura 3.7: Gràfic de la velocitat del vent a 10 m durant quaranta anys [11].*

En aquesta primera figura podem veure les velocitats del vent mitjanes durant els últims quaranta anys. A simple vista es pot apreciar que la mitjana de vent al nostre habitatge ha estat de 5 m/s. Ara bé, com tenim la possibilitat de descarregar totes les dades en un fitxer CSV, s'ha pogut calcular la mitja de totes les velocitats d'aquests últims quaranta anys. El resultat obtingut ha estat igual a 5,345 m/s de mitjana.

Ara bé, si fem un estudi més precís i només considerem mesures de vent de cinc anys enrere, el programa també ens facilita un histograma on es poden veure les diferents velocitats del vent i la quantitat de dies de l'any que s'han assolit.



*Figura 3.8: Gràfic de la velocitat del vent a 10 m durant els últims cinc anys (2017-2021) [11].*



*Figura 3.9: Histograma de la velocitat del vent a 10 m durant els últims cinc anys (2017-2021) [11].*

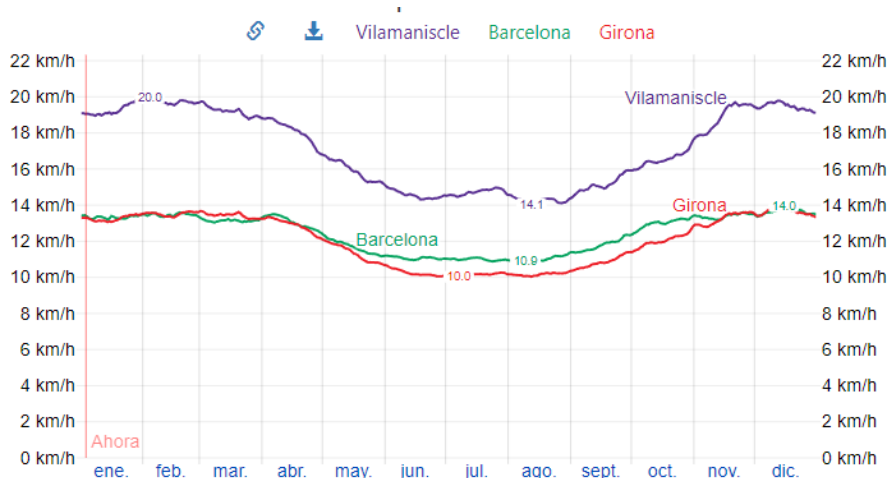
En l'histograma podem veure com les velocitats del vent s'aproximen a la distribució de

probabilitat: la distribució de Weibull. Pel que fa al nostre cas d'estudi, la velocitat del vent més freqüent serà de 3,25 m/s durant aproximadament l'11,5% de dies d'un any (dades indicades en el gràfic simulat).

Una altra qüestió molt important a tenir en compte és el comportament d'una turbina. L'explicació concreta i precisa serà estudiada en apartats posteriors del treball, però ara introduïrem els aspectes necessaris per entendre si les velocitats del vent de la zona són suficients. Tot aerogenerador necessita una velocitat mínima d'arrencada que és aproximadament d'uns 11 km/h, és a dir, uns 3,06 m/s. A més, quan els vents són del voltant de 45 km/h (12,5 m/s), és quan la turbina genera una major quantitat d'energia per unitat de temps. Observem doncs, que el vent de la zona de l'habitatge serà suficient per fer funcionar correctament les turbines instal·lades.

No menys important, cal recordar que l'habitatge es troba en l'Alt Empordà, zona molt coneguda pel vent del nord anomenat Tramuntana. Hi ha hagut ocasions en què aquest vent ha arribat a bufar a més de 150 km/h i és característic a tota Espanya per les seves altes velocitats i la seva intensitat. A més, un dels projectes eòlics més rellevants que s'està plantejant en l'àmbit nacional, està situat en la Badia de Roses, ubicat mar endins [12]. Aquest projecte tindria com a objectiu cobrir el 50% de la demanda elèctrica de la província de Girona, i el 90% amb el parc eòlic en ple funcionament. Tot i això, tenint en compte només la primera fase del projecte d'aproximadament 500 MW (amb intenció d'ampliar-ho més endavant). Així doncs queda clar que l'habitatge està en un lloc privilegiat per treure profit d'aquesta energia eòlica.

Finalment, per tenir un ordre de magnitud de la velocitat del vent de la zona de la casa a renovar, comparat amb altres poblacions properes, utilitzarem una eina molt útil de la web "Weather Spark" on obtindrem els valors següents:



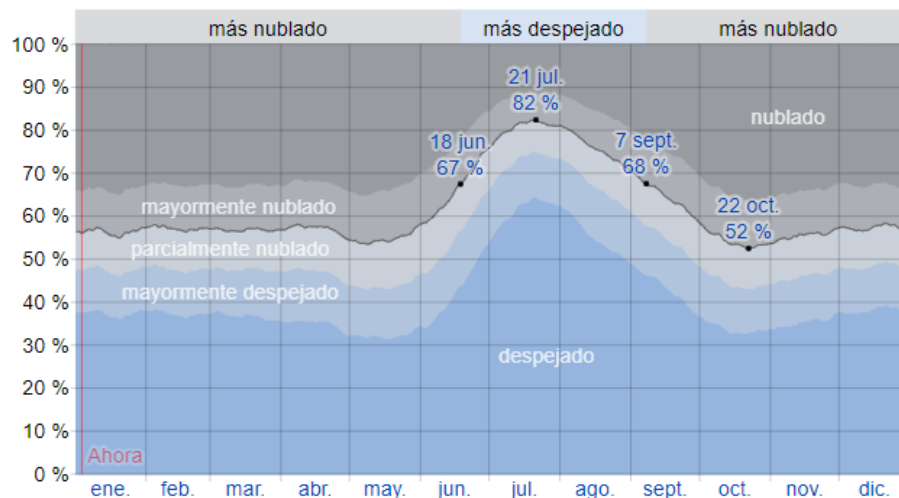
**Figura 3.10: Comparació de les velocitats del vent en diferents localitats a 10 m d'altura [13]**



Cal indicar que aquests resultats han estat calculats fent servir les mitges dels últims deu anys.

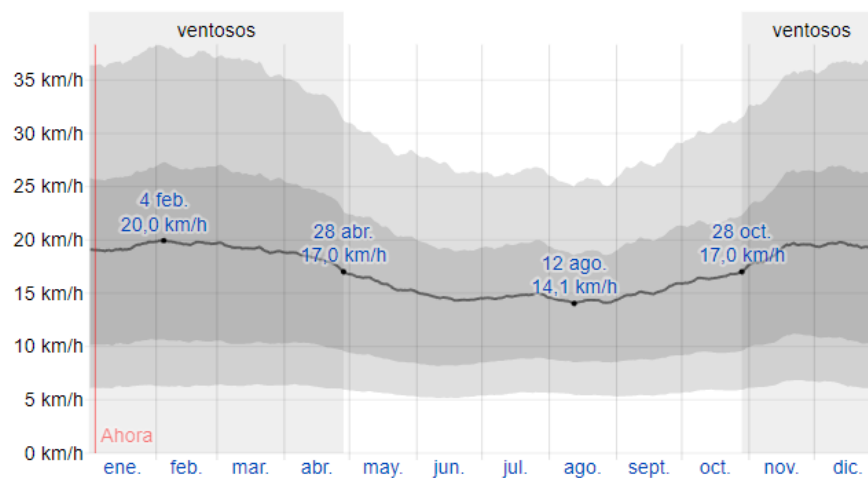
### 3.2.3. Compatibilitat

En aquest últim apartat, estudiarem la variació de sol i vent al llarg de l'any. Ara que ja hem comprovat que podem aprofitar ambdues característiques climàtiques, determinarem si les dues energies (tant solar com eòlica), són compatibles i capaces de subministrar energia de manera "continua". Amb l'eina que hem anunciat anteriorment de la casa "Weather Spark" trobarem el comportament climàtic de Vilamaniscle, poble on està situat el nostre habitatge.



*Figura 3.11: Nuvolositat mitjana de Vilamaniscle per mesos (Font: Weather Spark)*

En poques paraules, podem veure com l'índex de nuvolositat disminueix durant l'estiu. També és important saber, que l'eix d'ordenades representa el percentatge de cel clar.

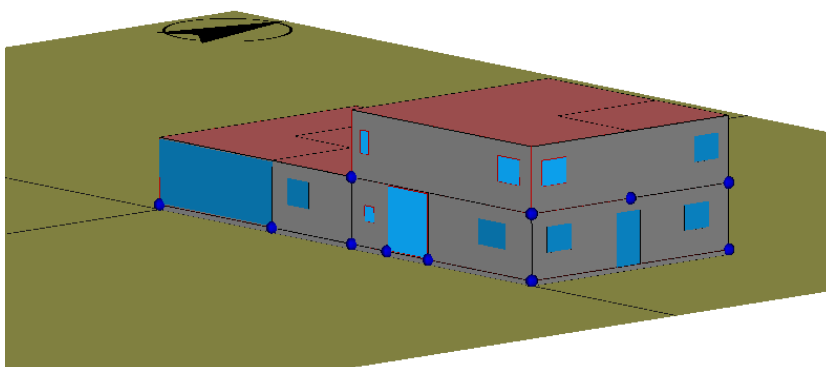


*Figura 3.12: Velocitat mitjana del vent a Vilamaniscle per mesos (Font: Weather Spark)*

Observem, que les corbes obtingudes són contràries. Tenim la sort de tenir vent en els mesos on hi ha menys hores de radiació solar, i viceversa. Aleshores, aquestes dades ens permeten afirmar que, en condicions normals i si el temps no es torna boig, podrem subministrar energia de manera “continua” en l’habitatge, amb energies renovables.

### 3.3. L’habitatge

La superfície total de l’habitatge és de 424,3 m<sup>2</sup>. La casa està distribuïda en dos pisos, i compta amb dos garatges independents. Dins d’aquesta superfície, també hi ha una piscina exterior enganxada a l’habitatge i un annex (petit apartament), enganxat a una de les façanes de la casa. Per entendre la seva estructura, ens ajudarem en la següent simulació gràfica feta amb el programa HULC:



*Figura 3.13: Recreació simplificada de l’habitatge amb l’eina HULC*

En aquesta simulació podem veure l’habitatge sencer, amb l’annex enganxat a la part inferior dreta. Aquest annex, el podem distingir gràcies a la porta que veiem a la dreta del tot, a la primera planta. El resta de l’habitatge correspon al cos de l’habitatge principal. Cal dir que deixarem l’annex fora del nostre estudi, ja que de moment no tenim la intenció d’habitar-lo.

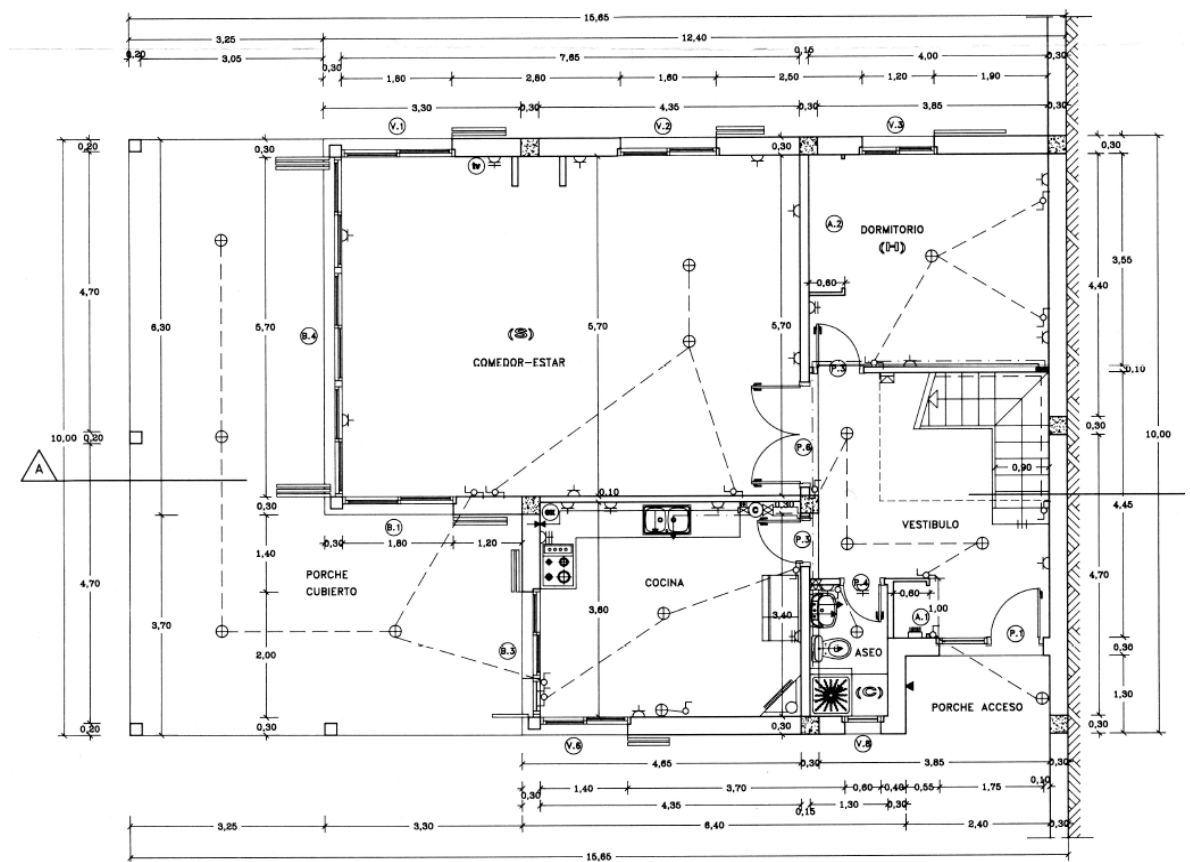
Pel que fa l’orientació de la casa, aquesta està perfectament orientada com els eixos d’una brúixola. És a dir, la façana nord apunta al nord, i les altres a les seves respectives direccions a la perfecció.

D’altra banda, està envoltada d’un terreny d’aproximadament 4000 m<sup>2</sup>, on podrem instal·lar el que necessitem per transformar la casa energèticament.

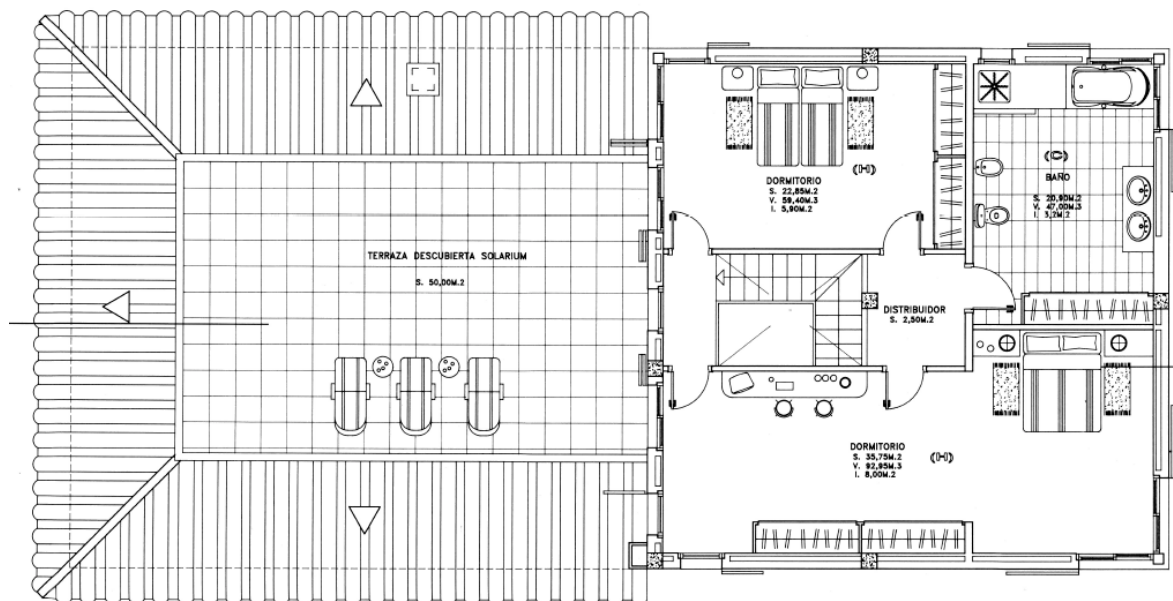
### 3.3.1. Dimensions interiors

Aquest apartat és molt important pel que fa als càlculs de demandes energètiques i dimensionament de l'habitatge.

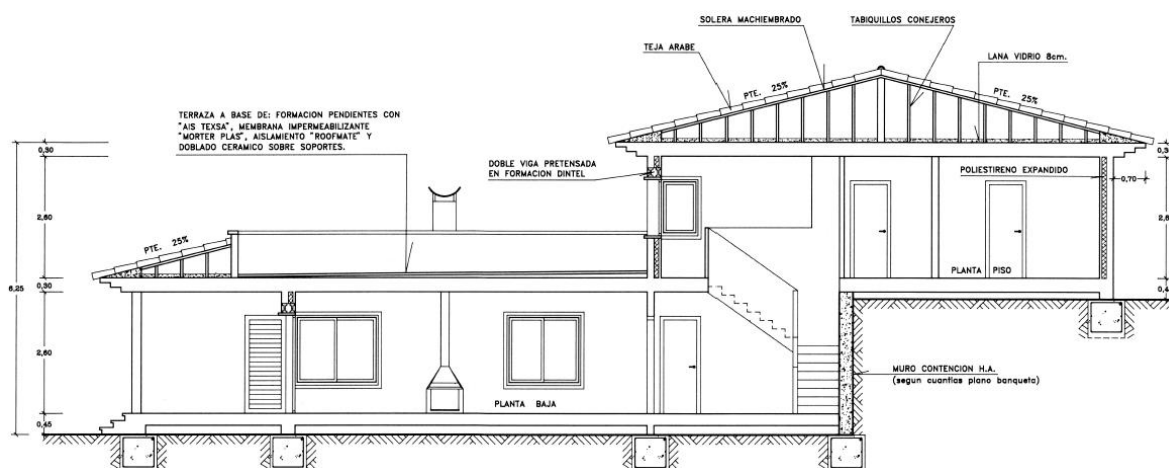
Per dimensionar la casa, ens centrarem només en els espais que estaran climatitzats i dependran del consum energètic. Ens interessarà doncs conèixer els metres quadrats de totes les superfícies de cada recinte, altures de les parets, forjats sanitaris, etc. Per tant farem servir els plànols de la casa per veure la distribució interna i alhora poder realitzar tots els càlculs de manera detallada:



*Figura 3.14: Plànols de la 1<sup>a</sup> planta (Font pròpia).*



*Figura 3.15: Plànols de la 2ª planta (Font pròpia).*



*Figura 3.16: Alçada de les parets de la casa (Font pròpia).*

Per calcular les diferents superfícies, dividirem l'estudi en tres parts. Començarem pel buit sanitari, seguirem pel 1º er pis i acabarem pel 2º pis.

**Buit sanitari:** Pel que fa el buit sanitari, sabem que té una alçada d'aproximadament 0,5 m al llarg de tota la casa.

**Primer pis:** Aquest 1er pis serà el que més càlculs ens costarà. A la taula següent resumirem totes les superfícies en funció del recinte on estiguem:

Primer pis	Menjador	Dormitori	Cuina	Lavabo	Rebedor
Superfície (m <sup>2</sup> )	43,65	14,2	15,65	2,85	12,2

*Taula 3.1: Superfícies del terra del 1<sup>o</sup> pis (Font pròpia)*

$$\text{Superfície total del terra} = 43,65 + 14,2 + 15,65 + 2,85 + 15,65 + 12,2 = 104,2 \text{ m}^2$$

A més a més, haurem de calcular les superfícies de les finestres del primer pis. Aquest càlcul servirà per apartats posteriors i serà de vital importància dimensionar amb precisió cadascuna d'elles. Obtenim els següents resultats:

Primer pis	Menjador	Dormitori	Cuina	Rebedor	Lavabo
Finestra amb fusteria n <sup>o</sup> 1 (m <sup>2</sup> )	1,55 x 1,28	1,15 x 1,3	1,35 x 2,15	1,87 x 2,2	0,57 x 0,66
Finestra amb fusteria n <sup>o</sup> 2 (m <sup>2</sup> )	1,54 x 1,28		1,35 x 0,96		
Finestra amb fusteria n <sup>o</sup> 3 (m <sup>2</sup> )	2,5 x 5,7				
Finestra amb fusteria n <sup>o</sup> 4 (m <sup>2</sup> )	2,5 x 1,9				

*Taula 3.2: Superfícies de les finestres amb fusteria del 1<sup>o</sup> pis (Font pròpia)*

Aquestes dimensions no seran calculades perquè posteriorment, les necessitarem en aquest format per introduir-les en el software utilitzat.

**Segon pis:** Aquest pis és molt més senzill que l'anterior. Les superfícies de les habitacions són:

Segon pis	Dormitori petit	Dormitori gran	Lavabo	Rebedor
Superfície (m <sup>2</sup> )	33,75	22,85	20,9	6,5

*Taula 3.3: Superfícies del terra del 2<sup>o</sup> pis (Font pròpia)*

$$\text{Superfície total del terra} = 33,75 + 22,85 + 20,90 + 6,5 = 84 \text{ m}^2$$

Un altre cop, calcularem les superfícies de totes les finestres amb les seves respectives fusteries. Aquestes dimensions són les següents:

Segon pis	Dormitori petit	Dormitori gran	Lavabo	Rebedor
Finestra amb fusteria n <sup>o</sup> 1 (m <sup>2</sup> )	1,13 x 2,1	1,13 x 2,1	0,6 x 0,85	0,75 x 1,25
Finestra amb fusteria n <sup>o</sup> 2 (m <sup>2</sup> )	1,35 x 1,26	1,25 x 0,75	1,15 x 0,85	
Finestra amb fusteria n <sup>o</sup> 3 (m <sup>2</sup> )	1,25 x 0,75	1,25 x 0,75	1,15 x 0,85	
Finestra amb fusteria n <sup>o</sup> 4 (m <sup>2</sup> )		1,27 x 1,32		
Finestra amb fusteria n <sup>o</sup> 5 (m <sup>2</sup> )		1,27 x 1,32		

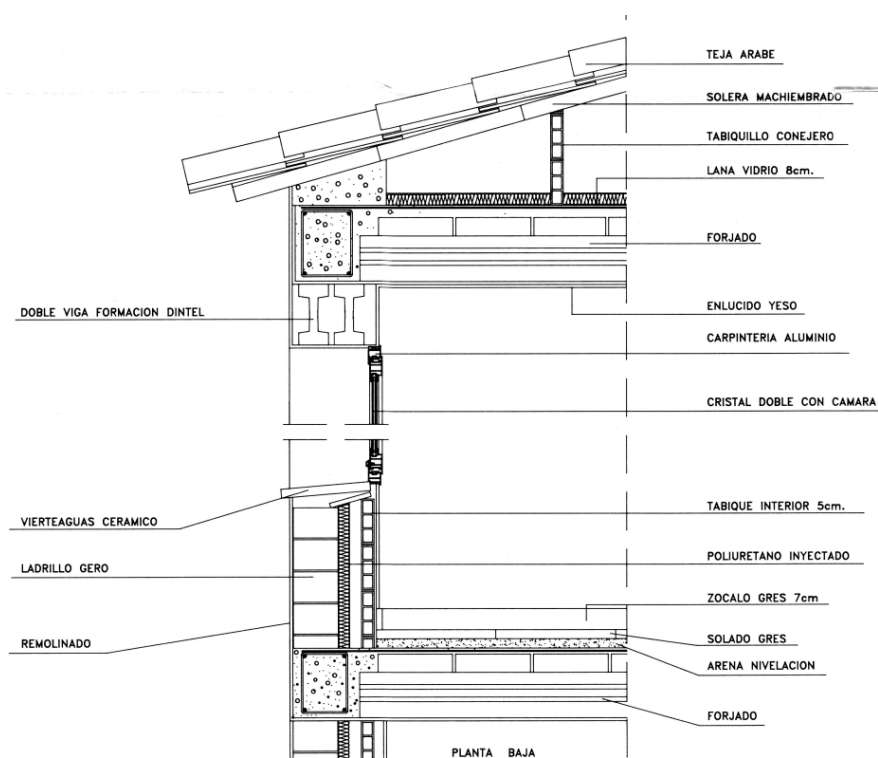
*Taula 3.4: Superfícies de les finestres amb fusteria del 2<sup>o</sup> pis (Font pròpia).*

Obtenim doncs una superfície útil de:

$$\text{Superfície terra útil} = 190,2 \text{ m}^2$$

### 3.3.2. Materials

A continuació, estudiarem els materials que han estat utilitzats per construir l'habitatge. Aquest estudi serà molt important de cara al càlcul de les pèrdues de calor, ja que cada material té unes propietats úniques i és important conèixer-les totes. Per dur a terme aquesta tasca, ens ajudarem del plànol següent, on hi podem veure tots els materials emprats en la construcció.



*Figura 3.17: Esquema de tots els materials emprats (Font pròpia)*

Per començar, la paret exterior està feta de diversos materials aïllants. D'esquerra a dreta, hi trobem maons "Gero", que són maons d'argila que han estat perforats de manera molt peculiar, per ser més aïllants que els maons convencionals. Seguidament, hi trobarem una làmina de poliuretà injectat, material que permet un bon aïllament entre l'exterior i l'interior. Després, tenim una cambra d'aire per finalment trobar-nos amb els envans, que estaran seguits per una fina capa de guix. Pel que fan les bigues en formació "dintel", les estudiarem més endavant, un cop ens endinsem en l'estudi del que s'anomenen "ponts tèrmics" (aleshores no estaran presents en el nostre recompte de materials). I pel que fan les finestres, estan fetes amb un vidre de doble capa amb cambra d'aire interior, envoltats d'una

fusteria d'alumini amb ruptura de pont tèrmic.

Pel que fa al terra, veiem també un seguit de capes de diferents materials. De dalt a baix, veiem que la primera que ens apareix és un enrajolat "gres". Seguidament, tenim sorra que ha sigut utilitzada per anivellar el terra que ha estat posada a sobre d'un forjat .

Per últim, podem veure la constitució del sostre. Per començar, de baix a dalt, tenim una mica de guix per cobrir l'estructura del forjat i seguidament una capa de llana de vidre bastant gruixuda. Finalment, ens trobem amb una gran cambra d'aire per veure les teules del taulat.

Ara bé, tots aquests materials cal que siguin analitzats a fi de conèixer les seves propietats tèrmiques, sobretot de cara al càlcul de les pèrdues de calor. Per això, tot seguit ens dedicarem a estudiar les característiques d'aquests materials.

#### **Pel que fa a les parets externes:**

*Maó Gero: Densitat =  $1600 \frac{kg}{m^3}$  , Conductivitat termica =  $0,76 W/m \cdot ^\circ C$*

*Poliuretà: Densitat =  $35 \frac{kg}{m^3}$  , Conductivitat termica =  $0,023 W/m \cdot ^\circ C$*

*Envà: Densitat =  $1800 \frac{kg}{m^3}$  , Conductivitat termica =  $0,87 W/m \cdot ^\circ C$*

*Guix: Densitat =  $800 \frac{kg}{m^3}$  , Conductivitat termica =  $0,30 W/m \cdot ^\circ C$*

#### **Per les finestres:**

*Vidre convencional : Conductivitat termica =  $5,7 W/m \cdot ^\circ C$*

*Alumini: Densitat =  $2700 \frac{kg}{m^3}$  , Conductivitat termica =  $204 W/m \cdot ^\circ C$*

#### **Pel sostre:**

*Llana de vidre: Densitat =  $35 \frac{kg}{m^3}$  , Conductivitat termica =  $0,034 W/m \cdot ^\circ C$*

*Teula ceràmica: Densitat =  $2300 \frac{kg}{m^3}$  , Conductivitat termica =  $1,3 W/m \cdot ^\circ C$*

*Formigo armat: Densitat =  $2400 \frac{kg}{m^3}$ , Conductivitat termica =  $1,63 W/m \cdot ^\circ C$*

**Pel terra:**

*Sorra: Densitat =  $1500 \frac{kg}{m^3}$ , Conductivitat termica =  $0,58 W/m \cdot ^\circ C$*

*Rajola Ceramica: Densitat =  $2350 \frac{kg}{m^3}$ , Conductivitat termica =  $1,3 W/m \cdot ^\circ C$*

### 3.4. Instal·lació energètica actual

Actualment, l'habitatge funciona amb gas natural i electricitat de la xarxa. De les dues, el gas és la font energètica més utilitzada a l'habitatge, bàsicament perquè el seu preu és més baix que el de l'electricitat, i perquè en el terreny hi ha instal·lat un dipòsit de gas subterrani de 1000 quilos. Aquest gas és subministrat per la companyia Repsol a demanda.

D'altra banda, estem connectats a la xarxa elèctrica a través d'Endesa, empresa nacional d'electricitat S.A. La potència contractada és de 5 kW i el tipus de contracte és de mercat lliure.

Però que significa un contracte estigui en el mercat lliure? Avui dia, a l'estat Espanyol existeixen dos mercats per l'electricitat amb diferències molt significatives. Aquests mercats són el lliure i el regulat [14].

Pel que fa al mercat regulat, o PVPC, és una tarifa amb un preu d'energia que canvia hora a hora i dia adia segons l'oferta i la demanda entre qui produeix energia (la companyia generadora) i qui les venen al consumidor (la comercialitzadora). Normalment, la corba de preus fluctua cap a l'alça en les hores de més consum (hora de dinar i sopar) i cap a la baixa en les hores de baix consum com per exemple durant la nit. Ara bé, el mercat lliure és el més comercialitzat avui dia. El preu el fixa l'empresa comercialitzadora, tal com les tarifes telefòniques (per exemple, en un hipotètic contracte, el minut de trucada costaria sempre 0,10 € el minut). Aleshores, en aquest tipus de contracte no es fa la diferència de preus entre hores punta i hores vall.

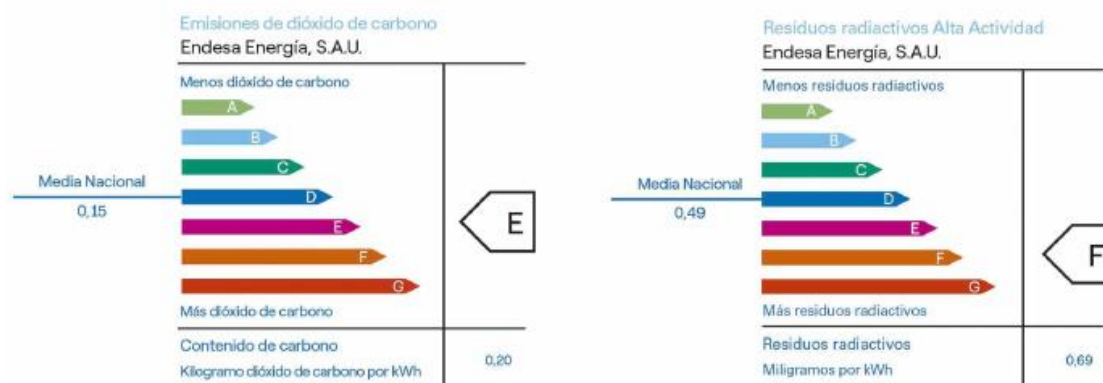
A partir d'una de les últimes factures d'electricitat rebudes de l'habitatge (totalment desocupat fins ara pel fet que encara no han estat acabades les obres de rehabilitació), s'ha pogut descobrir l'origen de l'electricitat subministrada i el seu impacte ambiental.



Origen	Mezcla Endesa Energía, S.A.U.	Mezcla de Producción sistema eléctrico español
Renovable	23,9%	43,6%
Cogeneración de Alta Eficiencia	2,5%	3,7%
Cogeneración	10,2%	7,3%
CC Gas Natural	25,0%	17,9%
Carbón	2,9%	2,0%
Fuel/Gas	2,4%	1,7%
Nuclear	31,7%	22,8%
Otras	1,4%	1,0%

*Figura 3.18: Origen de l'electricitat de la xarxa (font pròpia)*

En aquesta figura veiem com les energies renovables emprades actualment són molt escasses. Un 23,9% del total no és suficient avui dia, sabent quines seran les conseqüències del canvi climàtic a curt termini si no actuem immediatament.



*Figura 3.19: Impacte ambiental de l'energia subministrada a l'habitatge (Font pròpia)*

Per complementar la figura 3.19 on es mostra l'impacte ambiental de la xarxa, s'ha trobat que el gas natural, emet 0,182 kg de CO<sub>2</sub> per kWh consumit. Aleshores, veiem com actualment un habitatge unifamiliar alimentat amb gas i electricitat de la xarxa, és molt poc sostenible. Per exemple, considerant que consumim uns 10 MWh per any, i el valor mitjà de kgCO<sub>2</sub>/kWh és de 0,19 (consum igual al 50% de gas i 50% d'electricitat) estarem emetent 1,9 tones de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera per any, dada del tot inadmissible amb l'escalfament global que estem patint.

A la vista de les anteriors dades, serà molt important de cara al canvi climàtic dimensionar una instal·lació energètica per ús domèstic basada en energies renovables, i, per tant, independent d'energies contaminants pel medi ambient.

## 4. DEMANDA ENERGÈTICA

Per satisfer el confort dels habitants de la casa, en aquest punt del treball esbrinarem el consum energètic de l'habitatge. Com ja hem dit anteriorment, aquest habitatge ha estat comprat recentment, durant l'estiu del 2021. Per aquesta raó, disposem de poques factures de consum elèctric que puguin ajudar-nos a fer una mitja de les demandes energètiques de la casa.

Un cop dimensionada la demanda, veurem tres models energètics diferents en funció de les necessitats de la casa i de la seva ocupació.

### 4.1. Consum d'un habitatge aïllat

Començarem per explicar el consum d'energia necessari per satisfer les necessitats de l'habitatge en general. Després, el consum es desglossarà en funció del seu origen: electrodomèstics, aigua calenta, etc. També, mirarem d'esbrinar quina part de la casa consumeix més o menys energia, i més endavant, estudiarem com procedir a l'hora de calcular les necessitats de l'habitatge d'estudi.

#### 4.1.1. Energia i potència

A l'hora de fer l'estudi energètic, haurem de tenir molt clar la diferència entre aquests dos conceptes: energia i potència. Conceptes que seran claus per definir el consum de la casa i, les necessitats energètiques a partir d'energies renovables.

**Potència elèctrica:** És la magnitud física que relaciona l'energia consumida en una unitat de temps. També es defineix com la velocitat en la qual es fa un treball. La seva unitat són els Watts (W).

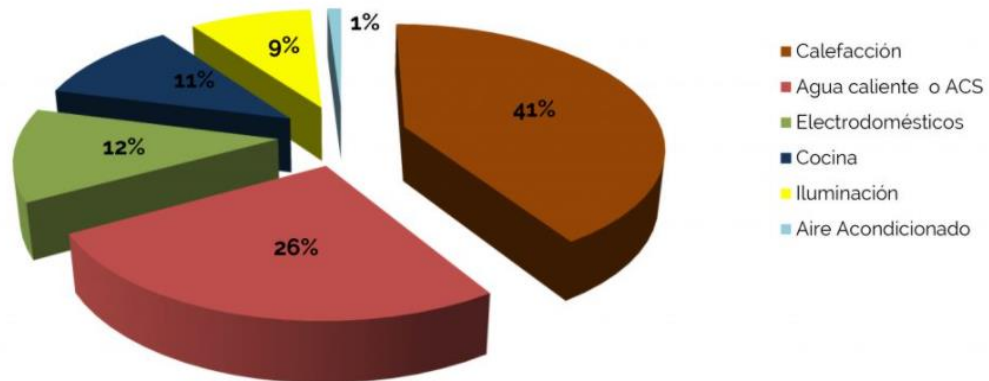
El concepte de potència elèctrica, en la pràctica, és la quantitat màxima d'energia de la qual un aparell elèctric pot disposar en un moment determinat.

**Energia elèctrica:** És la diferència de potencial entre dos punts, que permet establir un corrent entre ambdós, gràcies a un conductor elèctric. La seva unitat són els Watts hora (Wh).

Quan estan funcionant els aparells electrònics, generen un consum d'energia elèctrica en funció de la potència que tinguin i del temps que estiguin en funcionament. Per això la unitat és Wh, ja que per calcular l'energia consumida, multiplicarem la potència de l'aparell pel temps.

#### 4.1.2. Necessitats d'un habitatge

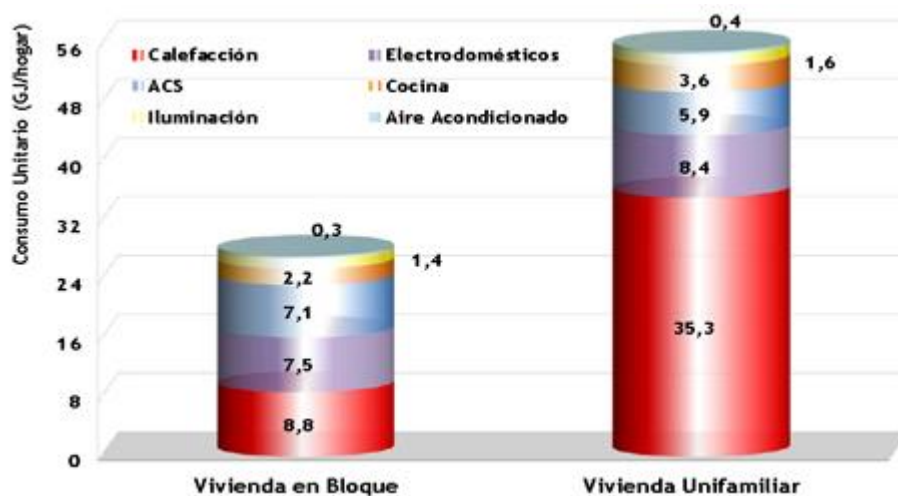
Per tenir una idea aproximada del consum d'una casa, primer ens basarem en la informació trobada en diferents registres estadístics.



*Figura 4.1 Consum mitjà d'energia en una casa unifamiliar [15].*

En aquest gràfic 4.1, podem veure on es consumeix l'energia proporcionada a un habitatge: en calefacció, ACS, en el conjunt d'electrodomèstics, aire condicionat i il·luminació. Per altra banda, en aquest diagrama no es veu reflectida l'energia consumida per la bomba de la piscina, que també haurem de considerar en els nostres càlculs. Per últim cal dir que aquests percentatges representen la mitja dels consums del conjunt d'habitatges de l'estat Espanyol. En conseqüència, al estar en la zona més al nord-est del país, molt probablement alguns consums variïn.

D'altra banda, també cal tenir en compte que el consum d'un habitatge aïllat representa el doble comparat al consum d'un pis dins d'un bloc de pisos.



*Figura 4.2 Consums energètics segons el tipus d'habitatge [16]*

El fet que un habitatge unifamiliar consumeixi quasi el doble que un habitatge d'un bloc de pisos ens reafirma la necessitat d'aconseguir una solució mediambiental per haver de contribuir al canvi climàtic.

Per les necessitats energètiques dels electrodomèstics, de la caldera, i de la il·luminació no tindrem grans problemes, ja que disposem dels valors aproximats dels consums de cadascun d'ells. Però pel que fa la calefacció, caldrà a calcular les necessitats mitjançant les pèrdues de calor a través de parets, sostres de la casa... el que ens suposarà una dificultat extra.

A continuació, procedirem a calcular les demandes energètiques de l'habitatge pas a pas, per després dimensionar un sistema energètic totalment renovable capaç de proveir la demanda total.

## 4.2. Demanda dels electrodomèstics

Pel que fa al consum dels electrodomèstics el càlcul serà relativament senzill. Primer de tot construirem una llista dels més utilitzats amb les seves respectives potències i hi sumarem un 10% del total per tenir en compte altres estris de baix consum com ara la càrrega d'aparells electrònics o diversos utensilis utilitzats en moments puntuals com per exemple una batedora o el que fos.

Electrodomestics	Pot. Instalada KW	Cos(fi) kWi / kWc	Pot. Consumida kW	Hores func. Dia h	Energia cons. Dia kWh / dia
Nevera	0,15	0,9	0,14	12	1,62
Congelador	0,20	0,9	0,18	8	1,44
Forn	1,50	0,9	1,35	0,25	0,34
Vitrocèramica	1,50	0,9	1,35	1,5	2,03
Rentadora	1,80	0,9	1,62	0,5	0,81
Televisió	0,15	0,9	0,14	5	0,68
Renta plats	0,75	0,9	0,68	1	0,68
Altres (10% electrodomestics)	0,61	0,9	0,54	4	2,18
TOTAL					9,76

*Taula 4.1 Consum diari dels electrodomèstics quan la casa està ocupada (Font pròpia).*

Pel que fa al càlcul, hem considerat un coeficient  $\cos(fi)$  indicant el quocient entre la potència aprofitada per l'aparell (induïda) i convertida en potència útil (consumida). I per calcular l'energia simplement s'ha multiplicat la potència pel temps de funcionament. Ens dona doncs un consum de 9,76 kWh/dia en el cas que per una durada d'un dia, estiguem fent ús de l'habitatge.

D'altra banda, hem de tenir sempre en compte que l'habitatge és utilitzat com a segona residència i és per això que també haurem de considerar el consum d'aquests

electrodomèstics quan la casa està desocupada. Aquest consum s'anomena consum fantasma (o passiu) i és el que es genera quan no fem ús d'aquests aparells (televisió apagada, ordinador en mode repòs...). Per consegüent, crearem una taula definint el consum diari quan la casa no està ocupada.

Electrodomestic StandBy	Pot. Instalada kW	Cos(fi) kWi / kWc	Pot. Consumida kW	hores func. Dia h	Energia cons. Dia kWh / dia
Nevera	0,15	0,9	0,14	6	0,81
Congelador	0,20	0,9	0,18	4	0,72
Forn	0,15	0,9	0,14	0,25	0,03
Vitrocèramica	0,15	0,9	0,14	1,5	0,20
Rentadora	0,18	0,9	0,16	0,5	0,08
Televisió	0,02	0,9	0,01	5	0,07
Renta plats	0,08	0,9	0,07	1	0,07
Altres (10% electrodomestic)	0,09	0,9	0,08	4	0,33
TOTAL					2,31

*Taula 4.2 Consum diari dels electrodomèstics quan la casa no està ocupada (Font pròpia).*

Per calcular el consum passiu hem considerat que aquest suposa el 10% de la potència comparat amb quant està encès. Pel que fan les hores de funcionament, s'han deixat les mateixes perquè en tots els documents trobats que indiquen com calcular el consum passiu, ho fan a partir d'un percentatge de la potència de l'electrodomèstic i no de les hores de funcionament. Per tant, les hores de funcionament per dia no seran rellevants en aquesta taula. També hem de tenir en compte que la nevera i el congelador hauran d'estar sempre en funcionament. Però com no els obrim tan sovint, reduïrem les hores de funcionament

Aleshores el consum passiu suposarà un consum de 2,31 kWh/dia quan la casa estigui desocupada.

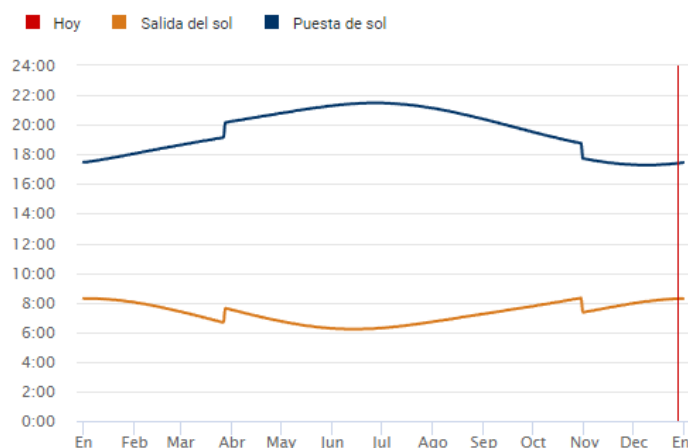
### 4.3. Demanda d'il·luminació

Per dimensionar el consum d'il·luminació necessari, haurem de fer una simulació, ja que tot l'enllumenat serà canviat per LED's de baix consum en els pròxims mesos. Tenint en compte que un llum LED convencional d'entre 800 i 1100 lúmens té una potència d'entre 10 i 15 W, aproximarem la demanda en funció dels espais de la casa [17]. Suposarem que per no malgastar energia només encendrem el llum de com a màxim 3 habitacions com ara el menjador, la cuina i un quarto de bany o dormitori i també les del rebedor situat al centre de l'habitatge. Això suposarà un total aproximadament de 25 bombetes que multiplicades pel consum màxim d'aquestes és igual a 400 W.

D'altra banda, cal fer un breu incís pel que fa al canvi d'enllumenat de la casa. Fins ara la casa només estava il·luminada amb llums incandescents. El problema d'aquests últims és

que normalment al voltant del 85% de la seva energia útil és transformada en calor i, per tant, és desaprofitada, ja que és cedida a l'espai sense donar la llum que volem. En canvi, les LEDS solen consumir entre un 50% i 80% menys, ja que aquestes no emeten calor al ser engegades. I al ser una casa gran, és un consum que al reduir-lo, es notarà en la factura i en la demanda final.

També, hem de comprovar les hores necessàries de funcionament d'aquestes bombetes. Per fer possible aquesta aproximació per cada mes, emprarem el següent gràfic calculat per "meteogram.es":



***Figura 4.3 Horaris de la sortida i posta de sol del 2021 a Girona [18]***

A partir d'aquest gràfic i de la taula d'Excel adjunta (consultable en l'annex, taula A.1), s'han pogut extreure la mitjana del conjunt d'hores de postes de sol de cada mes.

I no menys important, ens farà falta aproximar l'hora en què s'apaguen tots els llums. Aquesta serà a les 12 de la nit durant totes les èpoques de l'any menys a l'estiu, on se suposarà que continuaran engegades 1 h més, fins a les 1 de la matinada.

Aleshores amb les hores de les postes de sol de cada mes i les hores d'apagada dels llums, s'ha pogut confeccionar la taula d'Excel següent:

Il·luminació	Pot. Instal·lada kW	Cos(fi) kWi / kWc	Pot. Consumida kW	hora posta de sol h	hora limit h	hores func. Dia h	Energia cons kWh / dia
Gener	0,4	0,9	0,36	17:40	0:00	6,33	2,279
Febrer	0,4	0,9	0,36	18:20	0:00	5,66	2,038
Març	0,4	0,9	0,36	18:55	0:00	5,08	1,829
Abril	0,4	0,9	0,36	20:30	0:00	3,50	1,260
Maig	0,4	0,9	0,36	21:00	0:00	3,00	1,080
Juny	0,4	0,9	0,36	21:25	1:00	3,58	1,289
Juliol	0,4	0,9	0,36	21:22	1:00	3,63	1,307
Agost	0,4	0,9	0,36	20:50	1:00	4,17	1,501
Setembre	0,4	0,9	0,36	20:00	1:00	5,00	1,800
Octubre	0,4	0,9	0,36	19:10	0:00	4,83	1,739
Novembre	0,4	0,9	0,36	17:30	0:00	6,50	2,340
Desembre	0,4	0,9	0,36	17:18	0:00	6,70	2,412

Taula 4.3 Consum de l'enllumenat (Font pròpia).

Podem veure que el consum per dia generat per l'encesa de llums serà d'entre 2,4 kWh/dia i 1,1 kWh/dia.

En aquest cas no existeix consum passiu, ja que si considerem estar fora de la casa, les bombetes no consumiran cap energia.

#### 4.4. Demanda de la bomba hidràulica

En el nostre habitatge, es disposa d'una bomba hidràulica per fer circular i filtrar l'aigua de la piscina. Normalment, aquests components consumeixen una gran quantitat d'energia i suposen una despesa elevada al llarg de l'estiu.

La bomba en qüestió és una bomba de la marca "HAYWARD" d'1,5 CV de potència (totes les dades referents a aquesta bomba es trobaran en l'annex a la taula A.2). Al ser una bomba convencional, només té un punt de treball a velocitat constant. Aleshores, fent la conversió de CV a kW, obtenim que la potència de la bomba és d'1,1 kW. També, sabem que aquesta bomba és capaç d'impulsar a una pressió de 8 m columna d'aigua un cabal de 15,5 m<sup>3</sup> d'aigua per hora.

Segons a diferents fòrums d'informació sobre el manteniment de piscines, es sap que és necessari que en un dia tota l'aigua de la piscina passi pel filtre [19]. La piscina té un volum de 70 m<sup>3</sup>, per tant la bomba tardarà 4 h i mitja en depurar tota l'aigua.

També cal remarcar que la piscina només funcionarà en ple estiu i durant la resta de l'any serà coberta per una lona especial i per tant la bomba no es farà servir.

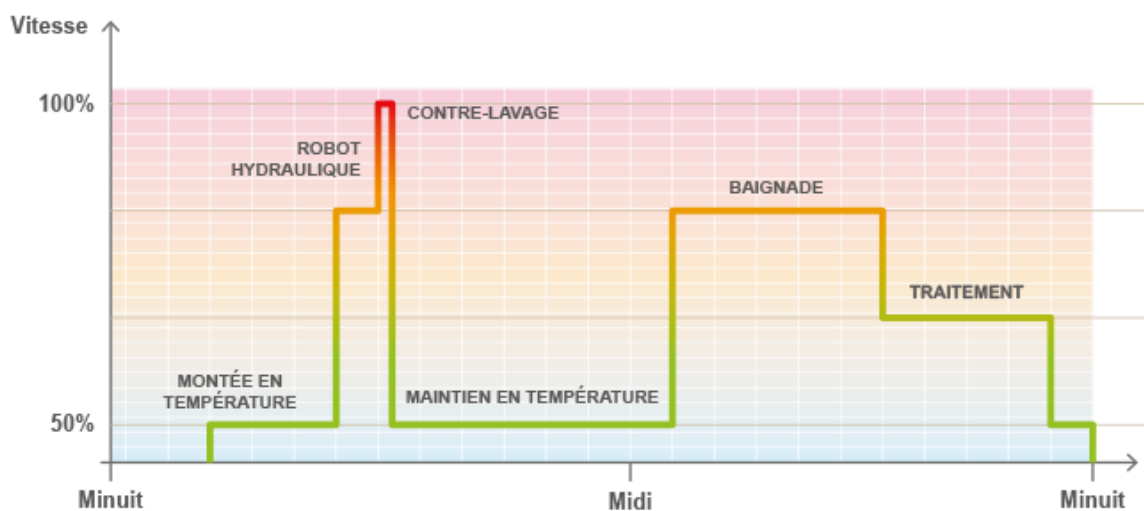
De cara al càlcul, sabem quines són les potències instal·lada i consumida i amb les hores de funcionament, obtenim l'energia consumida.

Bomba piscina	Nº dies / mes	Pot. Instalada kW	Cos(fi) kW <sub>i</sub> / kW <sub>c</sub>	Pot. Consumida kW	Hores func. Dia h	Energia cons. Dia kWh / dia	Energia cons. Mes kWh / mes
Gener	31	1,24	0,89	1,10	0	0	0
Febrer	28	1,24	0,89	1,10	0	0	0
Març	31	1,24	0,89	1,10	0	0	0
Abril	30	1,24	0,89	1,10	0	0	0
Maig	31	1,24	0,89	1,10	0	0	0
Juny	30	1,24	0,89	1,10	0	0	0
Juliol	31	1,24	0,89	1,10	4,5	4,95	153,45
Agost	31	1,24	0,89	1,10	4,5	4,95	153,45
Septembre	30	1,24	0,89	1,10	4,5	4,95	148,5
Octubre	31	1,24	0,89	1,10	0	0	0
Novembre	30	1,24	0,89	1,10	0	0	0
Desembre	31	1,24	0,89	1,10	0	0	0

*Taula 4.4 Consum de la bomba hidràulica (Font pròpia).*

### 4.4.1. Alternativa

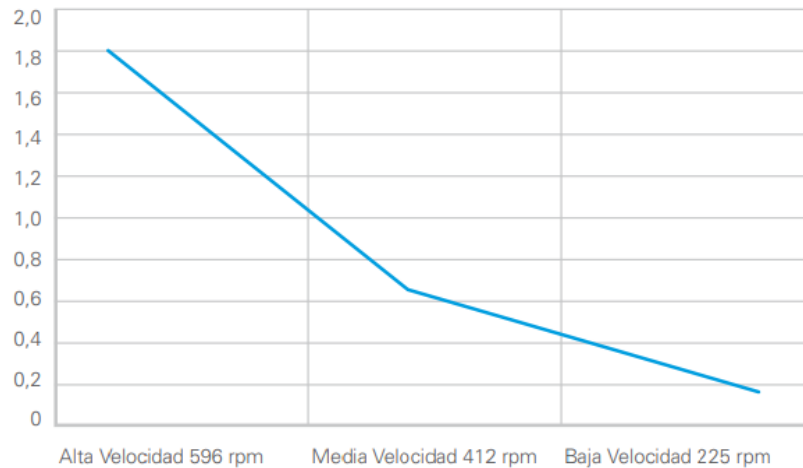
Una possible millora per reduir el consum d'aquesta bomba (que és molt elevat) implicaria fer una inversió en una bomba de velocitat variable. Aquestes poden variar la seva velocitat en funció de les necessitats de la piscina i arriben a consumir entre un 60% a 80% menys que la bomba que hi ha ara instal·lada.



*Figura 4.4 Variacions de velocitats d'una bomba de velocitat variable [20].*

Amb aquestes dues figures 4.4 i 4.5, veiem com el fet de reduir la velocitat fa que el consum de la bomba baixi en picat i sigui més avantatjós comparat amb una bomba convencional. A més, avui dia el cost d'una d'aquestes bombes ja no és tan elevat com fa uns anys, fent-les més rendibles a curt termini.





*Figura 4.5 Gràfica del consum d'una bomba de velocitat variable [21].*

Cal dir, que l'eix d'ordenades d'aquesta figura 4.5 ha estat expressat en kWh.

## 4.5. Demanda d'ACS

Pel càlcul de la demanda d'ACS, farà falta distingir diferents tipus de consums en funció de les persones que ocupen l'habitatge, la temperatura de l'aigua d'entrada, els consums passius en funció de l'ocupació de la casa, etc. Gran part d'aquestes dades es troben en les taules de valors de la CTE – HE que provenen de “La Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo del Ministerio de Fomento” [24].

Aquest document serà de relativa importància, ja que tabula els valors de referència a tenir en compte a l'hora de dimensionar la demanda energètica d'ACS i calefacció/refrigeració d'un habitatge. Més endavant especificarem amb detall el funcionament d'aquesta normativa, ja que utilitzarem un software creat específicament per dimensionar la demanda de calor i fred.

També cal recordar que com hem vist anteriorment, a la casa ja hi existeix una caldera, però aquesta funciona amb gas natural. Per aquesta raó, dimensionarem la demanda necessària considerant que es comprarà una caldera elèctrica per poder respondre a la qüestió d'aquest treball: trobar una solució energètica per no contribuir al canvi climàtic.

Per començar necessitarem saber el nombre de litres d'aigua per persona i per dia consumides. Aquest valor el trobarem en la següent taula:

Tabla 3.1. Demanda de referencia a 60°C (1)

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama

Figura 4.6: Demanda d'ACS per dia a 60°C [22].

Veiem que el consum diari de la casa serà d'uns 90 litres per dia, degut a que només hi viuen tres persones. Podríem considerar, que a l'hora de dimensionar el consum d'ACS seria millor afegir-hi una persona de més per si un cas. Ara bé, perquè els càlculs s'aproximin a la realitat, s'ha decidit emprar un nombre de 3 persones perquè normalment, l'habitatge és utilitzat només per dues persones: els meus pares i sols, puntualment, per mi. D'altra banda, necessitem saber com calcular l'energia consumida per la caldera en kWh per un determinat període de temps [23]. Aquesta vindrà dictada per la fórmula:

$$E = m \cdot c_e \cdot (T_{ACS} - T_{AF}) \quad (4.1)$$

On:

$m$  = massa de l'aigua calenta  $\approx$  caudal de demanda

$c_e$  = calor específic de l'aigua  $\approx \frac{4,186 \text{ kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

$T_{ACS}$  = Temperatura mitja del servei d'aigua calenta

$T_{AF}$  = Temperatura mitja de l'aigua provenint de la xarxa

Cal dir que la massa d'aigua calenta s'aproximarà al cabal de demanda perquè considerarem que la densitat de l'aigua calenta és d'1 kg per litre. A més, farà falta convertir els valors de kJ a kWh i per això haurem de dividir el valor final per 3,6. (1 Wh=3,6 kJ)

També, haurem d'esbrinar la temperatura de l'aigua en funció del mes de l'any. Aquests valors tornaran a ser donats per taules de la CTE – HE:

Capital de província	Altitud	EN	FE	MA	AB	MY	JN	JL	AG	SE	OC	NO	DI
A Coruña	26	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
Albacete	686	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
Alicante/Alacant	8	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
Almería	16	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
Àvila	1131	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Badajoz	186	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
Barcelona	12	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10
Bilbao/Bilbo	6	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10
Burgos	929	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6
Cáceres	459	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9
Cádiz	14	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
Castellón/Castelló	27	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11
Ceuta	40	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12
Ciudad Real	628	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7
Córdoba	106	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
Cuenca	999	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Girona	70	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9

*Figura 4.7 Temperatura diària mitjana mensual d'aigua freda (xarxa) [24]*

Per no ocupar espai de més, podem trobar les taules A.3 i A.4 emprades pel càlcul de l'energia d'escalfament resumides en l'annex del treball.

Un cop obtingudes aquestes dades, sols manca dimensionar la demanda en hores mortes, és a dir, hores on la caldera no haurà d'escalfar l'aigua des de zero sinó només mantenir-la a 60 °C. Per aconseguir aquests valors s'ha buscat una caldera de referència. Concretament, utilitzarem una caldera de la casa Thermor de 100 litres que com podem veure, és d'una capacitat superior als 90 litres necessaris per si en algun moment la demanda fos més elevada. Aleshores, fent servir la seva fitxa tècnica, veurem que el consum estàtic de l'aparell serà d'uns 1,5 kWh/dia i que el temps mitjà en escalfar els 100 litres d'aigua serà d'aproximadament quatre hores.

Amb totes les dades anteriorment vistes, prepararem diferents taules d'Excel en funció de l'ocupació de l'habitatge. En el cas que la casa fos ocupada durant tot l'any, el consum per mes seria de:

ACS	Nº dies / mes	Energia escalfament (kWh/mes)	Consum passiu /dia (kWh/dia)	Consum passiu /mes	Energia total (kWh/mes)
Gener	31	168,61	1,25	38,75	207,36
Febrer	28	149,37	1,25	35,00	184,37
Març	31	162,13	1,25	38,75	200,88
Abril	30	153,76	1,25	37,50	191,26
Maig	31	149,16	1,25	38,75	187,91
Juny	30	138,07	1,25	37,50	175,57
Juliol	31	132,94	1,25	38,75	171,69
Agost	31	136,19	1,25	38,75	174,94
Septembre	30	134,93	1,25	37,50	172,43
Octubre	31	149,16	1,25	38,75	187,91
Novembre	30	156,90	1,25	37,50	194,40
Desembre	31	165,37	1,25	38,75	204,12

*Taula 4.5 Consum d'ACS quan la casa està ocupada (Font pròpia).*

Cal especificar que el consum passiu correspon a 1,25 i no 1,5 perquè considerem que només ha de mantenir l'aigua a 60 °C durant 20 h al dia degut que les 4 hores restants, com hem dit anteriorment, seran dedicades a l'escalfament de la nova aigua sanitària. Aleshores calcularem el consum total sumant l'energia necessària per a l'escalfament més el consum passiu mensual.

D'altra banda, com hem dit anteriorment, caldrà també dimensionar la demanda en funció dels caps de setmana i dies festius. Ara bé, aquí sí que considerarem un consum passiu d'1,5 kWh/dia degut a que hi haurà èpoques on la caldera només tindrà la feina de mantenir-se a 60 °C. També suposarem, que la caldera sempre tindrà aigua calenta disponible i no serà desendollada els dies lectius per diferents motius, però especialment per assegurar que els seus habitants sempre puguin disposar d'aigua calenta sigui quan sigui, sense haver d'esperar-se 4 h a què s'escalfi el conjunt. I a més, sabent que el consum passiu serà subministrat 100% per energies renovables quan la casa estigui desocupada, no ens suposarà cap cost deixar la caldera engegada. Aquests càlculs seran reflectits en la següent taula:

ACS	Nº dies / mes	Energia escalfament (kWh/mes)	Consum passiu /dia útil (kWh/dia)	Consum passiu /dia (kWh/dia)	Consum passiu /mes	Energia total kWh/mes
Gener	8	43,51	1,25	1,5	44,5	88,01
Febrer	8	42,68	1,25	1,5	40	82,68
Març	10	52,30	1,25	1,5	44	96,30
Abril	8	41,00	1,25	1,5	43	84,00
Maig	8	38,49	1,25	1,5	44,5	82,99
Juny	10	46,02	1,25	1,5	42,5	88,52
Juliol	8	34,31	1,25	1,5	44,5	78,81
Agost	31	136,19	1,25	1,5	38,75	174,94
Septembre	9	40,48	1,25	1,5	42,75	83,23
Octubre	8	38,49	1,25	1,5	44,5	82,99
Novembre	9	47,07	1,25	1,5	42,75	89,82
Desembre	9	48,01	1,25	1,5	44,25	92,26

*Taula 4.6 Consum d'ACS quan la casa està ocupada els caps de setmana i festius (Font pròpia).*

Per obtenir el consum passiu mensual, simplement s'ha multiplicat el consum passiu elevat (1,5 kWh/dia) pel nombre de dies que la casa no està ocupada més el consum passiu baix dels dies on la casa sí que està ocupada. Com era d'esperar, l'energia d'escalfament s'ha reduït dràsticament.

## 4.6. Demanda de fred i calor

La demanda de calefacció o refrigeració serà una de les més importants i complexes d'aquest treball. A continuació veurem com sense tenir cap factura o indicació de la demanda de calefacció de la casa, serem capaços de calcular-la.

### 4.6.1. Pèrdues de calor

Definim pèrdues de calor quan es produeix una diferència de temperatura entre l'aire interior i exterior de l'habitatge i la tendència de la temperatura interior és igualar-se amb la de l'exterior. Per realitzar aquesta feina, veurem com fer un balanç tèrmic que ens permetrà calcular les pèrdues calorífiques que es produeixen per la diferència de temperatures existents entre l'habitatge i l'exterior, per ventilació, per radiació, convecció, conducció, nombre de persones dins l'habitatge i la calor generada pels electrodomèstics. Aquesta diferència de temperatura podrà efectuar-se a través de parets, sostres, terres i obertures, així com per condicionants externs com l'orientació o el tipus de vent predominant en la zona, zona climàtica, etc. [25].

Per la realització d'aquest càlcul es necessitaran les següents dades:

Del cas d'estudi	De la localització	D'ocupació	D'equipament	Temperatures internes
Superfícies / Tancaments	Situació geogràfica	Nº persones	Il·luminació	Locals acondicionats
Volums	Entorn	Horaris	Electrodomèstics	Locals no acondicionats
Sistema constructiu	Orientació	Funció	Maquines	
Materials	Zona climàtica		Motors	
Fusteria	Vents dominants			

*Taula 4.7 Agrupació de les diferents dades necessàries pel balanç tèrmic (Font pròpia).*

Aquestes dades poden ser reagrupades en diferents tipus de pèrdues. Anomenarem pèrdues per transmissió les que tinguin a veure amb les dades del cas d'estudi (pèrdues a través de parets o tancaments en funció dels materials, etc.). D'altra banda les pèrdues per ventilació i orientació estaran relacionades amb les dades de la localització. I per acabar definirem com a guany les dades relacionades amb l'ocupació i l'equipament de la casa.

El balanç serà el següent:

$$Q_{tot} = Q_{transmissió} + Q_{ventilació} + Q_{orientació} - Q_{persones} - Q_{il·luminació} - Q_{electrodomèstics}$$

On:

$$Q_{transmissió} = S \cdot U \cdot \Delta T \quad (4.2)$$

$S =$  superfície ( $m^2$ )

$U =$  Coeficient de transmissió tèrmica  $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)$

$\Delta T =$  Salt tèrmic ( $^\circ C$ )

$$Q_{ventilació} = V \cdot C_e \cdot P_e \cdot \Delta T \quad (4.3)$$

$P_e =$  Pes específic de l'aire  $\approx 1,2 \text{ kg}/m^3$

$c_e =$  calor específic de l'aire  $\approx \frac{1 \text{ kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ C}$

$V =$  Volum de renovació  $m^3/h$

$\Delta T =$  Salt tèrmic ( $^\circ C$ )

$$Q_{persones} = N^{\circ}p \cdot C_s \cdot N^{\circ}hs \quad (4.4)$$

$N^{\circ}p =$  Número de persones

$C_s =$  Calor sensible entregat per les persones en funció de l'activitat (taules)

$N^{\circ}hs =$  Número d'hores dins l'habitatge

$$Q_{il·luminació} = N^{\circ}b \cdot w \cdot 0,86 \cdot N^{\circ}hs \quad (4.5)$$

$N^{\circ}b =$  Número de bombetes

$w =$  Potència de les bombetes

$N^{\circ}hs =$  Número d'hores enceses

*El 0,86 representa el calor equivalent per cada Watt*

$$Q_{\text{electrodomèstics}} = C_s \cdot N^{\circ}Eq \cdot N^{\circ}hs \quad (4.6)$$

*N<sup>°</sup>hs = Número d'hores enceses*

*N<sup>°</sup>b = Nombre d'electrodomèstics*

*C<sub>s</sub> = Calor sensible entregat pels electrodomèstics (taules)*

#### 4.6.2. Conducció, Convecció i Radiació

Cal fer un breu incís sobre quins fenòmens causen les pèrdues més elevades de totes: les pèrdues de calor per transmissió. Aquestes poden ser provocades per tres fenòmens anomenats conducció, convecció i radiació [26]. Aquests han estat estudiats a l'assignatura de termotècnia, i ens serviran per calcular les pèrdues totals.

**Conducció:** La transmissió per conducció té lloc en un cos determinat, normalment sòlid, des de la zona de major a menor temperatura, per simple contacte molecular. L'equació que l'acompanya és la de Fourier:

$$\text{Fourier: } q = -\lambda \frac{dT}{dx} \text{ W/m}^2 \quad (4.7)$$

I més exactament en el cas d'un habitatge on totes les parets són planes la conducció depèn de:

$$\text{Paret plana: } q = \frac{\Delta T}{\frac{\delta}{\lambda}} \text{ W/m}^2 \quad (4.8)$$

On al denominador tenim la resistència del material en qüestió, que depèn del seu gruix i de la seva conductivitat tèrmica.

**Convecció:** La transmissió per convecció es produeix quan la calor es transporta d'una zona de major a menor temperatura, dins d'una mateixa massa de fluid, pel moviment intern de les molècules. L'equació que l'acompanya és la de Newton on:

$$\text{Newton: } q = h \cdot \Delta T \text{ W/m}^2 \quad (4.9)$$

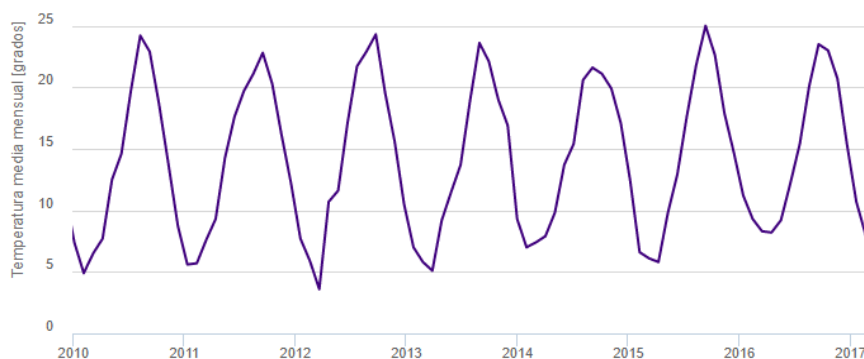
Per exemple, un mur a major temperatura respecte a l'aire, provoca que l'aire augmenti de temperatura a l'intercanviar calor per convecció.

**Radiació:** En la transmissió per radiació, la calor passa d'un cos de major temperatura a un altre de menor temperatura a través de l'espai, sense escalfament del medi que separa ambos cossos. Cada material emet i absorbeix energia depenent de la temperatura i característiques pròpies.

$$q_{rad} = \sigma \cdot \Delta T^4 \cdot \varepsilon \text{ W/m}^2 \quad (4.10)$$

### 4.6.3. Condicions de contorn

A l'hora de fer l'estudi energètic, una de les variables més importants és la temperatura de l'entorn. En el poble on se situa l'habitatge, segons la base de dades de la unió europea, la temperatura mitjana a l'hivern és d'uns 5 °C i a l'estiu d'uns 24 °C. Això suposa que mantenir una temperatura de confort durant l'hivern serà molt més complicat que durant l'estiu.



*Figura 4.8: Temperatures segons les èpoques de l'any del 2010 al 2017 [27]*

D'altra banda, sabem que alguns dies, la temperatura serà inferior o superior a la mitja i és important tenir-les en compte. Ara bé, aquí és on comencem a veure com la tasca de calcular la demanda de calefacció serà molt àrdua per la quantitat de dades a analitzar i a la seva aleatorietat en funció de l'any d'estudi.

També haurem de fixar la temperatura desitjada a l'interior de l'habitatge, per poder satisfer el confort dels seus habitants. Les temperatures òptimes recomanades, solen estar al voltant dels 20 °C als 25 °C en funció de l'època de l'any. Ara bé, depenent del moment del dia, no



farà falta mantenir una temperatura de confort constant, com per exemple durant la nit després d'anar a dormir.

#### 4.6.4. Problema dinàmic i complex

Un cop presentades les eines necessàries per calcular les pèrdues de calor d'un habitatge, veiem que a l'hora d'aplicar aquestes fórmules i la manera de procedir es compliquen a un nivell exponencial. I és que totes les fórmules convencionals de pèrdues de calor, no estan dimensionades per fer un càlcul dinàmic. Sols serveixen per dimensionar les pèrdues a nivell superficial en un instant de temps a una temperatura determinada.

Per altra banda, la demanda energètica d'un habitatge no sols depèn de les pèrdues mencionades anteriorment sinó que n'hi ha moltes altres i de gran importància. A continuació veurem algunes d'elles i comprovarem perquè són impossibles de calcular amb les fórmules convencionals.

**La inèrcia tèrmica:** *Aquesta és la propietat d'un edifici a esmorteir i retardar l'efecte de les fluctuacions de la temperatura exterior en l'interior de l'habitatge com a resultat de la capacitat de l'edifici per conduir i emmagatzemar calor. La quantitat de calor emmagatzemada depèn de la massa tèrmica dels materials, alhora que la velocitat d'intercanvi de calor amb l'entorn depèn de la seva conductivitat tèrmica.* Document bàsic HE Pag.39 [24]

Es calcula com [28]:

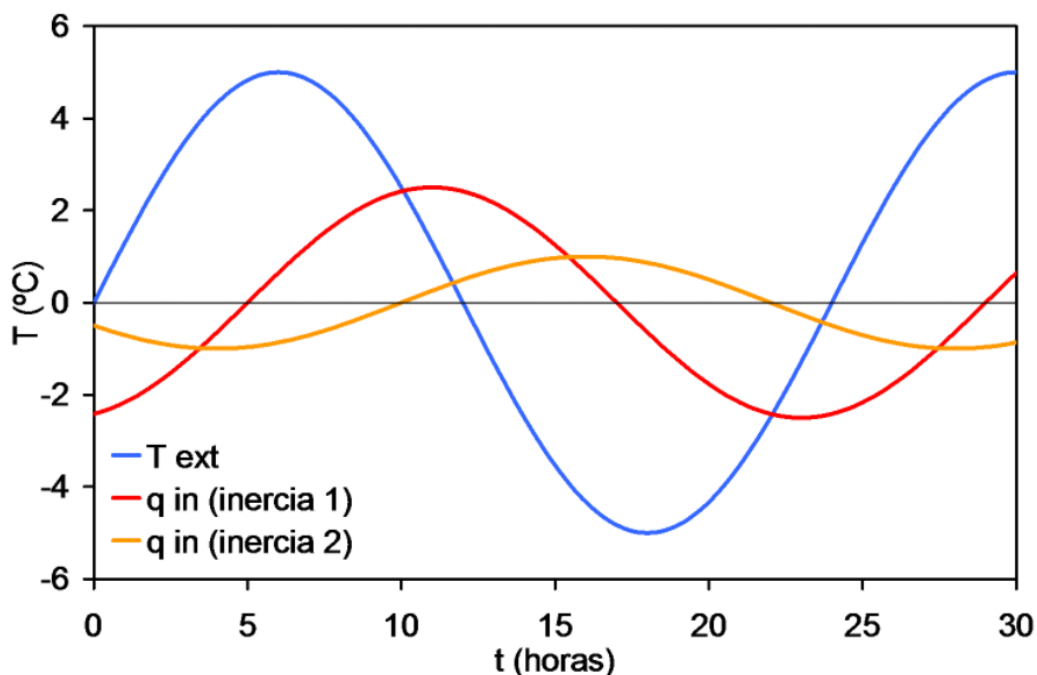
$$I = \sqrt{k\rho c} \quad (4.11)$$

On:

*k = conductivitat tèrmica W/mK*

*$\rho$  = densitat en kg/m<sup>3</sup>*

*c = capacitat calòrica específica en J/kgK*

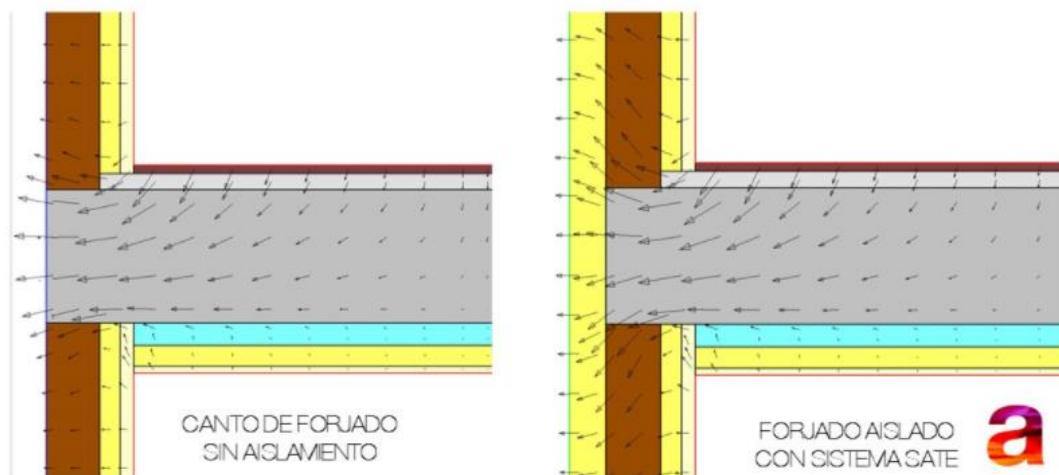


*Figura 4.9: Model de la inèrcia tèrmica d'un habitatge [29].*

Veiem que la inèrcia tèrmica tindrà un important paper en el càlcul de la demanda tèrmica. El càlcul estacionari donaria valors poc precisos i fins i tot erronis, ja que considera que l'habitatge està a la mateixa temperatura que l'exterior, fet que mai es dona, ja que la temperatura interior té una fluctuació molt més amortitzada. Com a exemple, tots sabem que a l'estiu les parets de les nostres cases es mantenen calentes fins varies hores després que el sol hagi marxat. Aquest fet incrementa la temperatura interior i el mètode de càlcul es tornaria molt més complexa.

En la figura 4.9 podem veure com fluctuen les temperatures en funció de la inèrcia tèrmica d'un habitatge. La corba vermella representarà un habitatge amb una inèrcia tèrmica moderada, mentre que la corba taronja representarà un habitatge amb una inèrcia tèrmica elevada (menors fluctuacions de temperatura en l'interior d'un habitatge).

**Pont tèrmic:** zona de l'envoltant tèrmic d'un edifici en la que clarament hi ha una variació de la uniformitat de la construcció, ja sigui per un canvi del gruix del tancament o dels materials emprats, per la penetració completa o parcial dels elements constructius amb diferent conductivitat, per la diferència entre l'àrea externa i interna de l'element, etc., que comporten una minoració de la resistència tèrmica respecta el resta del tancament. Document bàsic HE Pag.40



*Figura 4.10: Exemple d'un pont tèrmic dins un habitatge [30]*

Existeixen molts tipus de ponts tèrmics diferents, que ja veurem més endavant amb més detall. En aquest exemple podem veure com la calor es perd simplement per la trobada entre el forjat i l'exterior amb o sense aïllament entremig. Normalment, les pèrdues a través de ponts tèrmics representen al voltant del 20% al 25% de l'habitatge i aquests es poden calcular a partir d'equacions dinàmiques molt complexes i personalitzades per cada tipus de pont tèrmic.

Finalment, com aquest treball no només tracta de calcular les demandes energètiques de l'habitatge, per fer via s'ha decidit emprar una eina de càlcul anomenada HULC® que ens ajudarà a estimar la demanda de calefacció i refrigeració que necessitem.

#### 4.7. HULC® Lider – Calener CTE

Com ja hem dit anteriorment, després d'analitzar les diferents equacions tèrmiques i els seus punts febles, utilitzarem el software HULC® Lider – Calener per calcular la demanda de calefacció i refrigeració del nostre habitatge. Es tracta d'un programa de certificació energètica dels habitatges que s'utilitza per verificar i certificar si un habitatge nou o antic compleix amb el codi tècnic d'edificació [31].

Tal com indica el nom, el software porta incorporat dos programes amb característiques pròpies:

**Lider:** Calcula la demanda energètica que representa la instal·lació de calefacció i refrigeració d'un edifici. Segueix les pautes de verificació del CTE DB HE-1.

**Calener:** Calcula el consum d'energia de les instal·lacions tèrmiques de l'edifici, segons la

verificació del CTE DB HE-0.

Que és el CTE o Codi Tècnic de l'Edificació. Aquest codi tècnic és el marc normatiu que estableix les exigències que deuen complir els edificis i habitatges en relació amb els requisits bàsics de seguretat i habitabilitat establerts en la Llei 38/1999 de 5 de novembre, de "Ordenación de la Edificación" (LOE). Les exigències bàsiques de qualitat que han de complir els edificis fan referència a matèries de seguretat (seguretat estructural, seguretat contra incendis,...) i habitabilitat (protecció al soroll, estalvi d'energia,...). També es fomenta el desenvolupament sostenible i deixa oberta la forma en què deuen complir-se les seves regles. D'aquesta manera, el CTE afavoreix el desenvolupament de tasques d'investigació, el desenvolupament i la innovació (I+D+i), així com un augment de l'ús de les noves tecnologies en el sector de la construcció.

Per fer que el programa funcioni, el HULC necessita que definim una sèrie de "inputs" que descriguin la situació i l'entorn de l'habitatge a estudiar. Un cop introduïdes totes les dades, el programa necessita una descripció molt precisa de l'habitatge (nombre de pisos, dimensions, alçades, etc.) i els diferents tipus de materials emprats en l'habitatge, etc. Amb totes aquestes dades el software s'encarregarà de calcular-nos les demandes de calefacció i refrigeració en funció dels diferents mesos de l'any. Pel que fa als resultats, ens els facilita a través de gràfics o taules que els fan més comprensibles.

Per fer càlculs, el programa tindrà en compte moltíssims fenòmens i dades tèrmiques com ara:

- 1) El disseny, localització i orientació de l'edifici.
- 2) L'evolució hora a hora en règim transitori dels processos tèrmics.
- 3) L'acoblament tèrmic entre zones adjacents de l'edifici a diferents temperatures.
- 4) Les sol·licitacions exteriors, interiors i les condicions operacionals tenint en compte la possibilitat que els espais es comportin en oscil·lació lliure.
- 5) Els guanys i pèrdues d'energia per conducció a través de l'envoltant tèrmica, composta pels tancaments opacs, els forats i els ponts tèrmics, amb consideració de la inèrcia tèrmica dels materials.
- 6) Els guanys i pèrdues produïdes per la radiació solar en travessar els elements transparents o semitransparents i els relacionats amb l'escalfament d'elements opacs de l'envoltant tèrmica, considerant propietats dels elements, la seva orientació, inclinació i les ombres pròpies de l'edifici o altres obstacles que puguin bloquejar aquesta radiació.

- 7) Els guanys i pèrdues d'energia produïdes per l'intercanvi d'aire amb l'exterior degut a la ventilació o infiltracions tenint en compte les exigències de qualitat de l'aire dels diferents espais.
- 8) Les necessitats dels serveis de calefacció, refrigeració, ACS i ventilació, control de la humitat i il·luminació.

Un cop sabem que el software tindrà en compte totes les pèrdues possibles d'un edifici i les inèrcies tèrmiques en règim transitori, procedim a calcular la demanda tèrmica pas a pas.

#### 4.7.1. Dades generals

Un cop inicialitzat el software ens demanarà diferents dades molt importants referents a l'habitatge. Aquestes dades són: altitud, zona climàtica, tipus d'edifici o habitatge i cabal de ventilació.

**Altitud:** Com hem vist anteriorment, la casa es troba a 160 m per sobre el nivell del mar

**Tipus d'habitatge:** Li introduïm que es tracta d'un habitatge aïllat.

**Zona climàtica:** Segons la CTE, existeixen cinc zones climàtiques diferents amb 3 models cadascun. A partir de la taula proporcionada al document bàsic HE trobem que:

Capital de provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)			
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1
Almeria	A4	0	B3	B3	C1	C1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1
Coruña (a)	C1	0	C1	D1	D1	E1
Cuenca	D2	975	E1	E1	E1	E1
Donostia-San Sebastián	C1	5	D1	D1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1

*Figura 4.11: Zones climàtiques [32].*

Aleshores com el nostre habitatge no té cap desnivell, considerarem que la seva zona climàtica serà la C2.

#### **Cabal de ventilació:**

Avui en dia, s'exigeixen uns certs caudals de ventilació en funció del tipus d'habitatge. La renovació d'aire és vital pel confort dels habitants i és un factor de seguretat important per si

existeix alguna fuga de gas dins l'habitatge. Es considera que el cabal mínim d'aire necessari és d'1,5 l/s per habitant en períodes de no ocupació. A més, aquest cabal serà l'encarregat de portar l'aire exterior suficient per aconseguir que en l'habitatge la concentració mitjana anual de CO<sub>2</sub> sigui menor a 900 ppm i que l'acumulat anual de CO<sub>2</sub> que excedeixi 1600 ppm sigui menor que 500000 ppm per hora.

Les exigències venen donades un altra vegada pel document "Código Técnico de Edificación" (CTE). En l'apartat HS-3 [33], trobem el cabal d'aire mínim en funció del tipus d'habitatge :

Tipo de vivienda	Caudal mínimo q <sub>v</sub> en l/s				
	Locales secos <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>			Locales húmedos <sup>(2)</sup>	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores <sup>(3)</sup>	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

*Figura 4.12: Caudals mínims per la ventilació d'un habitatge unifamiliar [33].*

Interpretem doncs que el nostre habitatge té 3 habitacions i 2 d'elles seran principals (deguda a les seves grans dimensions) i un sol menjador. Fen el càlcul del cabal mínim, ens dona un valor de 30 l/s.

Obtenim doncs:

Datos administrativos | Datos generales | Factores de Paso | Producción de Energía | Opciones generales del edificio | Imágenes y otros datos

**Definición del caso**

**Verificación CTE-HE(2019) y Certificación de Eficiencia Energética**

Edificio NUEVO

Edificio EXISTENTE: Ampliación

Edificio EXISTENTE: Cambio de uso

Edificio EXISTENTE: Reforma

> 25% envolvente con cambio de sistemas climatización y ACS

> 25% envolvente con cambio de sistemas climatización

> 25% envolvente con cambio de sistemas ACS

> 25% envolvente sin cambio de sistemas

< 25% envolvente con cambio de sistemas climatización y ACS

< 25% envolvente con cambio de sistemas climatización

< 25% envolvente con cambio de sistemas ACS

< 25% envolvente sin cambio de sistemas

**Solo Certificación de Eficiencia Energética**

Edificio EXISTENTE: Solo Certificación

**Localidad, Datos Climáticos**

Comunidad autónoma: Cataluña

Provincia: Girona

Localidad: Vilamaniscle

Altitud: 160,00 m

Zona climática: C2

Peninsular  Extrapeninsular

**Tipo de edificio**

Vivienda unifamiliar

Viviendas en bloque

Una Vivienda de un bloque

Edificio Terciario Pequeño o Mediano (PMT)

Un local de un Edificio PMT

Gran Edificio Terciario (GT)

Un local de un Edificio GT

**Ventilación del edificio residencial**

Caudal de ventilación del edificio o vivienda [litros/s]: 30,00

Permeabilidad por defecto

Permeabilidad del edificio o vivienda actual, n50, [renh]: 5,84

El edificio tiene una envolvente mejorada con baja permeabilidad al aire

Permeabilidad según ensayo

Valor de permeabilidad mediante ensayo

Valores por defecto de los espacios habitables

Tipo de Uso: Residencial

*Figura 4.13: Dades generals introduïdes al HULC*

#### 4.7.2. Base de dades

Un cop introduïdes les dades generals, caldrà modificar la base de dades del programa. Aquesta base de dades està composta de milers de materials amb les seves respectives propietats com ara la densitat, conductivitat tèrmica, etc. en funció del seu gruix i dimensions. Comencem per les parets de l'habitatge amb els seus respectius materials descrits en l'apartat 3.3.2, i anem a introduir-los en el programa.

Tenim dues opcions a l'hora d'introduir un nou tipus de tancament o partició:

- 1) Introduir els materials amb els seus respectius gruixos un per un.
- 2) Introduir-hi la resistència tèrmica o coeficient de transmissió tèrmic directament.

Nosaltres utilitzarem el segon mètode gràcies a que disposem d'un estudi tèrmic de la casa realitzat en el moment de la seva construcció i la seva certificació basat en el codi NRE-AT-87 [34]. Ara bé, al ser tan antic i al faltar-ne certes unitats, haurem de procedir a verificar si les dades són correctes i corresponen a coeficients de transmissió tèrmics. Partirem de la base que corresponen a coeficients de transmissió tèrmics gràcies a diferents articles sobre aquest codi trobats a internet.

A continuació, mirarem d'entendre l'estudi i extreure'n els valors que ens interessin:

<b>Compliment de la NRE-AT-87</b>				
Justificació dels valors dels $K_m$ utilitzats (21)				
Denominació del tancament (22)	Identificació o descripció de les diferents solucions constructives que componen el tancament (23)	K (24)	Superfície (25)	S x K
FACHADA VORTE	Part massissa : Mortero monocapa, opo, cámara aire 10cm	0,48	48,96	23,50
	poliestireno expandido, tabique 5cm y yeso			
	Exposada : Carpintería aluminio, cristal doble con cámara y porticón exterior de aluminio	2,30	8,64	19,87
	Carpintería aluminio y cristal doble con cámara	4,00	0,90	3,60
	$\Sigma$		58,50	46,97

Figura 4.14: Primera part de l'estudi tèrmic



Denominació del tancament	Identificació o descripció de les diferents solucions constructives que componen el tancament	K	S	S x K
CUBIERTA	Plana: Formación pandollos con "AS TEXSA", membrana impermeabilizante "MORTER PLAS", aislamiento térmico "ROOFMATE" y doblado exterior sobre soportos.	0,37	50,00	18,50
Σ			50,00	18,50

$$K_m = \frac{\sum S K}{\sum S} = \frac{18,50}{50,00} = 0,37$$
  

Denominació del tancament	Identificació o descripció de les diferents solucions constructives que componen el tancament	K	S	S x K
CUBIERTA	Inclinada: Teja avano, solera machimbreada, cámara de aire, tabiquillos congresos, lana vidrio 8cm, forjado y yeso.	0,35	160,50	56,17
Σ			160,50	56,17

Figura 4.15: Segona part de l'estudi tèrmic (Font pròpia)

Primer de tot, podem diferenciar les diferents estructures de la casa: les parets exteriors i el tipus de sostre (pla o inclinat) i la descripció de cadascuna d'elles. Pel que fa la façana, podem distingir els següents apartats: la paret externa massissa, i la fusteria composta pel vidre i el marc de metall. Per altra banda, tenim la descripció de tots els materials que han sigut emprats per construir qualsevol d'aquests tres tancaments. Ara bé, no hi consten els gruixos dels materials, variable importantíssima a tenir en compte a l'hora de fer els càlculs a manualment. Tanmateix, la part interessant d'aquest document és el valor de la "K", que correspon a la nostra U, el coeficient de transmissió tèrmic. En canvi, les superfícies són errònies a causa d'ampliacions posteriors de la casa que en aquest document no es tenen en compte (canvis de distribució).

Aleshores, obtenim els següents coeficients de transmissió tèrmics:

$$U_{\text{paret externa}} = 0,48 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$U_{\text{sostre pla}} = 0,37 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$U_{\text{sostre inclinat}} = 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Veiem que aquests valors tenen sentit degut a que com més petits són, menys calor pot transmetre el material o conjunt de materials conductors, i viceversa. Ara bé, per comprovar-los, calculem el coeficient tèrmic d'un dels tres tipus de tancaments.



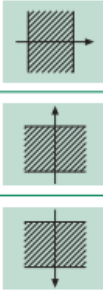
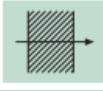
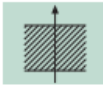
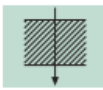
El càlcul del coeficient de transmissió tèrmic serà idèntic al emprat a l'assignatura de termotècnia. En el nostre cas, utilitzarem la fórmula que veurem a continuació. Si posem com exemple el cas d'una paret externa del nostre habitatge:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{\delta_{envà}}{\lambda_{envà}} + \frac{\delta_{aire}}{\lambda_{aire}} + \frac{\delta_{poliuretà}}{\lambda_{poliuretà}} + \frac{\delta_{gero}}{\lambda_{gero}} + \frac{\delta_{guix}}{\lambda_{guix}} + \frac{1}{h_e}} \quad (4.12)$$

En aquesta fórmula podem veure que al denominador, tenim un sumatori de totes les resistències tèrmiques de la paret. Cada terme correspon a un material diferent, i podem diferenciar les resistències obtingudes pel fenomen de convecció i de conducció. Pel que fa la convecció, intervenen el primer i últim terme del sumatori de resistències. Aquests valors estan tabulats en taules que veurem a continuació. Però per calcular una resistència tèrmica deguda a la conducció, haurem que tenir en compte el gruix del material i la conductivitat tèrmica d'aquest. Els gruixos els obtindrem a partir dels plànols estudiats anteriorment en la figura 3.17 i les conductivitats les treurem de taules especialitzades.

Primerament, ens centrarem en els valors de la convecció, és a dir el  $1/h_i$  i el  $1/h_e$ , que corresponen a les resistències tèrmiques d'aquest fenomen. El primer terme correspon a la resistència de convecció de l'aire interior amb la paret interior i el segon la resistència de l'aire exterior amb la paret exterior.

A partir de la taula següent, veurem que els que ens interessin corresponen a la primera fila, amb separació cap a l'exterior:

Posició del cerramiento y sentido del flujo de calor		Situación del cerramiento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $> 60^\circ$ y flujo horizontal		0,13 (0,11)	0,07 (0,06)	0,20 (0,17)	0,13 (0,11)	0,13 (0,11)	0,26 (0,22)
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente		0,11 (0,09)	0,06 (0,05)	0,17 (0,14)	0,11 (0,09)	0,11 (0,09)	0,22 (0,18)
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0,20 (0,17)	0,06 (0,05)	0,26 (0,22)	0,20 (0,17)	0,20 (0,17)	0,40 (0,34)

Resistencias térmicas superficiales en  $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C/kcal$  ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )

**Figura 4.16: Valors de convecció aproximats en funció del tipus de tancament [35]**

Els valors que corresponen al fenomen de convecció d'una paret amb separació a l'exterior són els dos primers de la primera fila.

Aleshores obtenim:  $1/h_i = 0,11 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$  i que  $1/h_e = 0,06 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ .

Seguidament, per les resistències de conducció, haurem d'esbrinar el gruix i la conductivitat tèrmica de cada material. Aquests valors seran deduïts del apartat 3.3.2 anterior.

$$\delta_{envà} = 0,05 \text{ m} , \lambda_{envà} = 0,87 \text{ W/m} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\delta_{poliuretà} = 0,035 \text{ m} , \lambda_{poliuretà} = 0,023 \text{ W/m} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\delta_{gero} = 0,115 \text{ m} , \lambda_{gero} = 0,76 \text{ W/m} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\delta_{guix} = 0,005 \text{ m} , \lambda_{guix} = 0,3 \text{ W/m} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

I per la cambra d'aire de 100 mm de gruix, haurem de fer ús de taules:

Situación de la cámara y dirección del flujo de calor	Espesor de la cámara, en mm				
	10	20	50	100	> 150
Cámara de aire vertical y flujo horizontal	0,16 (0,14)	0,19 (0,16)	0,21 (0,18)	0,20 (0,17)	0,19 (0,16)
Cámara de aire horizontal y flujo ascendente	0,16 (0,14)	0,17 (0,15)	0,19 (0,16)	0,19 (0,16)	0,19 (0,16)
Cámara de aire horizontal y flujo descendente	0,17 (0,15)	0,21 (0,18)	0,24 (0,21)	0,24 (0,21)	0,24 (0,21)
Resistencia térmica de la cámara $R_c$ en $\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal (m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W)}$					

*Figura 4.17: Valors de convecció aproximats en funció del tipus de tancament [35]*

Observem un cop més, que la nostra cambra d'aire es correspon a la primera fila de la taula.

Aleshores la resistència de la cambra d'aire serà igual a  $0,16 \text{ }^\circ\text{C m}^2/\text{W}$

Si reemplaçem tots aquests valors dins la formula, ens adonem que el resultat coincideix a la perfecció amb el de l'estudi:

$$U = \frac{1}{0,11 + \frac{0,05}{0,87} + 0,16 + \frac{0,035}{0,023} + \frac{0,115}{0,76} + \frac{0,005}{0,3} + 0,06} = 0,48 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$$

D'altra banda, a partir de valors tabulats, esbrinarem els coeficients de transmissió del vidre i de l'alumini perquè en l'estudi, els valors obtinguts no concorden massa amb la seva descripció.

El vidre que hi ha instal·lat a l'habitatge, és un vidre de doble càmera, amb les següents dimensions: 4 x 6 x 4 mm de vidre-aire-vidre respectivament. Amb la taula següent concloem que el coeficient del vidre serà igual a 3,3 W/m<sup>2</sup>°C

Espeor de Vidrio	Cámara de Aire	Pérdidas en W por M <sup>2</sup> °K
4 mm (Simple)	Sin cámara	5,8
4 mm (Doble acristalamiento)	6 mm	3,3
4 mm (Doble acristalamiento)	8 mm	3,1
4 mm (Doble acristalamiento)	12 mm	2,9

*Figura 4.18: Coeficients de transmissió dels diferents tipus de finestres [36]*

Ara bé, ens adonem que aquest valor no apareix enlloc en l'estudi enèrgic. Per altra banda, sabem que necessitem un valor de U per calcular les pèrdues a través del vidre. Utilitzarem el 3,3 W/m<sup>2</sup>°C.

I com a última comprovació, cal verificar el valor de la fusteria d'alumini. Amb l'ajuda d'un metre, s'ha calculat el gruix de totes les fusteries que al final ha resultat ser de 8 mm. També sabem, que aquestes finestres, estan confeccionades amb ruptures de ponts tèrmics per evitar pèrdues massives de calor. Per esbrinar el valor, hem emprat la taula següent:

Material del perfil	Transmitancia térmica U (W/m <sup>2</sup> K)
Poliuretano con núcleo metálico. Espesor de PUR ≥ 5 mm	2,80
Perfiles huecos de PVC (2 cámaras)	2,20
Perfiles huecos de PVC (3 cámaras)	2,00
Madera dura (ρ = 700 kg/m <sup>3</sup> , λ = 0,18 W/m K), espesor del perfil 50 mm.	2,20
Madera blanda (ρ = 500 kg/m <sup>3</sup> , λ = 0,13 W/m K), espesor del perfil 50 mm.	2,00
Metálico sin RPT (rotura de puente térmico)	5,70
Metálico con rotura de puente térmico, rotura: 4 mm ≤ d < 12mm.	4,00
Metálico con rotura de puente térmico, rotura: d ≥ 12 mm.	3,20

*Figura 4.19: Coeficients de transmissió tèrmics de diferents marcs de finestra [37]*

Ara si, el valor coincideix amb el de l'estudi enèrgic. Aquest és de 4 W/m<sup>2</sup> °C.

Sols manca conèixer el valor del coeficient de transmissió tèrmic del terra. Si mirem l'estudi mostrat al principi d'aquest apartat (figura 4.15) ens adonem que no és menciona enlloc. Per tant, procedirem a definir el seu valor dins del programa a partir del esquema dels tancaments (figura 4.16) i del primer mètode: introduint els materials amb els seus

respectius gruixos un per un. Obtenim:

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp
1	Gres calcáreo 2000 < d < 2700	0,020	1,900	2350	1000
2	Arena y grava [1700 < d < 2200]	0,030	2,000	1450	1050
3	FR Entrevigado de hormigón -Canto 300 mm	0,300	1,947	1670	1000

*Figura 4.20: Introducció dels materials del terra al HULC*

U_M	2,86	[W/m²K]
U_C	3,13	[W/m²K]
U_S	2,57	[W/m²K]

*Figura 4.21: Coeficient de transmissió trobat pel HULC*

Obtenim que el valor final serà de 2,57 W/m² °C. Els altres dos valors correspondran al coeficient de transmissió tèrmic si aquest tancament fos un mur (M) o una coberta (C).

Obtenim doncs uns coeficients de transmissió tèrmics aproximats de:

$$U_{\text{paret externa}} = 0,48 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$U_{\text{vidre}} = 3,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$U_{\text{fusteria d'alumini}} = 4,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$U_{\text{sostre pla}} = 0,37 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$U_{\text{sostre inclinat}} = 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$U_{\text{terra}} = 2,57 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Per últim, s'ha decidit que per les particions interiors, com són de 10 a 15 cm, s'utilitzarà un coeficient tèrmic del voltant de 2 W/m² °C degut a que aquestes estan fetes de maó macís i guix per banda i banda.

A continuació podem veure un exemple d'implementació del tancament anomenat paret exterior amb el seu valor calculat a partir de la resistència tèrmica  $R=1/U=1/0,48 \text{ m}^2 \text{ °C/W}$ .

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Paredes Ext					2,083
2	Yeso dureza media 600 < d < 900	0,010	0,300	750	1000	
3						

Grupo Material: xx CASA

Material: Paredes Ext

Espesor [m]:

U\_M: 0,44 [W/m²K]

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

*Figura 4.22: Exemple d'introducció de dades de la paret externa en el HULC.*

En el cas de les finestres, el programa ens demanarà dades complementàries com ara el percentatge d'ocupació de la fusteria en relació amb el vidre i el percentatge d'ocupació del calaix de la persiana. El valor de la fusteria d'alumini tindrà un valor de 10% tabulat per conveni i pel que fa el percentatge d'ocupació de les persianes el reduïrem a la meitat, és a dir un 5% degut a que no totes les finestres en tenen. D'altra banda se'ns demanarà el valor de la permeabilitat a l'aire. Aquest serà de 27 m³/h degut a la zona climàtica C2 en la que ens trobem. I per últim, haurem d'introduir la transmissió total d'energia solar a través del cristall. Aquest valor el trobarem en taules del DB HE:

Factor de transmitancia solar del dispositivo de protección solar		Protección exterior				Protección interior			
		Factor de reflexión (ρ <sub>e,B</sub> )				Factor de reflexión (ρ <sub>e,B</sub> )			
T <sub>e,B</sub>	Tipo de vidrio	blanco	pastel	oscuro	negro	blanco	pastel	oscuro	negro
0 (p.ej: persianas)	Vidrio sencillo	0,06	0,11	0,15	0,19	0,34	0,43	0,54	0,66
	Vidrio doble	0,05	0,08	0,11	0,14	0,34	0,43	0,53	0,63
	Vidrio doble bajo emisivo	0,03	0,05	0,08	0,10	0,34	0,42	0,51	0,59
	Vidrio triple bajo emisivo	0,03	0,05	0,06	0,08	0,30	0,34	0,38	0,41
0,2 (p.ej: toldos)	Vidrio sencillo	0,22	0,27	0,31	0,33	0,39	0,51	0,62	0,68
	Vidrio doble	0,20	0,23	0,26	0,28	0,39	0,50	0,60	0,65
	Vidrio doble bajo emisivo	0,17	0,20	0,22	0,23	0,39	0,48	0,56	0,61
	Vidrio triple bajo emisivo	0,13	0,15	0,16	0,17	0,32	0,36	0,40	0,42
0,4 (p.ej: cortinas)	Vidrio sencillo	0,41	0,43	0,45	0,47	0,53	0,59	0,65	0,71
	Vidrio doble	0,36	0,38	0,39	0,41	0,51	0,56	0,61	0,66
	Vidrio doble bajo emisivo	0,33	0,34	0,35	0,36	0,49	0,53	0,58	0,62
	Vidrio triple bajo emisivo	0,24	0,25	0,26	0,27	0,37	0,38	0,40	0,42

*Figura 4.23: Transmissió total d'energia solar de finestres per diferents dispositius d'ombra [38].*

Observem que el factor a tenir en compte havent-hi persianes blanques haurà de ser del 0,05.

Amb totes aquestes dades i els coeficients de transmissió tèrmics trobats anteriorment obtenim:

*Figura 4.24: Exemple d'introducció de dades d'un forat (finestra amb fusteria) en el HULC*

### 4.7.3. Disseny de l'habitatge

Un cop introduït tots els tancaments amb els seus respectius materials, és hora de simular i dissenyar l'habitatge en el programa informàtic. Aquest programa és capaç de recrear l'edifici en tres dimensions gràcies a la definició de múltiples vèrtex sobre un pla (que té com a funció simular el terra) i les alçades dels pisos. A més, serà de gran importància definir correctament l'orientació de l'habitatge a causa de les diferències tèrmiques entre façanes degut a l'impacte del sol i del vent, entre d'altres.

Un cop posats a construir la simulació, aquesta s'haurà de muntar per fases. El programa estableix un ordre de construcció que no podem canviar si volem que no doni problemes a l'hora de calcular els resultats finals. El més important serà crear els pisos un per un en ordre ascendent. A més, un cop creat un pis, canviar les seves dimensions o localitzacions dels vèrtexs serà impossible i haurèm de començar des de zero. Per últim, al no tenir la

possibilitat de tornar enrere, el programa ens obliga a dimensionar-ho tot a la primera.

El nostre edifici estarà compost de 3 pisos: el buit sanitari, el primer i el segon pis. Per dissenyar bé l'habitatge, haurem d'introduir tots els vèrtexs d'acord amb el centre de coordenades del programa. Pel que fa el buit sanitari, serà fàcil d'implementar, ja que es tractarà d'un rectangle de 10 m d'ample per 21,65 m de llarg i de 0,5 m d'altura. En canvi, la primera planta serà molt més feixuga a l'hora de dissenyar-la.

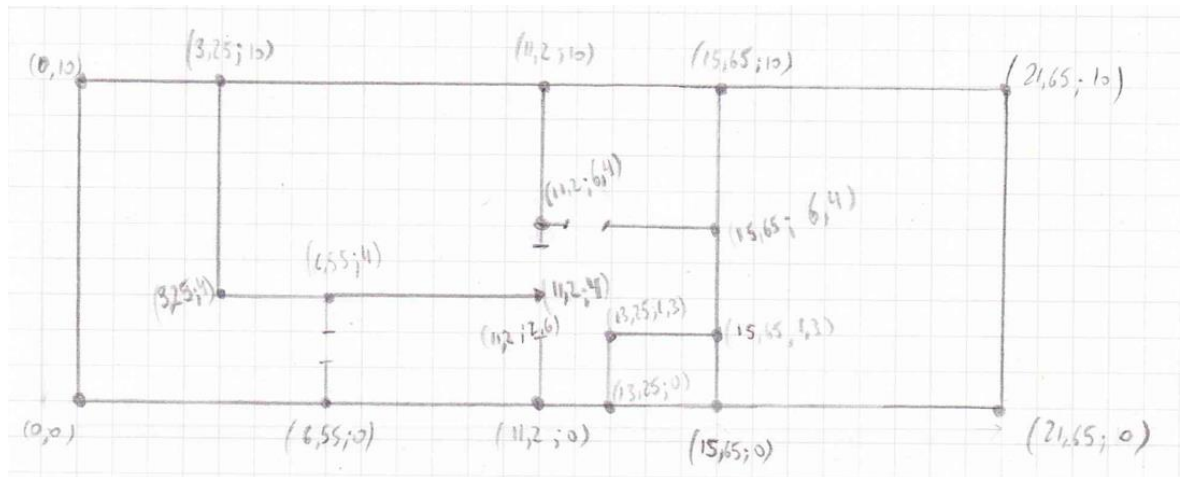
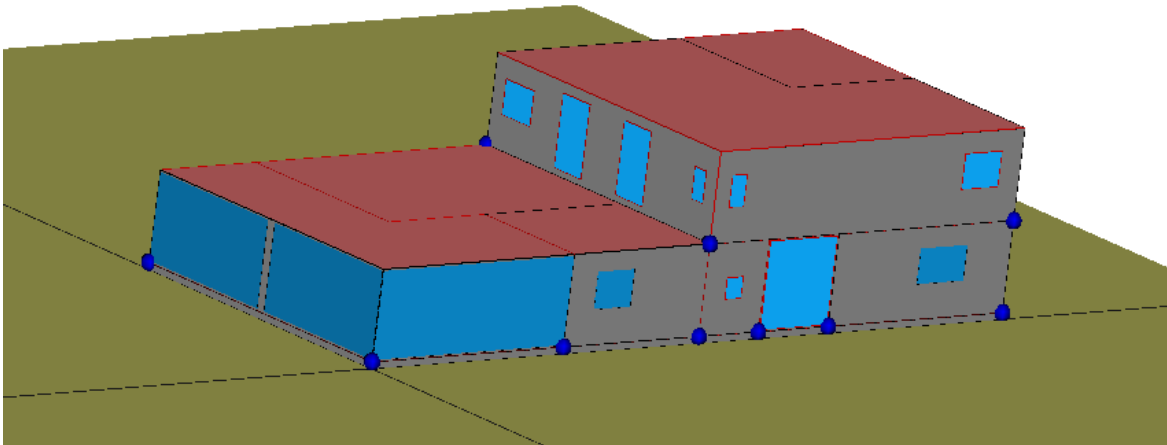


Figura 4.25: Croquis dels vèrtexs a introduir per la creació del primer pis (Font pròpia)

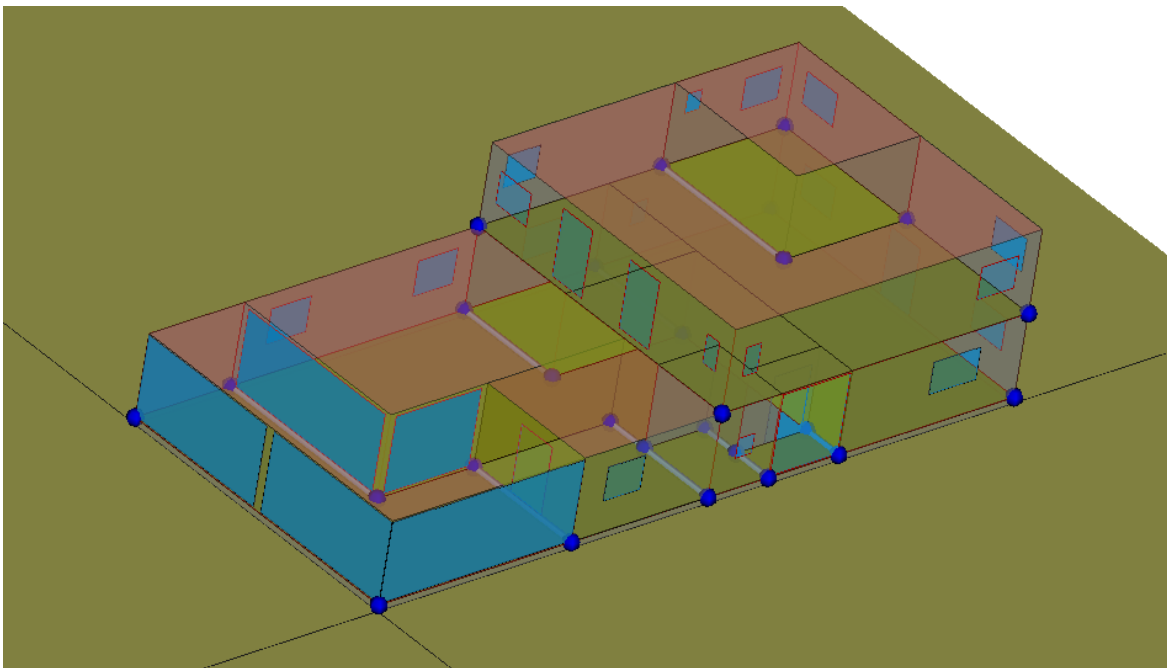
Un cop introduïts tots els vèrtexs, haurem de definir els espais un a un amb els seus respectius tancaments.

Pel que fa el segon pis no serà complicat, només s'hauran d'introduir cinc vèrtexs: quatre per definir l'espai rectangular i un d'extra per poder crear el quarto de bany.

Un cop muntada tota l'estructura, sols quedarà posar-hi les portes i finestres amb les seves respectives dimensions calculades a mà amb l'ajuda d'un metre. I un cop definits tots els espais amb les seves alçades, vèrtex, tancaments, etc. Obtenim els següents dibuixos:



*Figura 4.26: Simulació de l'habitatge amb l'eina HULC (vista exterior)*



*Figura 4.27: Simulació de l'habitatge amb l'eina HULC (vista interior)*

Un cop creats tots els pisos, procedirem a definir si els espais creats seran: condicionats, no condicionats o no habitables. Aquesta definició serà vital perquè el programa calculi els resultats correctament.

Segons la terminologia de la CTE, aquests espais es descriuen així:

**Espai habitable condicionat:** espai habitable que necessita mantenir unes determinades condicions operacionals pel benestar tèrmic dels seus ocupants.



**Espai habitable no condicionat:** Espai habitable pel qual es preveu que, durant la vida útil de l'habitatge, no necessitarà mantenir unes determinades condicions de temperatura pel benestar tèrmic dels seus ocupants. Igualment, al ser habitable disposarà de fonts internes (il·luminació, ocupació, equips, etc.)

**Espai no habitable:** Espais similars als garatges, aparcaments, buits sanitaris...

Nosaltres definirem com “espais no habitables” el buit sanitari. Com a “no condicionats” l'annex (petit apartament), la cuina, el porxo, l'habitació del primer pis, els quartos de bany i l'entrada (rebedor). I per últim considerarem com a espais condicionats el menjador, i els dos dormitoris principals del segon pis.

També, haurem de tenir en compte les temperatures per les quals el programa interpreta que ha d'estar un espai condicionat per garantir el confort dels habitants:

		Horario (semana tipo)			
		0:00-6:59	7:00-14:59	15:00-22:59	23:00-23:59
<b>Temperatura de Consigna Alta (°C)</b>	Enero a Mayo	-	-	-	-
	Junio a Septiembre	27	-	25	27
	Octubre a Diciembre	-	-	-	-
<b>Temperatura de Consigna Baja (°C)</b>	Enero a Mayo	17	20	20	17
	Junio a Septiembre	-	-	-	-
	Octubre a Diciembre	17	20	20	17

*Figura 4.28: Temperatures de referència en funció de l'hora del dia per espais condicionats [24]*

Veiem com aquestes temperatures difereixen en funció de l'època de l'any, i oscil·len de 25 a 27 °C per les èpoques càlides i de 17 a 20 °C per les èpoques més fredes.

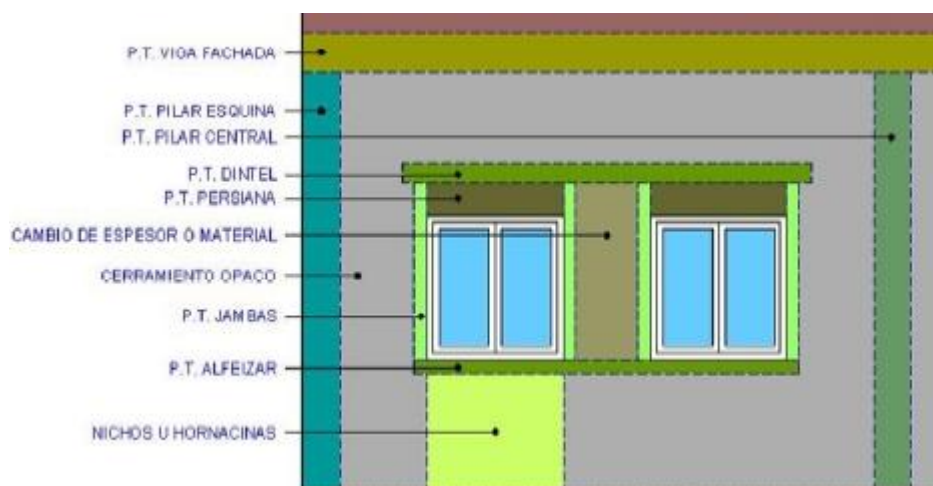
#### 4.7.4. Ponts tèrmics

L'últim pas de tots, serà implementar els ponts tèrmics de l'habitatge. Existeixen moltíssimes classes de ponts tèrmics que podran ser reagrupats en diferents categories segons la CTE:

- 1) Ponts tèrmics integrats en els tancaments: contorns de les finestres, caixes de persianes, pilars integrats en les façanes...
- 2) Ponts tèrmics formats per la trobada de tancaments: fronts de forjat en les façanes, unions de cobertes amb façanes, cobertes amb muralleta o sense, unions de

façanes amb tancaments en contacte amb el terreny, unions de façanes amb lloses o soleres...

- 3) Cantonades o trobaments de façanes, que, depenent de la posició de l'exterior es divideixen en: contorns entrants o sortints
- 4) Trobades de voladissos amb façanes
- 5) Trobades d'envans interiors amb tancaments exteriors



*Figura 4.29: Croquis dels diferents ponts tèrmics d'un habitatge [39]*

Ara bé, al no tenir informació sobre la composició i la construcció exacta de l'habitatge, agafarem valors mitjans per cada tipus de pont. El programa per si, simula la demanda de l'habitatge considerant els ponts tèrmics més crítics possibles. En el nostre cas, al tenir un habitatge relativament nou amb bons materials de construcció, considerarem que no té uns ponts tèrmics corresponent als habitatges antics. Aleshores els reduïrem d'un 25% del valor crític proposat pel software.

D'altra banda, les longituds d'aquests ponts tèrmics, seran calculades directament pel programa.

#### 4.7.5. Simulació

Ara, per fi podem simular el nostre exercici i trobar la demanda mensual de calefacció i refrigeració.

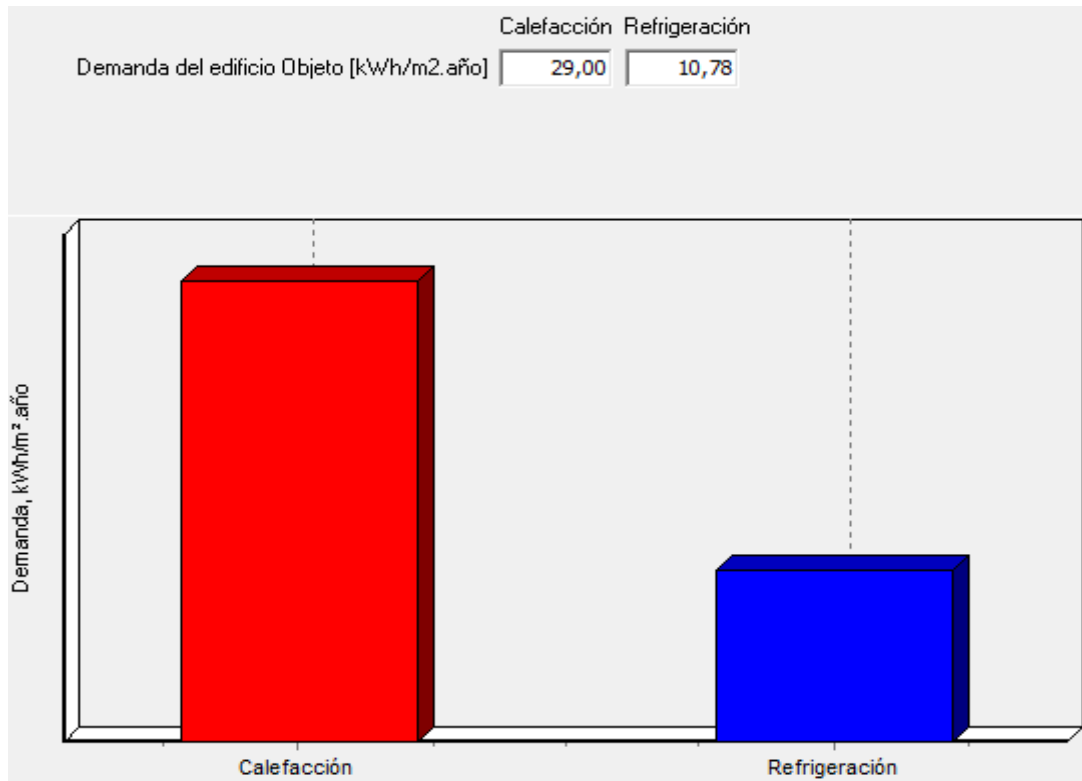


Figura 4.30: Demanda total de calor i fred de l'habitatge anual per kWh/m<sup>2</sup> any (Font: HULC)

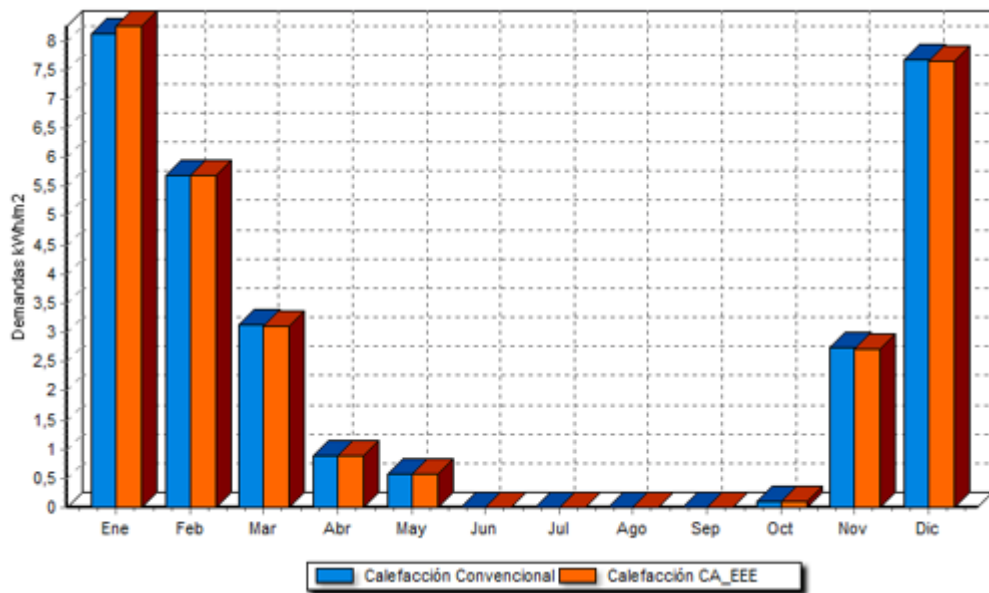
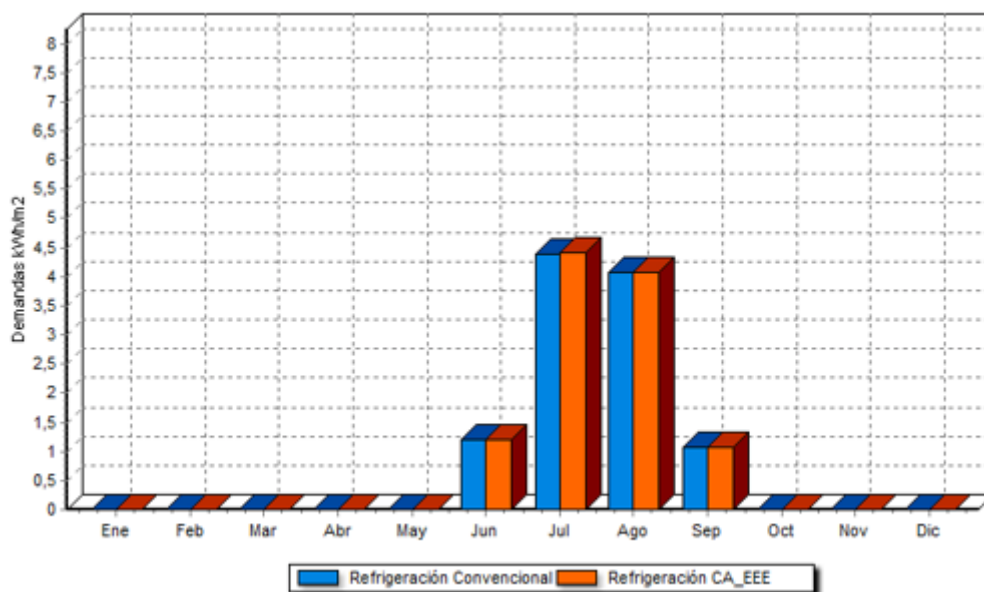


Figura 4.31: Demanda mensual de Calefacció de l'habitatge per kWh/m<sup>2</sup> (Font: HULC)



*Figura 4.32: Demanda mensual de Refrigeració de l'habitatge per kWh/m² (Font: HULC)*

Per últim, cal subratllar que aquestes demandes són dimensionades pel software per garantir una temperatura de confort dins l'habitatge, al llarg de tot un mes sencer, com si es tractés d'una residència principal.

#### 4.7.6. Demanda total

Un cop obtingudes les demandes mensuals per metre quadrat, procedirem a dimensionar els consums energètics en funció de la superfície a escalfar o refredar de l'habitatge. Pel que fa el consum de l'habitatge quan aquest està ocupat tots els dies de l'any obtindrem unes demandes diàries de:

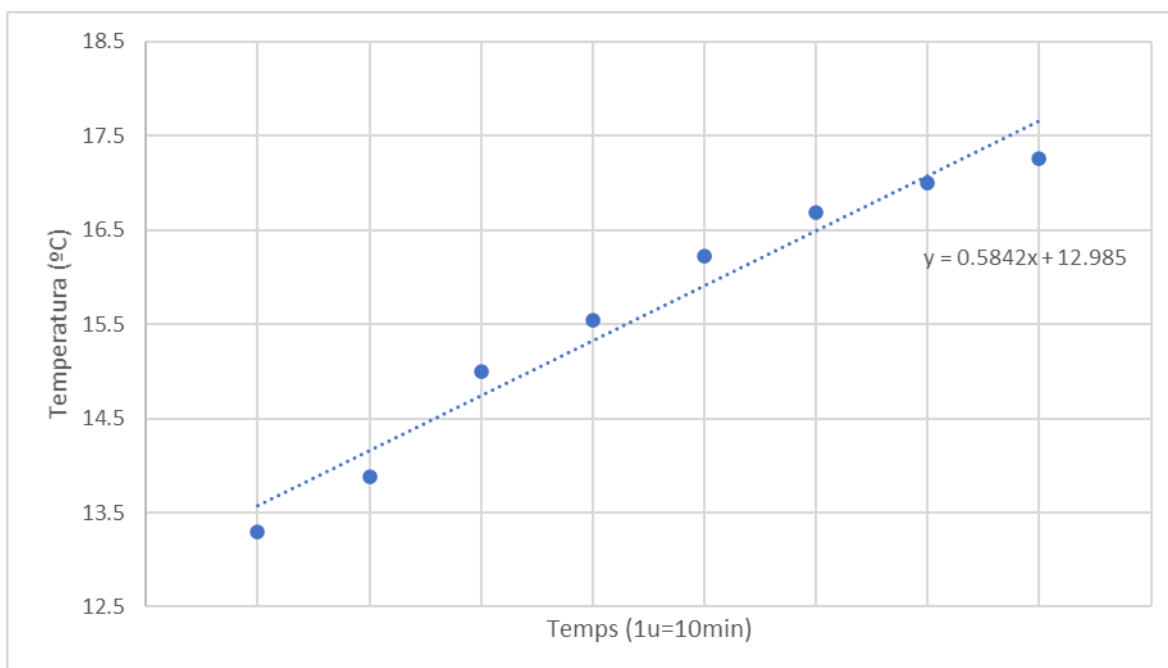
Mes	Nº dies / mes	Demanda Calefacció (kWh/m²)	Demanda Refrigeració (kWh/m²)	Superfície (m²)	Consum Calefacció (kWh/dia)	Consum Refrigeració (kWh/dia)
Gener	31	8,10	0,00	104	27,17	0,00
Febrer	28	5,25	0,00	104	19,50	0,00
Març	31	3,25	0,00	104	10,90	0,00
Abril	30	0,75	0,00	104	2,60	0,00
Maig	31	0,60	0,00	104	2,01	0,00
Juny	30	0,00	1,25	104	0,00	4,33
Juliol	31	0,00	4,38	104	0,00	14,68
Agost	31	0,00	4,10	104	0,00	13,75
Septembre	30	0,00	1,05	104	0,00	3,64
Octubre	31	0,10	0,00	104	0,34	0,00
Novembre	30	2,75	0,00	104	9,53	0,00
Desembre	31	7,60	0,00	104	25,50	0,00

*Taula 4.8: Demandes tèrmiques de l'habitatge per dia (Font pròpia)*

Ara bé, pel cas en el que la casa està ocupada sols durant els caps de setmana i festius,

haurem de considerar el consum d'arrencada de les bombes de calor i el consum extra necessari per escalfar correctament les parets de la casa (consum lligat un altra vegada lligat al fenomen d'inèrcia tèrmica).

Per dimensionar aquest consum extra s'ha dut a terme una prova que ha consistit en engegar la bomba de calor d'una de les habitacions del segon pis durant una certa durada de temps a màxima potència i amb una consigna de temperatura molt elevada. Un cop obtinguda la gràfica de temperatures, gràcies a un termòmetre electrònic, hi calcularem la recta de tendència associada.



*Figura 4.33: Experiment per deduir el consum d'arrencada d'una bomba de calor*  
*(Font pròpia).*

Cal dir que hem escalfat només fins a 17,5 °C, ja que no feia falta consumir més energia si amb una recta de tendència podíem extreure conclusions. A més, l'abscissa del gràfic correspon a 10 minuts de temps per unitat. Ara bé, al conèixer els consums a màxima potència de les tres bombes de calor i les superfícies a escalfar de cada part de la casa, aproximarem l'energia extra necessària per arrencar i subministrar la temperatura desitjada. També hem d'aclarir que les dues bombes dels dormitoris del segon pis són de la marca Mitsubishi i la del menjador de la marca Sunier Duval. Al tenir-les instal·lades ja en l'habitatge sabem quines seran les seves prestacions a màxim rendiment.

Màquina	Sunier Duval	Mitsubishi
Potència d'entrada Calef. (kW)	1,76	0,955
SCOP	3,8	4,5
Potència de sortida Calef. (kW)	5,8	4

*Taula 4.9: Potències de les bombes de calor de l'habitatge (Font pròpia).*

Podem veure, quins són els rendiments en funció del SCOP de cada màquina. També cal recordar, que una bomba de calor reversible té un rendiment de refrigeració anomenat SEER i un rendiment de calefacció anomenat SCOP. Aquests rendiments seran diferents i determinaran les potències d'entrada i de sortida de l'aparell.

Ara bé, per fer el càlcul de la potència extra d'arrancada resumirem totes les dades necessàries en la següent taula:

Arrancada	Menjador	Dormitori petit	Dormitori gran
Superfície (m <sup>2</sup> )	43,60	22,85	35,75
grad (°C/10min)	0,68	0,90	0,58
Potència d'entrada (kW)	1,76	0,96	0,96
Temp. Habitatge (°C)	13	13	13
Temps escalfament (1u=10min)	10	8	12
Temperatura Final (°C)	19,84	20,20	19,90
Factor inèrcia tèrmica	2	2	2
Energia extra arrancada (kWh/dia)	5,87	2,55	3,82
Total (kWh/dia)	---	---	12,23

*Taula 4.10: Càlcul de la potència d'arrencada (Font pròpia).*

Comencem per la segona fila anomenada "grad", amb unitats de °C/10min que ens indica el pendent de la recta de regressió per cada recinte condicionat. Podem veure com a partir del pendent trobat en la gràfica anterior (en color verd), calcularem el resta de factors. Com nosaltres hem fet la prova en només una habitació, haurem de calcular les altres dos en funció de la potència de la bomba i la superfície a escalfar. Cal dir que aquest càlcul s'ha pogut realitzar, ja que les parets externes estan constituïdes dels mateixos materials i la superfície de les finestres serà aproximadament el mateix. Per l'habitació petita, al tenir la mateixa bomba de calor que la gran, fent una regla de tres entre superfícies serà suficient per aconseguir el resultat. Pel que fa el menjador, simplement farem una segona regla de tres comparant les potències de les dues bombes de calor. Després, s'ha calculat el temps necessari per arribar a la temperatura desitjada, la mateixa que la que imposa el HULC que com hem vist anteriorment és igual a 20 °C. I per acabar, s'ha decidit de multiplicar per dos, el temps d'arrencada per simular l'energia extra que necessitarà la bomba de calor per escalfar correctament les parets i minimitzar les pèrdues. Veiem, que el temps mig

d'arrencada serà igual al temps d'escalfament més el temps que tardaran les parets a emmagatzemar calor degut al fenomen de la inèrcia tèrmica. Aquesta durada serà doncs d'aproximadament 4 h.

Finalment, s'ha calculat que pel mes de desembre, la potència d'arrencada serà de 12,23 kWh/dia i correspon al 48% de l'energia diària consumida per calefactar la casa (25,5 kWh/dia). I per calcular les demandes d'arrencada de la resta de mesos de l'any, utilitzarem un factor del 50% de l'energia necessària diària per escalfar o refredar la casa. Hem de tenir en compte que fer servir aquest valor ens pot induir a errors a l'hora de dimensionar l'energia necessària requerida per refrigerar la casa en èpoques de calor, ja que els rendiments SCOP i SEER d'una bomba de calor reversible són diferents, de la mateixa manera que les seves potències d'entrada i sortida. Tanmateix, com la SEER sol ser molt superior al SCOP, al utilitzar un factor del 50% a l'estiu, ens induirà a sobredimensionar l'energia necessària d'arrencada. Aleshores, al no poder calcular la potència d'arrencada de l'aire condicionat, farem servir el mateix factor d'arrencada igual al 50%.

Pel que fa el càlcul, multiplicarem el consum diari de la taula 4.8 pel factor d'arrencada. Sabent que aproximadament trigarem 4 h en escalfar els recintes de la casa més les parets, al nostre consum d'arrencada li sumarem la resta del consum del dia que equivaldrà aproximadament a 20 h de les 24 h, per obtenir un consum diari. Obtenim:

Arrencada	Nº dies / mes	Factor d'arrencada	Demanda dia d'arrencada Calefacció (kWh/dia)	Demanda dia d'arrencada Refrigeració (kWh/dia)	Demanda mensual (kWh/mes)
Gener	8	50,00%	36,23	0,00	253,63
Febrer	8	50,00%	26,00	0,00	182,00
Març	10	50,00%	14,54	0,00	127,20
Abril	8	50,00%	3,47	0,00	24,27
Maig	8	50,00%	2,68	0,00	18,79
Juny	10	50,00%	0,00	5,78	50,56
Juliol	8	50,00%	0,00	19,57	136,99
Agost	31	50,00%	0,00	0,00	0,00
Setembre	9	50,00%	0,00	4,85	37,61
Octubre	8	50,00%	0,45	0,00	3,13
Novembre	9	50,00%	12,71	0,00	98,51
Desembre	9	50,00%	34,00	0,00	263,47

*Taula 4.11: Demandes tèrmiques d'arrencada de l'habitatge per dia (Font pròpia).*

Per últim, podem veure com a l'agost la casa estarà ocupada durant tot el mes sencer. Per consegüent per aquest més, no considerarem cap consum d'arrencada.

## 4.8. Diferents alternatives de consums finals

Aquest apartat té com a finalitat calcular tres tipus diferents de demandes en funció de diverses variables. Primerament, calcularem quina serà la demanda si la casa estigués

ocupada cada dia de l'any, com si fos la nostra residència principal. Seguidament, veurem com afectaria la demanda, si la casa només fos ocupada els caps de setmana i festius. I per últim, proposarem una tercera alternativa que també considerarem que és quan la casa està ocupada només els caps de setmana i festius, i a més, mantindrem el conjunt de la casa a una temperatura de 20 °C constants. Per tant, treballarem amb tres escenaris de consum diferents:

- 1) Consum com a residència principal (100% d'ocupació constant)
- 2) Consum de l'habitatge com a segona residència (ocupació parcial només els caps de setmana)
- 3) Consum de l'habitatge com a segona residència mantenint la temperatura de l'habitatge constant.

A partir de les taules que explicarem a continuació, veurem com el principal problema seran els pics de demanda dels dies d'arribada a l'habitatge, degut a l'arrencada de les bombes de calor i fred. Per això s'ha definit la tercera alternativa per poder solucionar els pics de demanda de l'opció anterior. A més, com l'energia provindrà totalment d'energies renovables, encara que la calefacció o refrigeració quedi encesa, no pagarem per aquell consum elèctric.

Aquestes demandes seran calculades per dies, per poder-les comparar al final les unes amb les altres. A més, com la demanda més gran serà en els dies puntuals d'arribada a l'habitatge els caps de setmana (a causa de l'arrencada de les bombes de calor), calcular els consums diaris serà l'opció més precisa per veure els pics de demanda.

Obtenim els consums finals següents en funció del tipus de dia en què ens trobem:

Situació Normal per dia (casa en us)							
Mes	Consums (kWh/dia)						
	Electrodomestics	Il·luminació	Piscina	ACS	Calefacció	Refrigeració	TOTAL
Gener	9,76	2,28	0,00	6,69	27,17	0,00	45,90
Febrer	9,76	2,04	0,00	6,58	19,50	0,00	37,88
Març	9,76	1,83	0,00	6,48	10,90	0,00	28,97
Abril	9,76	1,26	0,00	6,38	2,60	0,00	20,00
Maig	9,76	1,08	0,00	6,06	2,01	0,00	18,91
Juny	9,76	1,29	0,00	5,85	0,00	4,33	21,23
Juliol	9,76	1,31	4,95	5,54	0,00	14,68	36,23
Agost	9,76	1,50	4,95	5,64	0,00	13,75	35,61
Septembre	9,76	1,80	4,95	5,75	0,00	3,64	25,90
Octubre	9,76	1,74	0,00	6,06	0,34	0,00	17,90
Novembre	9,76	2,34	0,00	6,48	9,53	0,00	28,11
Desembre	9,76	2,41	0,00	6,58	25,50	0,00	44,25

*Taula 4.12: Consum de l'habitatge per dia quan la casa està ocupada (Font pròpia).*



Situació Crítica per dia (arrencament)							
Mes	Consums (kWh/dia)						
	Electrodomestics	Il·luminació	Piscina	ACS	Calefacció arr.	Refrigeració arr.	TOTAL
Gener	9,76	2,28	0,00	6,69	36,23	0,00	54,96
Febrer	9,76	2,04	0,00	6,58	26,00	0,00	44,38
Març	9,76	1,83	0,00	6,48	14,54	0,00	32,61
Abril	9,76	1,26	0,00	6,38	3,47	0,00	20,86
Maig	9,76	1,08	0,00	6,06	2,68	0,00	19,59
Juny	9,76	1,29	0,00	5,85	0,00	5,78	22,68
Juliol	9,76	1,31	4,95	5,54	0,00	19,57	41,13
Agost	9,76	1,50	4,95	5,64	0,00	0,00	21,85
Setembre	9,76	1,80	4,95	5,75	0,00	4,85	27,11
Octubre	9,76	1,74	0,00	6,06	0,45	0,00	18,01
Novembre	9,76	2,34	0,00	6,48	12,71	0,00	31,29
Desembre	9,76	2,41	0,00	6,58	34,00	0,00	52,75

*Taula 4.13: Consum d'arrencada de l'habitatge per dia (Font pròpia).*

Consum Passiu per dia (dies de zero consum)							
Mes	Consums (kWh/dia)						
	Electrodomestics	Il·luminació	Piscina	ACS	Calefacció	Refrigeració	TOTAL
Gener	2,31	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	3,81
Febrer	2,31	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	3,81
Març	2,31	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	3,81
Abril	2,31	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	3,81
Maig	2,31	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	3,81
Juny	2,31	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	3,81
Juliol	2,31	0,00	4,95	1,50	0,00	0,00	8,76
Agost	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Setembre	2,31	0,00	4,95	1,50	0,00	0,00	8,76
Octubre	2,31	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	3,81
Novembre	2,31	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	3,81
Desembre	2,31	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	3,81

*Taula 4.14: Consum passiu de l'habitatge per dia (Font pròpia).*

Un cop analitzades les taules, ens adonem que el dia més crític es troba quan la casa no és utilitzada contínuament, és a dir, quan sols l'utilitzem els caps de setmana i hem de posar en marxa les bombes de calor. Ara bé, coneixent totes les demandes en funció del dia i de la situació d'ocupació de la casa, podrem dimensionar de la manera més precisa possible les necessitats energètiques renovables de l'habitatge. Per últim, un cop dimensionades, mirarem quina de les tres alternatives estudiades serà la més rendible a llarg termini.

Al annex, trobarem les taules A.5, A.6 i A.7 amb totes les demandes mensuals totals. Aquestes serviran per comparar amb els resultats obtinguts a l'apartat 6.10 i 6.11.

## 5. DIFERENTS ALTERNATIVES

Els recursos renovables són recursos naturals que es poden obtenir de forma il·limitada. El sol és l'origen de tots aquests recursos degut a la radiació que emet sobre la superfície de la terra creant així, diferències de temperatura al llarg del planeta.

A continuació s'explicaran les dues principals energies utilitzades en el treball que són l'energia fotovoltaica i eòlica, i de més, es parlarà de l'hidrogen com el nou vector energètic per l'autoconsum d'habitatges aïllats. Ara bé, no s'explicaran altres tipus d'energies renovables com ara la geotèrmica, la biomassa o la hidràulica perquè no seran rellevants ni emprats al llarg del treball. Aleshores, preferirem explicar al detall les dues energies usades a més a més d'introduir l'energia del futur.

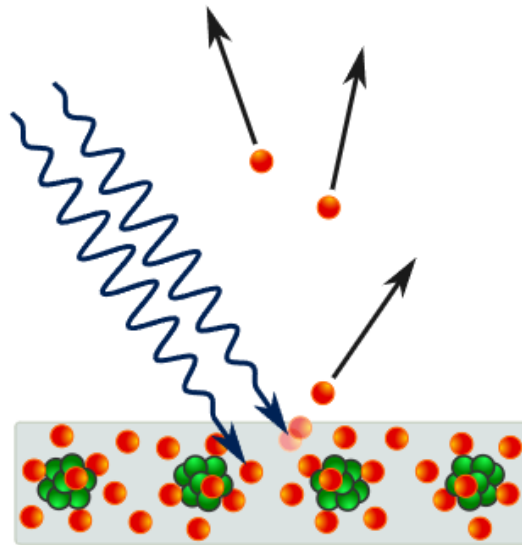
### 5.1. Energia Fotovoltaica

#### 5.1.1. Fonaments

L'energia solar és una energia renovable obtinguda a partir de la radiació electromagnètica del sol. Aquesta energia és convertida en electricitat gràcies a plaques solars o mòduls, que són dispositius construïts a partir de materials semiconductors. El principal semiconductor utilitzat per la confecció de panells solars és el silici, present en al voltant del 90% dels panells solars. Ara bé, per explicar i entendre el funcionament d'aquests panells, començarem per definir que és una cel·la solar, principal component dels panells [41].

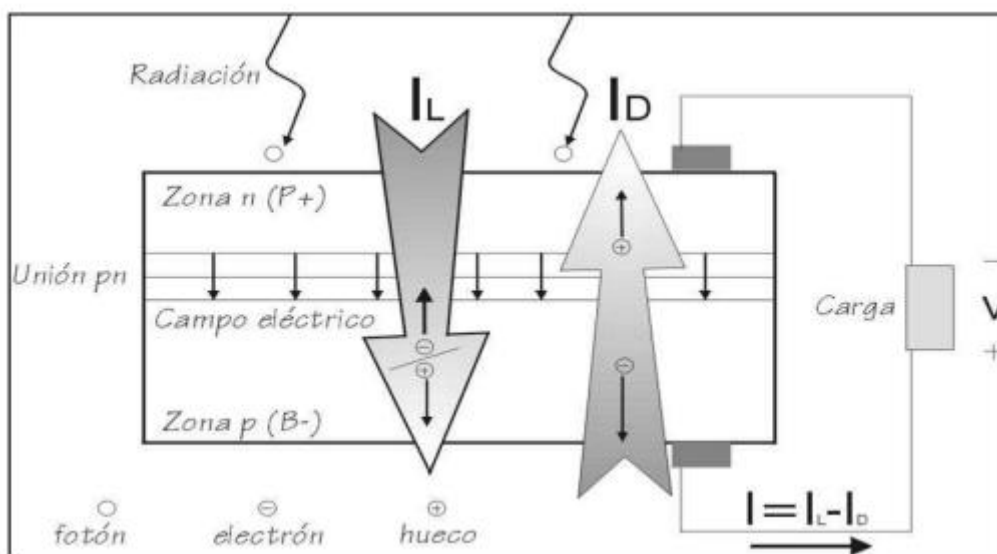
Un panell solar està constituït a partir de petites cel·les solars de silici cristal·lí (o d'altres semiconductors) connectades en sèrie. És gràcies a aquest material semiconductor, que un panell solar és capaç de convertir la llum del sol en electricitat a través de l'efecte fotoelèctric. Normalment, els panells estan constituïts d'entre 60 a 156 cel·les i com a més cel·les, més energia solar el panell serà capaç de convertir.

Els metalls fotoelèctrics són aquells que en l'incidir la llum en ells, s'alliberen electrons dels seus àtoms. Aquests àtoms són alliberats gràcies a la incidència dels fotons de la llum, que cedeixen la seva energia als electrons de l'última capa dels àtoms de silici i trenquen la unió amb el seu àtom, tenint així la llibertat de moure's pel metall. Aquests electrons alliberats seran els responsables de la creació d'energia útil pel consum humà.



*Figura 5.1: Efecte fotoelèctric d'un àtom de Silici (Font: Wikipedia)*

Un cop alliberats els electrons, cal preguntar-se com el panell solar serà capaç de generar electricitat. Posem doncs com a exemple una cella de Silici. Aquest material semiconductor està dotat de 4 electrons de valència que comparteix amb els àtoms veïns, creant així enllaços covalents. Al afegir impureses, com ara el Fòsfor o el Bor, es modificaran les seves propietats conductores, creant forats o deixant anar electrons dels enllaços amb les respectives impureses. Aleshores es distingiran dos tipus diferents de semiconductors dopats (amb impureses): els de tipus N i tipus P. Els de tipus N, seran aquells on introduïrem àtoms amb un electró més de valència que el silici, com per exemple el Fòsfor. Amb cada àtom d'impuresa, apareixerà un electró lliure (carrega negativa). Ara bé, els de tipus P, seran aquells on introduïrem àtoms amb un electró menys de valència que el Silici, com per exemple el Bor. Per cada àtom d'impuresa, apareixerà un forat, és a dir, un àtom de Silici amb un electró sense enllaçar (carrega positiva). Aleshores, a l'unir aquests semiconductors dopats i fer que la llum incideixi sobre el de tipus N, la llum cedirà la seva energia als electrons lliures perquè aquests es desplacin al semiconductor de tipus P per un circuit extern a la cella, generant així un corrent d'arrossegament entre dos punts. També, es crearà un corrent intern de difusió entre ions amb càrregues positives i negatives. El corrent final serà la suma del corrent de difusió amb el corrent d'arrossegament. Com a resum, veiem la figura següent:

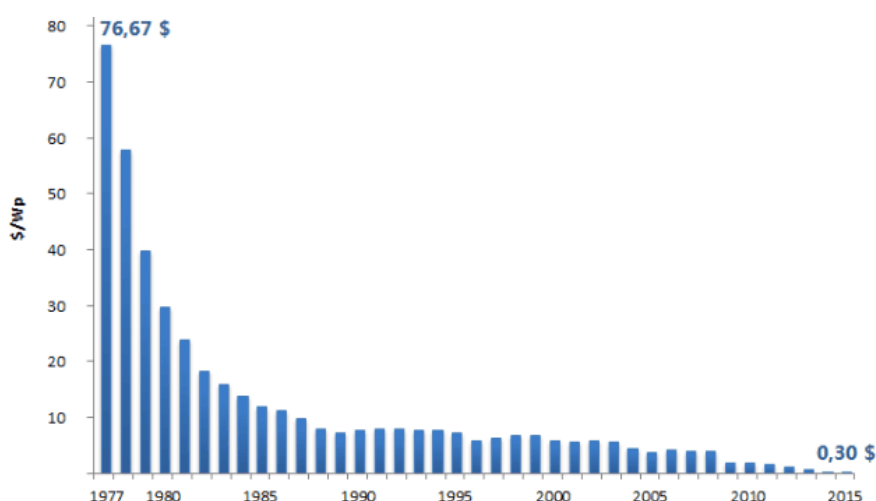


*Figura 5.2: Junció P-N d'una cèl·la fotovoltaica [40].*

### 5.1.2. Evolució

El primer panell solar va ser creat i instal·lat per Charles Fritts en el 1883. A partir d'aquest descobriment, nombrosos estudis i experiments van anar millorant la confecció i els materials emprats per fabricar les cel·les solars.

Al llarg d'aquests últims anys, els preus dels panells solars han disminuït dràsticament degut a les noves tecnologies i a l'augment de demanda a nivell mundial, principalment lliurada per la Xina (70% de la producció mundial). Per il·lustrar aquesta forta disminució dels preus, ens ajudarem de la gràfica següent:



*Figura 5.3: Evolució històrica del preu del \$/W d'un panell solar [42]*

A més, al llarg del temps també s'ha augmentat la potència nominal com l'eficiència dels panells. A partir d'una gràfica de l'empresa Greening-e, podem veure aquesta evolució al llarg del temps:



*Figura 5.4: Evolució històrica de la potència (corba blava) i l'eficiència (corba groga) d'un panell solar [43].*

Amb aquestes dades, comprovem com aquest vector energètic ens aporta una possible solució de descarbonització del planeta. Per consegüent, avui dia la instal·lació de plaques fotovoltaïques s'ha tornat una proposta molt interessant pels habitatges aïllats.

### 5.1.3. Panells fotovoltaïcs

Actualment, existeixen diverses famílies de panells fotovoltaïcs de diferents dimensions, potències nominals i tecnologies. Tots tenen característiques pròpies i en funció de certes variables, són considerats de més o menys qualitat.

Principalment, els tipus de panells es diferencien per les tecnologies utilitzades a l'hora de fabricar-los. Aquestes tecnologies difereixen per la qualitat del Silici amb el qual estan compostes les cèl·lules. Es pot dir que a major puresa del Silici, més transformació d'energia solar a elèctrica obtindrem. Per aquesta raó, el Silici és present en aproximadament el 90% dels panells fotovoltaïcs. Podem distingir tres grans famílies: els panells monocristal·lins, policristal·lins o amorfes [44].

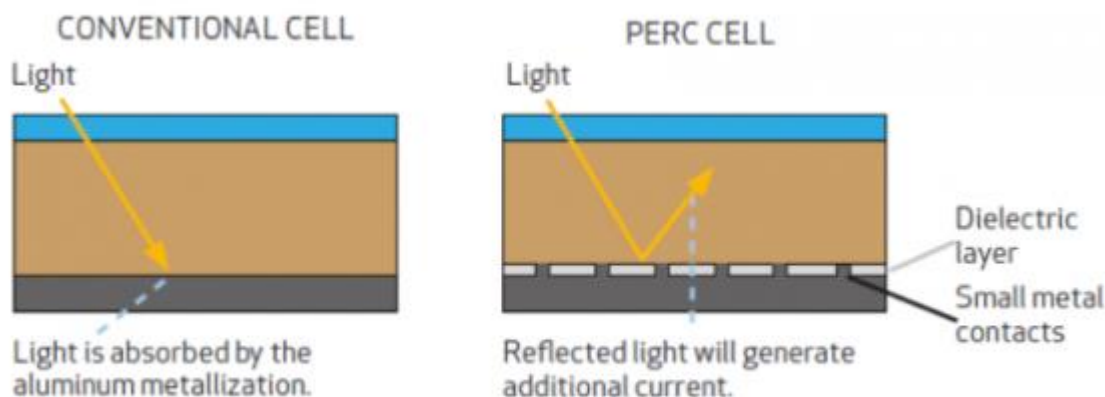
**Celles monocristal·lins:** Aquests són els panells fotovoltaïcs més potents i eficients del mercat, perquè estan dotats del silici més pur. A més, són els que tenen la vida útil més elevada, menys degradació al llarg dels anys i menor reducció del rendiment degut a l'augment de temperatura del panell. Per altra banda desaproveiten molt Silici en el seu procés de confecció, que podria ser utilitzat per fabricar altres panells de menys eficiència.

**Cel·les policristal·lines:** Els policristal·lins també contenen Silici, però no és tan pur ni tant car com l'utilitzat en panells monocristal·lins. La principal conseqüència és la reducció de la seva eficiència i la seva potència per unitat de superfície. Aquesta diferència de qualitat també afecta negativament a la degradació del panell al llarg dels anys i al rendiment a altes temperatures.

**Cel·les amorfes:** Aquest és un panell molt comú en l'àmbit domèstic degut al seu baix cost. Es caracteritza per la baixa qualitat del Silici utilitzat i fins i tot, a la utilització d'altres semiconductors de menor qualitat. A més, com és d'esperar, a menor qualitat menor eficiència, potència per unitat de superfície, major degradació al llarg dels anys i menor rendiment del panell a altes temperatures. Per altra banda, aquests solen ser flexibles i poden ser instal·lats en superfícies lleugerament corbades.

Per altra banda, existeixen altres tecnologies que poden ser implementades en qualsevol de les tres cel·les anunciades anteriorment. Ara bé, aquestes ja no es centren en el grau de puresa del Silici utilitzat sinó en el procés de fabricació del panell. Aquestes són:

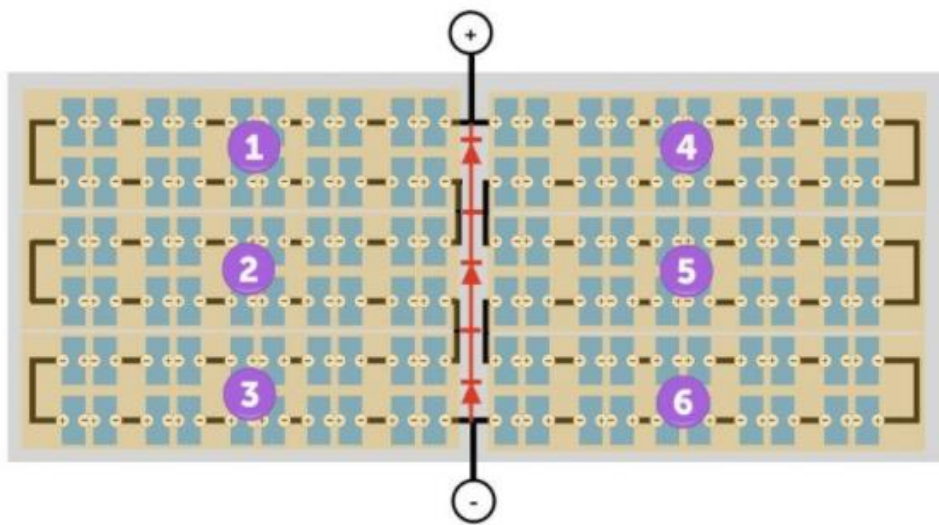
**Tecnologia PERC:** Es tracta d'una tecnologia que ha permès augmentar considerablement l'eficiència dels panells solars tant monocristal·lins com policristal·lins. Consisteix en col·locar una capa reflectant per aprofitar al màxim la radiació absorbida fent que els rajos del sol rebotin i incideixin dos cops dins del Silici. Aquest fet permet augmentar l'eficiència tot mantenint la distribució original del panell i reduir costos.



*Figura 5.5: Esquema mostrant l'efecte de la tecnologia PERC [44]*

**Tecnologia Half-Cut o Half-Cell:** Aquesta tecnologia consisteix en utilitzar panells solars "tallats" per la meitat, situant la caixa de connexions en el centre del panell. Podem distingir en un mateix panell, dues meitats amb el 50% de la capacitat total en cadascuna. La proposta de millora d'aquesta tecnologia es basa en la reducció de la resistència interna

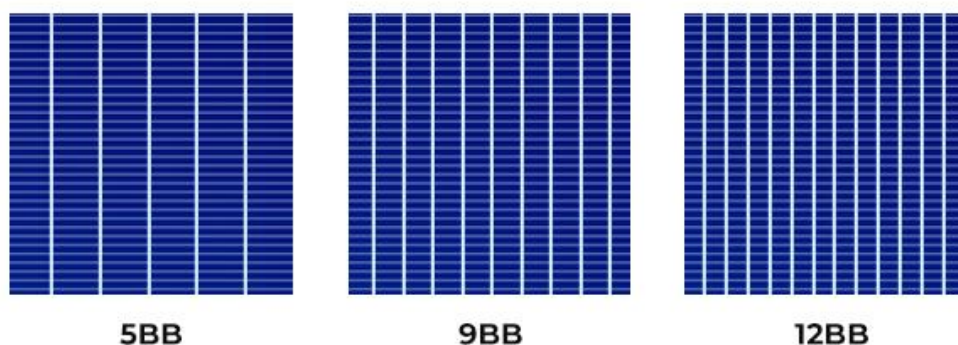
(redueix les pèrdues de corrent pel fet que aquesta és transportada per les pistes conductores metàl·liques) i assegura una producció contínua quan les plaques estan parcialment ombrejades. Cal recordar que si una placa convencional està parcialment ombrejada, aquesta no produirà energia elèctrica perquè la part ombrejada, activarà de manera automàtica el funcionament dels díodes de la caixa de connexions i per lo tant deixarà la placa inhabilitada [45]. Més concretament, quan una placa està ombrejada, aquesta consumeix energia en lloc de produir-la i el díode incorporat s'encarregarà d'evitar aquesta situació. Per aquesta raó, aquesta tecnologia és molt útil en certes circumstàncies. També, hi ha fabricants que a partir d'aquesta eina de millora, han augmentat el nombre de particions dels panells (major a dos).



*Figura 5.6: Esquema de la tecnologia Half-Cut [44]*

**Tecnologia Multi Busbar (MBB):** Es tracta d'una de les tecnologies més efectives per reduir costos i augmentar l'eficiència dels panells solars. Les connexions solars, conegudes com a Bus Bars han anat augmentant al llarg d'aquests últims anys de 2BB a 5BB. Aquest augment de connexions aconsegueix reduir la distància de conducció del corrent en les connexions, fet que redueix les pèrdues de resistència i millora considerablement l'eficiència de la cèl·lula. A més, aconsegueix que les cel·les siguin menys propenses a esquerdar-se i a patir microesquerdes i ruptures de connexions, el que garanteix una vida útil més llarga.





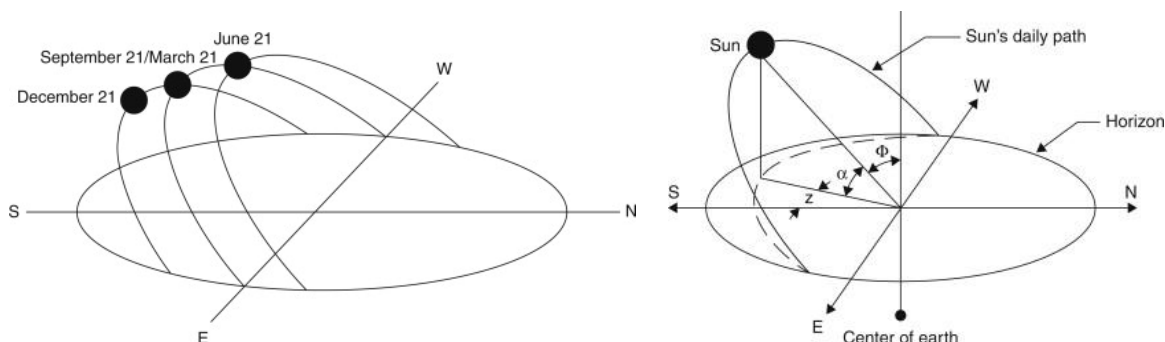
*Figura 5.7: Comparació de diferents Bus Bars [44]*

D'altra banda, les dimensions d'un panell solar també determinaran el nombre de cel·les fotovoltaïques que pugui contenir. En l'àmbit residencial, els panells que podem comprar oscil·len entre els 285 W i 400 W per cel·les de mida estàndard (1 m x 1,7 m) i cel·les de 350 W a 490 W per cel·les de mides grans (1 m x 2 m). Ara bé, per les indústries existeixen panells que arriben als 680 W però de dimensions més elevades.

#### 5.1.4. Dimensionament

En aquest apartat, s'explicarà com dimensionar una instal·lació fotovoltaica en un habitatge qualsevol de manera senzilla. No entrarem massa en detall, ja que com veure més endavant, els càlculs finals seran realitzats i calculats amb l'eina HOMER.

Primerament, hem de tenir molt en compte l'orientació, els possibles angles d'inclinació dels panells i les possibles ombres que podrien afectar els nostres panells. Per orientar bé els panells, hem de saber que el recorregut del sol és d'est a oest amb una certa inclinació, diferent per totes les èpoques de l'any, cap al Sud. Per consegüent, ens convindrà situar els nostres panells en la façana sud del nostre habitatge. També, haurem de tenir en compte l'angle d'azimut ("Z"), que indica a quants graus es troba al sol amb referència al Sud. Aquest concepte es veurà més clar amb els croquis següents:



*Figura 5.8: Croquis de les diferents inclinacions del sol i dels diferents angles a considerar*



En el cas del nostre habitatge, l'angle d'azimut serà igual a 0°, pel fet que la construcció ha estat perfectament construïda respectant els quatre punts cardinals. A més, pel que fa la inclinació dels panells, gràcies a l'eina PVGIS (Photovoltaic geographical Information System) de la Unió Europea, considerarem que l'angle òptim serà igual a 39° prenent el terra com a referència. I per últim, com hem explicat en apartats anteriors, serà molt important evitar possibles ombres sobre els panells, ja que aquestes pararien la producció de les cel·les fotovoltaïques.

De forma senzilla, per calcular la potència necessària per proveir l'energia a l'habitatge, utilitzarem l'equació següent:

$$\text{Consum diari} = W_p \cdot H_{sp} \cdot \eta \quad (5.1)$$

*Consum diari en kWh/dia*

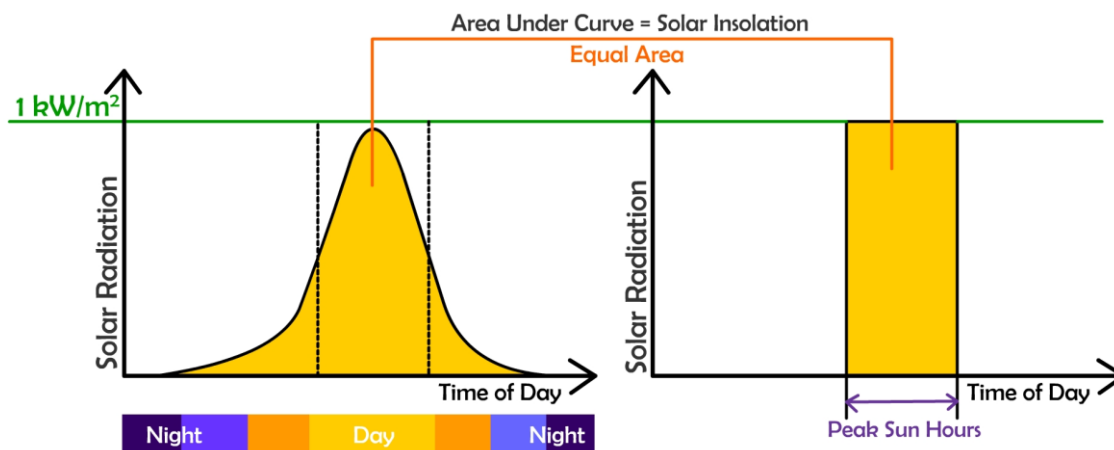
*$W_p$  = Potència màxima dels panells (kW)*

*$H_{sp}$  = Hores de sol "pic"*

*$\eta$  = rendiment del panell  $\approx 0,8 - 0,9$*

D'aquí es podrà calcular el nombre de panells necessaris per a l'habitatge. Ara bé, aquest nombre dependrà de la potència dels panells que vulguem comprar. Si per exemple comprem panells de 200 W, necessitarem més panells que si els comprem de 400 W, però a la vegada aquests últims seran més cars.

D'altra banda, les hores de sol "pic" es definiran com el nombre d'hores de sol necessàries corresponents a una irradiància fictícia de 1000 W/m<sup>2</sup>. És important subratllar que gràcies a considerar aquest valor, podem introduir el terme de potència "màxima", perquè es considerarà que amb aquesta radiació, els panells treballant a màxima potència. Aquesta manera de mesurar la irradiació és molt comuna i s'utilitza regularment en les fitxes tècniques per demostrar els rendiments i eficàcies dels panells.



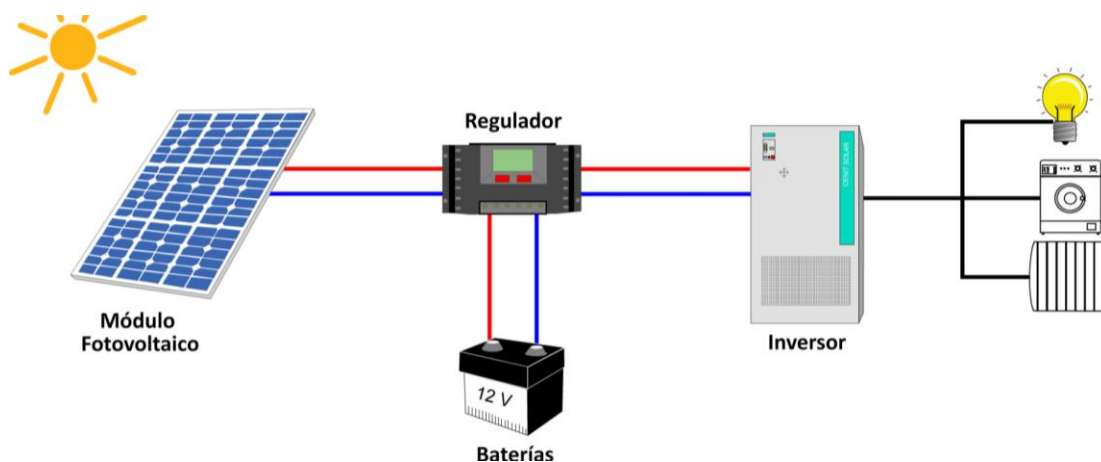
*Figura 5.9: Hores de sol “pic” d’un dia [46]*

### 5.1.5. Instal·lació connectada o aïllada de la xarxa

A l'hora de dimensionar una instal·lació, també és important tenir en compte les dues possibilitats a triar, és a dir, ser independent o no de la xarxa elèctrica.

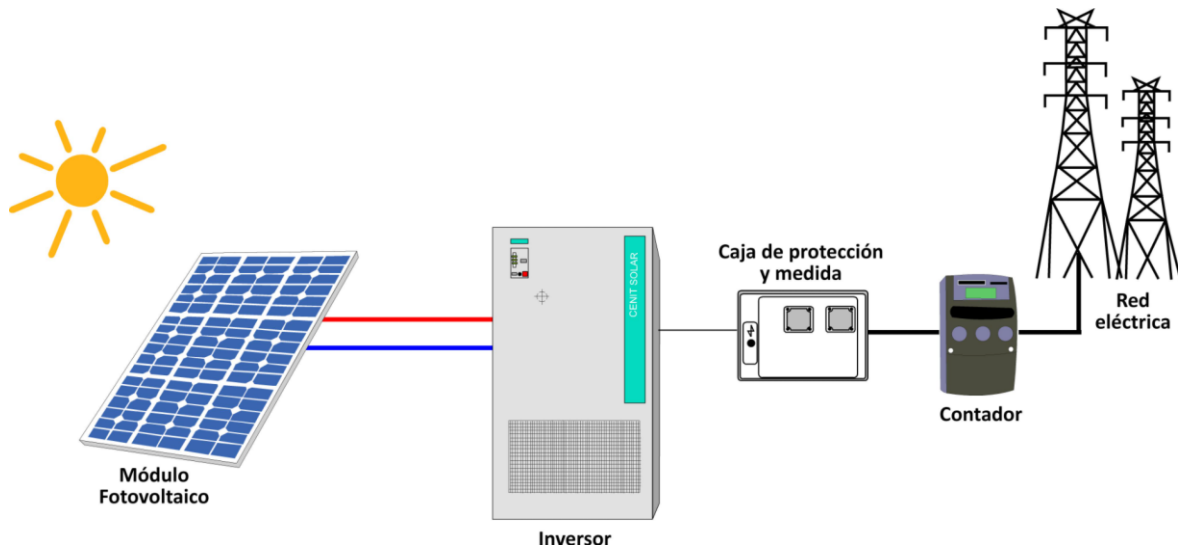
En termes generals, la gran diferència entre les dues opcions és que en el primer cas (independent de la xarxa), al no estar connectat a la xarxa significarà haver de dependre d'un sistema d'emmagatzemament. A més, sabent que ni el consum d'energia renovable ni la producció d'aquesta és lineal, un bon sistema de bateries serà essencial per subministrar energia en els pics de demanda de l'habitatge. I no hem d'oblidar, que la generació d'energia només serà possible durant les hores de sol.

Així mateix, un habitatge aïllat necessitarà no sols plaques solars, sinó també un inversor, que tindrà com a funció transformar l'energia CC dels panells a AC. També necessitarà bateries pel consum domèstic i d'un regulador de càrrega. Aquest serà l'esquema a seguir:



*Figura 5.10: Esquema d'un sistema aïllat basat en panells solars [47]*

Per contra, en el cas d'estar connectats a la xarxa, no necessitem cap mena d'emmagatzemament per l'energia generada pels panells. L'energia generada durant el dia serà directament convertida en AC i subministrada a l'habitatge (si la necessita) o la xarxa. En aquest últim cas, si alimentem la xarxa amb la nostra energia, aquesta ens serà compensada en la factura elèctrica. Aleshores, en les hores de producció, utilitzarem els panells solars com a font d'energia i durant la nit, importarem l'energia de la xarxa. La clau estarà en trobar un equilibri per generar tant com consumim. L'esquema d'aquesta instal·lació serà el següent:



*Figura 5.11: Esquema d'un sistema no aïllat basat en panells solars [48]*

## 5.2. Eòlica

### 5.2.1. Fonaments

Totes les fonts d'energies renovables (excepte la mareomotriu i la geotèrmica), i inclús l'energia dels combustibles fòssils, provenen del sol. El sol irradia 174.423.000.000.000 kWh d'energia per hora cap a la terra i un 1% a 2% d'aquesta energia és convertida en energia eòlica. Ara bé, el moviment bàsic de l'aire es divideix en dos tipus: la circulació local i la circulació mundial [49].

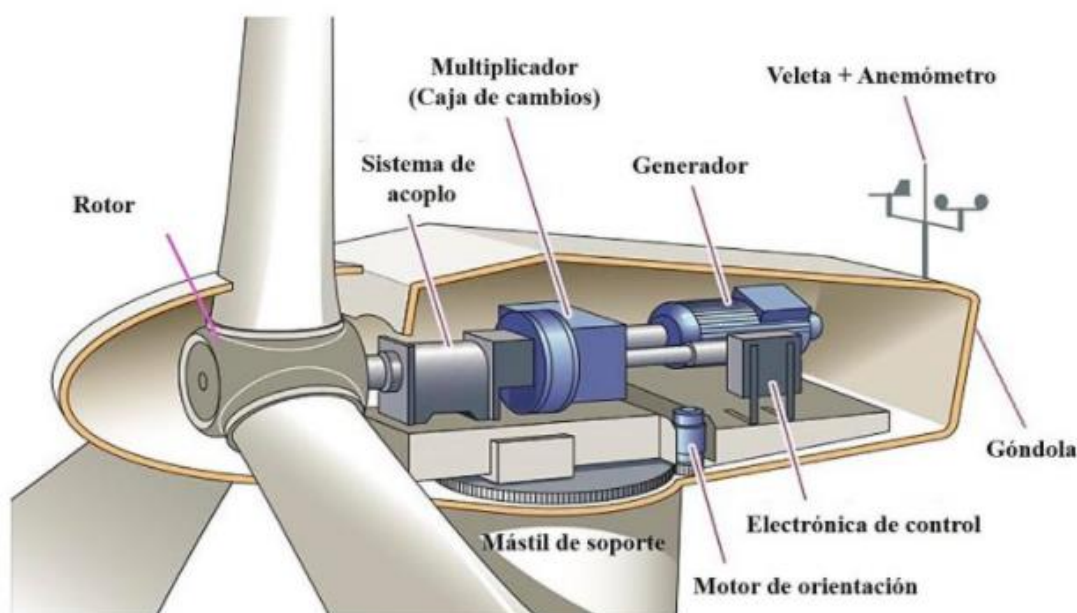
Pel que fa la circulació local, la irradiació provoca l'escalfament de la superfície de la terra. Tanmateix, els diferents materials que componen la superfície no absorbeixen de la mateixa velocitat aquesta energia, com ara la terra i el mar. Aleshores aquest escalfament desigual produirà zones d'alta i baixa pressió que provocarà el moviment de l'aire. Per exemple, durant un dia solejat, la terra és calenta més ràpidament que el mar, provocant que el vent flueixi des del mar cap a les costes. Per consegüent, durant la nit es produirà l'efecte

contrari.

D'altra banda, la circulació a escala mundial es basa en l'efecte de Coriolis. La irradiació provocada pel sol varia en funció de la ubicació on ens trobem, creant unes diferències de temperatura al llarg del planeta. En les regions al voltant de l'equador, a  $0^\circ$  de latitud, són molt més calentes que les altres zones del planeta al estar més a prop del sol. Ara bé, al escalfar l'aire, la seva densitat disminuirà i s'elevàrà al voltant de 10 km per sobre la superfície, sense provocar cap mena de vent. La circulació del vent en el planeta serà influïda per l'efecte de Coriolis, gràcies a la rotació del planeta. La rotació serà doncs l'encarregada de crear el vent que bufa del nord-oest al sud-oest en l'hemisferi nord i de sud-oest a nord-oest en l'hemisferi sud. Una vegada aquesta massa d'aire calent arriba a l'equador, al baixar es desplaça com una font de nord a sud, unint-se als corrents de les cèl·lules Hadley i tornar a començar la rotació novament.

No entrarem més en detall, degut a la complexitat dels moviments d'aire del planeta. Ara bé, ens centrarem en analitzar com es genera el vent amb una turbina eòlica.

Podem veure el funcionament d'una turbina a partir del següent esquema:



*Figura 5.12: Esquema d'una turbina eòlica [50].*

Tal i com es descriu a la imatge, un aerogenerador està compost de: un rotor, un sistema d'acoblament, una caixa de canvis, un generador, un motor d'orientació i un penell ("veleta") amb anemòmetre. Veiem ara com funcionen cadascun d'aquests components.

**Rotor:** És l'encarregat de transformar l'energia eòlica amb energia mecànica de rotació. El

seu disseny és molt important per aconseguir que hi hagi un cert gir encara que hi hagi poc vent. També, fan falta unes pales adequades a la capacitat de gir del rotor que s'hauran de dissenyar de manera que garanteixin un bon funcionament.

**Sistema d'acoblament:** És l'encarregat d'adaptar el moviment de la rotació de les pales al del rotor del generador d'energia elèctrica al qual s'acobla.

**Caixa de canvis:** Una caixa de canvis és necessària degut a que les velocitats habituals del vent (entre 25 i 100 km/h), proporcionen una velocitat de gir al voltant de 40 rpm. Ara bé, perquè el rotor del generador generi electricitat, aquest haurà de girar a unes 1500 rpm. Per lo tant serà molt important tenir una caixa de canvis capaç de, a partir d'un joc d'engranatges, fer girar el rotor del generador a una velocitat adequada. Normalment, també incorpora un fre que fos capaç de frenar el gir del rotor en presència de vents molt forts, normalment majors a 25 m/s.

**Generador:** Aquest és un conjunt rotor-estator que genera energia elèctrica. La potència d'aquest dependrà de la quantitat d'energia que vulguem produir. Com més potent, més car i de majors dimensions.

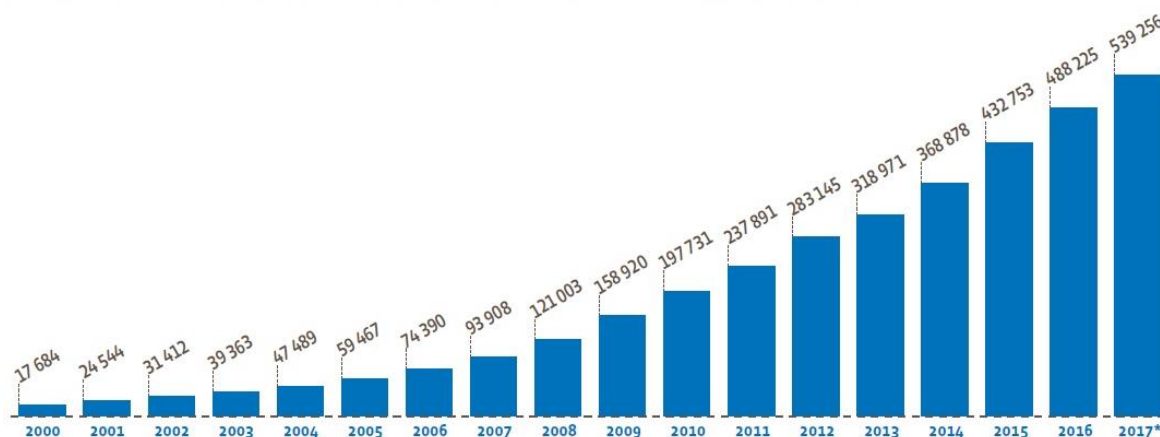
**Motor d'orientació:** És l'encarregat de permetre el gir del conjunt per situar les pales de cara a la direcció del vent.

**Penell amb anemòmetre:** Aquest dispositiu està situat en la part del darrere de la turbina i serveix per determinar l'orientació i la velocitat del vent. Aquestes dades actuaran sobre el mecanisme gràcies a un controlador automàtic.

### 5.2.2. Evolució

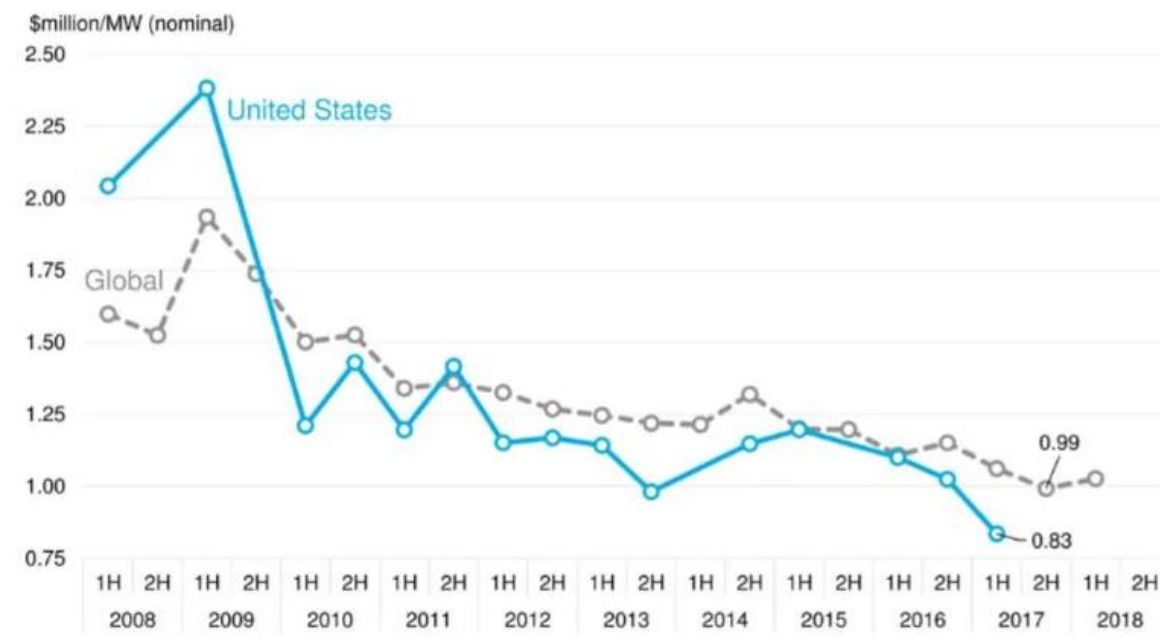
Avui dia, l'energia eòlica ja ha guanyat la guerra al carbó, al gas natural i a la nuclear. És més barata, neta, saludable i rendible per cada megawatt instal·lat que posar en marxa un cycle combinat o una central nuclear.

Al llarg d'aquests últims vint anys, com hem vist amb l'energia solar, la creixent demanda i les noves tecnologies lligades al desig de descarbonitzar el planeta, han convertit l'energia eòlica en una energia molt utilitzada i que pretén ser una de les principals fonts d'energia al món. En el gràfic següent podem veure com la seva potència ha anat augmentant progressivament:



*Figura 5.13: Evolució històrica de la potència eòlica acumulada en el món en MW [51]*

D'altra banda, els alts preus dels aerogeneradors han dificultat la instal·lació de la energia eòlica. Això no obstant, la seva corba de costos per MW instal·lat també ha anat disminuint al llarg dels anys, no tant dràsticament com la de l'energia solar, però el suficient per fer aquesta energia molt més accessible. A partir del 2017, el preu d'un aerogenerador a nivell mundial ha baixat del milió de dòlars per MW, encara que hi ha països que han aconseguit reduir encara més aquest cost. En el gràfic següent, podem veure un gràfic il·lustrant aquesta baixada de preus.



*Figura 5.14: Evolució històrica de la dels preus de les turbines eòliques en M\$ per MW [52].*

I a banda de que el cost d'aquesta energia hagi disminuït al llarg dels anys, la seva aplicació a l'àmbit residencial no és significativa ja que encara surt molt car instal·lar turbines eòliques.

No obstant, tot depèn d'on estigui el nostre cas d'estudi. En el nostre cas, a l'estar en un país en la zona Sud d'Europa, l'energia eòlica tindrà poc pes comparat a la solar. Ara bé, si estiguéssim en un país nòrdic, clarament seria molt més interessant instal·lar-hi turbines eòliques degut a la gran quantitat de vent constant i la poca radiació que reben durant l'any.

### 5.2.3. Dimensionament

Pel que fa al dimensionament d'un sistema de generació d'electricitat basat en aerogeneradors, veurem quin és el procediment a seguir per conèixer el número turbines necessàries.

Primerament, caldrà verificar quines són les condicions climàtiques de la zona a estudiar, és a dir, les diferents velocitats del vent en funció de l'època de l'any. Pel recurs eòlic, serà molt important ser capaç de descriure la variació d'aquestes velocitats. Per això, utilitzarem una distribució de probabilitat: la distribució de Weibull o de Raileigh si considerem un factor de forma "k" igual a 2.

Ara bé, quin és el contingut energètic del vent, quina és la seva potència? Aquest valor variarà proporcionalment al cub de la velocitat del vent i proporcionalment a la densitat de l'aire [53]. La potència expressada en Watts es calcularà com:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u^3 \cdot A \quad (5.2)$$

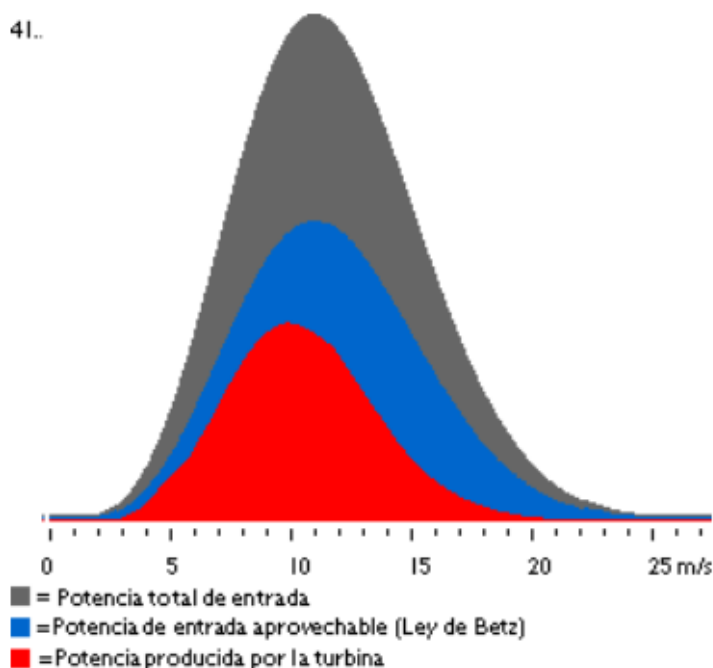
$\rho$  = densitat del aire en  $kg/m^3$

$u$  = velocitat del vent en  $m/s$

$A$  = area d'escombrada de les pales en  $m^2$

Si combinem tot el que hem explicat anteriorment, obtindrem la distribució d'energia eòlica per diferents velocitats del vent. És a dir, si multipliquem la potència de cada velocitat del vent amb la probabilitat de cada velocitat del vent de la distribució de Weibull, obtindrem aquesta distribució. Aquesta distribució té el nom de: densitat de potència.





*Figura 5.15: Corba de la densitat de potència d'una turbina [54].*

Aquí podem veure com l'àrea per sota de la corba grisa corresponent a la potència total d'entrada generada pel vent, i ens dona la quantitat de potència eòlica per metre quadrat de flux del vent que podem esperar obtenir en una localització concreta. Pel que fa l'àrea blava, aquesta representa la potència aprofitable segons la llei de Betz, que dicta que una turbina no pot convertir més del 59% de l'energia cinètica en energia mecànica. I la corba vermella, com és d'esperar, determina la potència real aprofitada per les pales del rotor. Aquesta corba és diferent per cada aerogenerador del mercat.

Aleshores, si sabem la mitjana de les velocitats del vent per cada hora al llarg d'un dia, podrem conèixer l'energia proporcionada per la turbina que tinguem a partir de la corba de la densitat de potència:

$$E = \sum \text{Potències} \quad (5.3)$$

*E = energia produïda en KWh/dia*

A partir d'aquest càlcul podrem esbrinar si una turbina serà capaç o no de subministrar l'energia necessària per al nostre habitatge. S'ha de tenir clar, que encara que el càlcul s'hagi ajustat a una distribució de probabilitats, aquest mai serà precís degut a que l'energia eòlica és una energia renovable molt variable. Per consegüent, haurèm d'aplicar-hi un factor de seguretat de l'ordre del 30 al 50% per estar segurs que sempre obtindrem l'energia necessària.



## 5.3. Hidrogen

Fa dècades que se sap que l'hidrogen serà una solució molt bona per disposar de combustible net en el futur. Tots els invents anteriors a la dècada del 2020 per implementar aquest combustible van fracassar, a causa de l'abundància de les reserves de petroli, els baixos costos dels combustibles fòssils i l'evolució del vehicle elèctric.

Actualment estem vivint una transició cap a una era de gasos energètics sostenibles i es preveu que durant la segona meitat del segle XXI, el seu consum superarà tant el carbó com al petroli, i, a finals del XXI el metà i l'hidrogen hauran consolidat, més d'un 75% del mercat energètic mundial.

### 5.3.1. Nou vector energètic

L'hidrogen és l'element químic més simple i petit que existeix, i està format per un sol protó i un sol electró. Degut a la seva simplicitat estructural, aquest és l'element més abundant de l'univers, present en gran part en les estrelles i els planetes gasosos [55].

Ara bé, al contrari del que podríem esperar, en el nostre planeta no el trobem de forma lliure, sinó que aquest element es troba combinat dins d'altres molècules com ara l'aigua o d'altres molècules orgàniques. Per consegüent, l'energia de l'hidrogen que es pretén utilitzar provindrà de l'aigua, element molt abundant al llarg del nostre planeta.

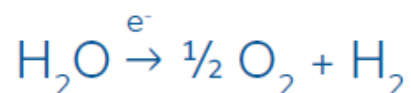
En condicions normals, l'hidrogen es troba en forma de  $H_2$ . Aquesta molècula té un alt valor energètic per unitat de massa (densitat d'energia), molt més que d'altres combustibles tradicionals com el gas natural. També, és un combustible molt més lleuger i té una densitat de tan sols  $0,09 \text{ kg/m}^3$ . Per consegüent, no permet emmagatzemar una quantitat massiva important en un volum raonable.

Encara que les propietats fisicoquímiques de l'hidrogen no són les ideals per la seva incorporació simple i directe i de forma massiva, els beneficis potencials que podria aportar en la nostra economia són el prou importants per a tenir aquesta solució en compte. Aquests avantatges seran els següents, sempre que es tinguin en compte les mesures de seguretat necessàries:

- És l'únic combustible que no genera diòxid de carboni durant la seva utilització, ja que la seva combustió únicament produeix aigua.
- Les reserves són inesgotables, pel fet que és un combustible renovable que prové de l'aigua.

- Es pot emmagatzemar físicament de forma relativament senzilla, com a gas pressuritzat o com a líquid.

Anem doncs a explicar, la reacció amb la qual s'obté aquest hidrogen renovable. L'electròlisi de l'aigua és l'eina més utilitzada per generar aquest gas, mitjançant l'aplicació d'un voltatge i un corrent continu. D'aquesta manera les molècules d'aigua es dissocien en hidrogen i oxigen, que s'alliberen en estat gasos. Per tant un electrolitzador és un dispositiu electroquímic que converteix l'energia elèctrica en energia química i en alguns casos, també amb energia tèrmica. La reacció bàsica de l'electròlisi de l'aigua serà la següent:

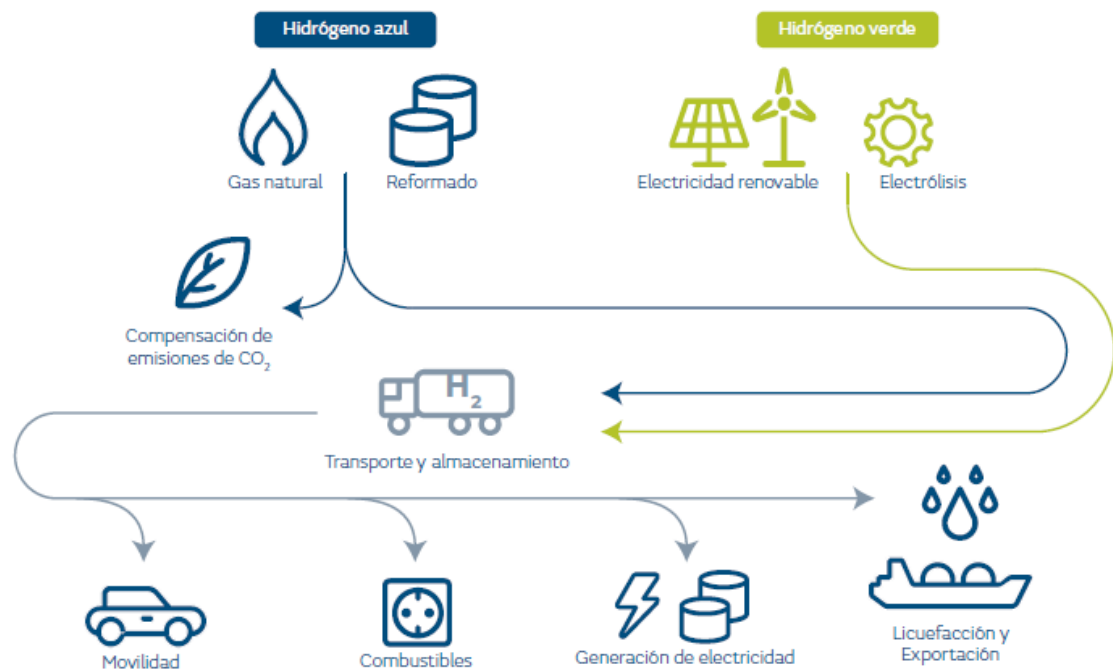


*Figura 5.16: Reacció bàsica de l'electròlisi de l'aigua [55]*

### 5.3.2. Hidrogen gris, blau i verd

Actualment, els diferents processos de producció d'hidrogen s'han qualificat amb tres colors diferents: el gris, el blau i el verd. L'hidrogen gris es refereix a la producció a partir de combustibles fòssils com ara el gas natural, que emet diòxid de carboni a l'atmosfera. El terme blau s'utilitza normalment per la producció a partir de combustibles fòssils, gestionant les emissions de carboni mitjançant l'ús de tecnologies de captura d'aquest gas o d'altres formes de compensació. El terme "verd" s'aplica a la producció generalment a partir de l'aigua, tal com hem vist en el paràgraf anterior. Per últim, l'energia per fer que l'electròlisi funcioni, haurà de provenir de fonts renovables com ara l'eòlica o la solar. També, a part aquests tres colors, existeixen els termes de producció d'hidrogen "marro" o "negre" per referir-se a la producció d'hidrogen a partir de carbó.

Tanmateix, actualment la producció mundial d'hidrogen és d'aproximadament 70 Mt, de les quals el 99% és gris (incloent-hi el marro) i genera unes emissions anuals de 830 MtCO<sub>2</sub>. Per arribar als objectius de descarbonització del 2050, si emprem aquesta tecnologia, el món haurà de fer un gran pas cap a la transició energètica de l'hidrogen blau o verd.



*Figura 5.17: Fuentes i mètodes d'obtenció de l'hidrogen [55]*

Per consegüent, en aquesta figura 5.17 veiem quines són les dues rutes de producció d'hidrogen: el blau a partir de gas natural, sense emissions associades, i el verd a partir de l'electròlisi. Els dos tipus d'hidrogen es transportaran fins a l'usuari final mitjançant la infraestructura del gas natural, específica per l'hidrogen, o a través del transport marítim o terrestre.

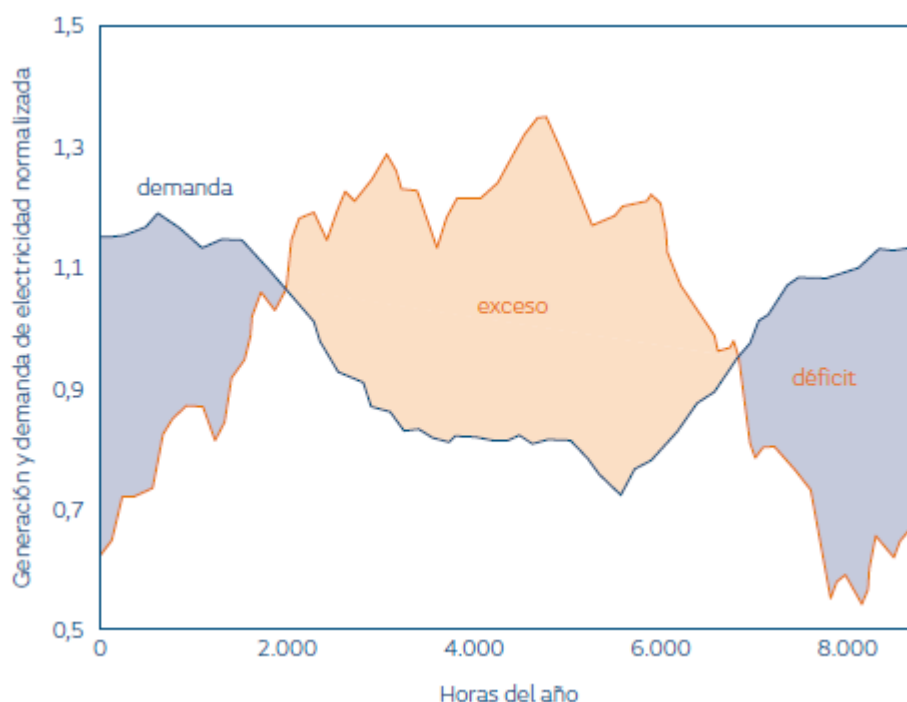
Per últim, una hipotètica transformació energètica de l'habitatge a partir de l'hidrogen es faria a partir de l'electròlisi usant l'energia provinent de fonts renovables. Per lo tant, obtindríem un combustible totalment net, que podríem emmagatzemar on volguéssim per quan fes falta.

### 5.3.3. Emmagatzemament i distribució

L'emmagatzemament d'energia és un element molt important per proporcionar flexibilitat en la distribució de l'electricitat i en la integració de les energies renovables en el sistema. Tanmateix, tenir la possibilitat d'emmagatzemar energia durant un període de sobreproducció d'energia renovable, i utilitzar-la durant els períodes de dèficit, anul·la la necessitat d'una generació d'energia puntual (vist en l'apartat 2.2) basada en combustibles fòssils.

El principal avantatge a l'hora d'emmagatzemar aquest gas, és la seva capacitat de ser utilitzat en el futur, sense haver d'emetre cap molècula de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera. Es preveu que aquest emmagatzematge, serà clau per les èpoques de més demanda com per exemple a l'hivern, ja que si durant l'estiu es genera hidrogen de forma ininterrompuda, aquest es

podria emmagatzemar per ser utilitzat més endavant sense haver d'engegar les centrals tèrmiques de cicle combinat.



*Figura 5.18: Generació i demanda elèctrica al llarg d'un any, utilitzant panells solars [55].*

En aquesta figura, la línia taronja representa l'energia solar generada al llarg d'un any i la línia blava representa la demanda d'electricitat. Aleshores ens adonem com l'emmagatzematge de l'hidrogen podria jugar un paper clau en la generació elèctrica fotovoltaica, guardant els excedents generats a l'estiu per ser utilitzats durant l'hivern.

Avui dia existeixen diverses formes d'emmagatzemar l'hidrogen, però només explicarem per sobre la tecnologia que ens interessarà per un habitatge rural. Parlarem doncs dels tancs d'hidrogen comprimits que consisteixen en inserir el gas a altres pressions (entre 350 i 700 bar) en unes bombones similars a les del gas natural, però fabricades amb materials totalment diferents. Normalment, l'hidrogen s'emmagatzema a temperatura ambient i la seva pressió interna dependrà dels materials de construcció emprats.

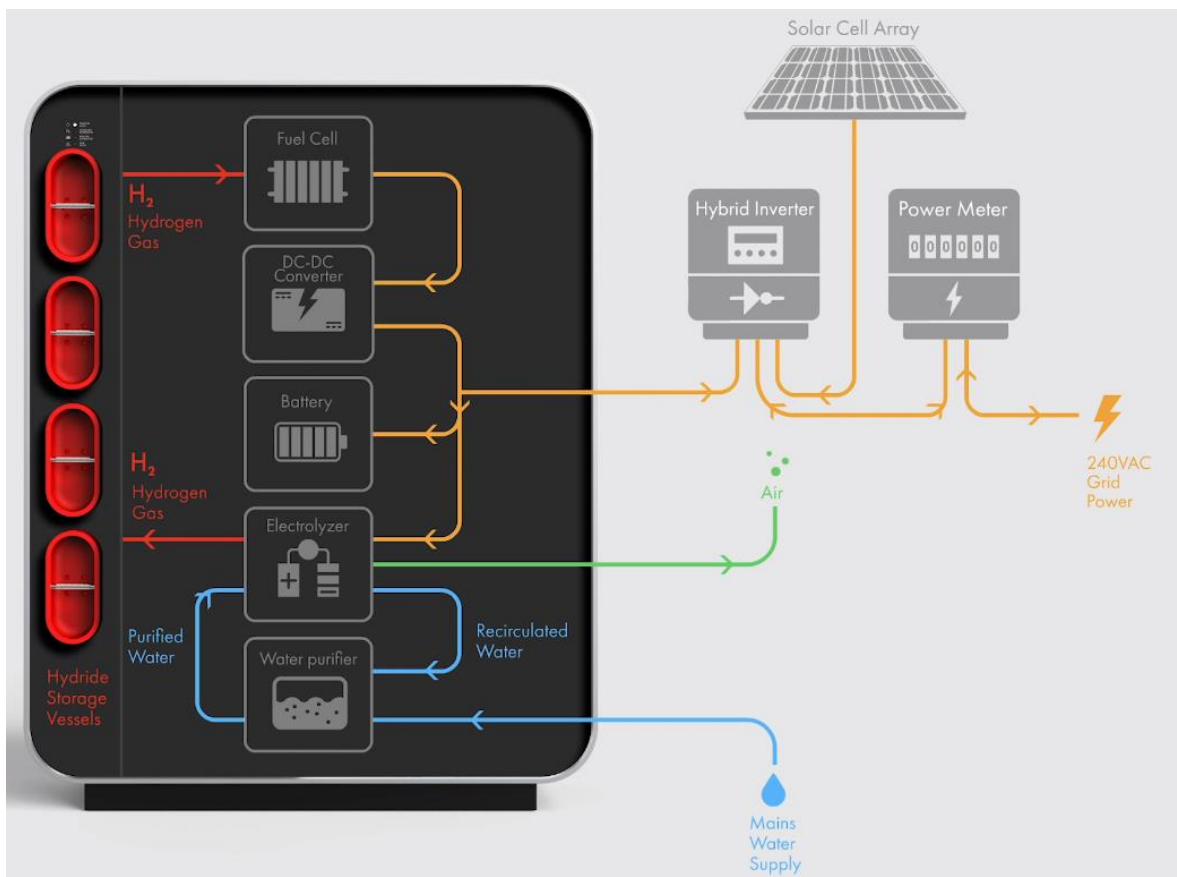
#### 5.3.4. Dimensionament

Per explicar la hipotètica implementació d'aquesta tecnologia en l'habitatge, explicarem com funciona una de les primeres bateries d'hidrogen domestica comercialitzada a nivell mundial, anomenada LAVO™ System [56]. Aquesta bateria va començar a ser venuda a finals d'octubre del 2020, com a alternativa energètica pels habitatges de tota Austràlia. Actualment, la seva tecnologia es comercialitza al llarg del món i tenen l'ambició de crear

diferents bateries d'hidrogen a mida, per múltiples rangs de demanda elèctrica dels habitatges.

Per tant, avui dia aquesta empresa sols comercialitza una sola pila de combustible que és capaç d'emmagatzemar 40 kWh d'energia en forma d'hidrogen gasos. Aquesta té un preu de 22.005 €, però tal com l'empresa ha anunciat recentment, pels pròxims dos anys 2022 i 2023, el seu preu disminuirà a 18.650 €. Al només oferir i fabricar 2500 bateries d'hidrogen per any, de cara a aquest 2022, ja s'han reservat totes les unitats.

Pel que fa al procés de generació d'hidrogen per electròlisi, és eficient en un 80%, per la qual cosa ja s'està perdent un 20% de l'energia al moment. A més, se sap que es perd la meitat del que s'ha emmagatzemat en el procés de conversió de l'hidrogen en energia a través de la pila de combustible. Ara bé, per suplir aquestes pèrdues, només farà falta sobredimensionar (una mica) la instal·lació renovable. Cal recordar també, que la generació d'hidrogen només es farà quan hi haguí un excés en la generació d'energia renovable. Per tant, amb una bona instal·lació, no hi hauria perquè haver-hi problemes. Ara veurem, quins són els components necessaris per construir una bateria d'hidrogen:



*Figura 5.19: esquema de la bateria d'hidrogen LAVO [56]*

Un cop vist aquest esquema, explicarem com funcionen tots els components d'aquesta bateria d'hidrogen. Els components necessaris seran els següents:

**Pila de combustible (“Fuel Cell”)**: La pila de combustible s'utilitza per convertir energia emmagatzemada en forma d'hidrogen en energia elèctrica. Aquesta energia s'allibera combinant l'hidrogen gasificat amb oxigen de l'aire, per finalment formar aigua.

**Convertidor CC-CC (“DC-DC Converter”)**: S'utilitza un sistema de conversió d'energia per regular la sortida elèctrica de la pila de combustible perquè aquesta normalment és variable. Aleshores el convertidor CC-CC regula aquest valor variable perquè coincideixi amb el voltatge esperat a l'entrada de l'inversor híbrid (normalment CC-CA).

**Bateria (“Battery”)**: El sistema LAVO també inclou petites bateries d'ions de liti tradicionals per obtenir una resposta ràpida a l'hora de necessitar energia. Normalment, la transformació d'hidrogen a electricitat no és immediata. Per tant, aquestes bateries seran molt importants per subministrar energia immediatament quan es necessiti.

**Electrolitzador (“Electrolyser”)**: Com hem explicat anteriorment, l'electrolitzador converteix l'excés d'electricitat generada per les energies renovables a hidrogen. Aleshores, aquest hidrogen serà emmagatzemat per cobrir els pics de consum de l'habitatge.

**Purificador d'aigua (“Water Purifier”)**: L'electrolitzador requereix aigua desmineralitzada per funcionar correctament. Aquest purificador, tracta l'aigua entrant (aigua de l'aixeta) perquè aquest sistema pugui funcionar amb qualsevol xarxa d'aigua en l'àmbit mundial.

**Bombones d'hidrogen (“Hydride Storage Vessels”)**: Per últim, aquestes bombones seran els recipients on l'hidrogen serà emmagatzemat. Estan fetes d'un aliatge metàl·lic que emmagatzema i regula l'hidrogen a una pressió de 30 bar<sub>g</sub>. També són 100% reciclables i tenen una durabilitat superior a 20.000 cicles de recàrrega.

Un desavantatge d'aquest sistema és que en el preu final no s'inclou ni l'inversor híbrid ni els panells solars. Per tant, encara sent un sistema pioner, serà massa car per ser instal·lat en un habitatge. Com veurem més endavant, els preus dels components renovables com ara els panells solars o els aerogeneradors no són gens econòmics. En conseqüència, si hem de sumar 18,650 € a la nostra inversió, el pressupost final serà massa elevat i es tornarà impossible implementar un sistema elèctric renovable que sigui econòmicament viable.

## 6. HOMER®

Un cop vistes les diferents alternatives d'energies renovables, ens centrarem en calcular les necessitats per proveir l'energia necessària a l'habitatge. Per dur a terme aquesta tasca, s'ha optat per utilitzar el software HOMER® (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources). Aquest software és conegut a nivell mundial i és fa servir per optimitzar el disseny de subministrament energètic de tota mena d'instal·lacions. El desenvolupament originàriament es va fer en el Laboratori Nacional de l'Energia Renovable i finalment va ser millorat i distribuït per HOMER Energy.

Aquest software ens ajudarà a simular i avaluar diferents dissenys, a partir de moltíssimes variables que calculades a mà no ens donaria uns resultats tan precisos. A més, aquesta eina està programada per dissenyar projectes a partir d'energies renovables orientades a sistemes híbrids, és a dir, compostos de més d'una energia renovable.

D'altra banda, aquesta eina de càlcul ha estat dissenyada no només per dimensionar una instal·lació elèctrica renovable, sinó també per calcular tots els costos i rendiments a llarg termini de la instal·lació. Amb aquest programa podrem obtenir els resultats finals del nostre projecte i comparar les diferents alternatives proposades des del punt de vista econòmic.

La versió del software utilitzada serà la versió gratuïta del programa actual HOMER Pro. Aquesta portarà el nom: HOMER legacy 2.68 i està disponible a la pàgina web dels desenvolupadors. Existeix una prova gratuïta de 21 dies de la versió professional, però amb certes restriccions i amb menys funcions disponibles que la versió 2.68. El preu mensual d'aquest software oscil·la entre 65\$ a 59\$ en funció del paquet escollit.

Ara bé, per poder donar-nos resultats, haurem d'afegir una sèrie de variables que descriguin les condicions climàtiques del cas d'estudi, els diferents components utilitzats com ara les plaques solars o les bateries, i les condicions en la qual volem fer la simulació (en un sistema aïllat o no de la xarxa). Un cop afegits, el mateix programa ens proporcionarà una matriu de resultats en funció de la quantitat de components que hagem introduït. A més a més, podrem visualitzar tots els balanços energètics i econòmics a través de taules i gràfics molt clars i precisos que ens permetrà comparar tots els resultats dins la pròpia matriu. Per últim, el HOMER realitzarà cada simulació per a un període d'aproximadament vint anys, amb un pas temporal d'una hora i compararà cada simulació amb la més òptima obtinguda en cada moment.

## 6.1. Les diferents alternatives

Un cop tenim totes les dades referents als consums i del clima que envolta la zona de l'habitatge, procedirem a buscar una instal·lació que proveeixi la demanda energètica de la casa. Tanmateix, ja que disposem d'un software informàtic, proposarem diferents alternatives per veure a llarg termini, quina d'elles serà la més eficient en termes econòmics.

Les possibles alternatives objecte d'estudi seran classificades en dos grups: les que estan connectades i les que estan aïllades de la xarxa elèctrica. El quadre resultant seria el següent:

Sistema aïllat	1) Residència principal
	2) Segona Residència sense termòstat
	3) Segona Residència amb termòstat
Sistema connectat	4) Residència principal
	5) Segona Residència sense termòstat
	6) Segona Residència amb termòstat

*Taula 6.1: Resum de les sis diferents alternatives proposades (Font pròpia)*

**Residència principal:** Aquesta primera alternativa serà considerada, sabent que molt probablement en aquest habitatge s'hi visqui durant tot l'any d'aquí a cinc o deu anys. Per tant, cal saber si és rendible invertir en un sistema energètic basat en energies renovables. En aquest model, suposarem que la casa estarà ocupada els 365 dies de l'any. Aquest fet, suposarà un sobredimensionament del consum final, però com estem treballant amb energies renovables, cal tenir en compte la variabilitat del clima.

**Segona residència sense termòstat:** Atès que la situació actual de la casa és la d'una segona residència, intentarem esbrinar si és rendible invertir en una instal·lació renovable i si serem capaços d'amortitzar-la abans que la casa sigui totalment ocupada tot el temps. La major dificultat d'aquesta alternativa serà fer front als pics de demanda dels dies d'obertura de l'habitatge, com ja hem explicat i comprovat en l'apartat 4.7.6 d'aquest treball. Considerarem que la casa serà ocupada durant tots els caps de setmana i durant tot el mes d'agost. El HOMER no ens permet seleccionar caps de setmana per separat, o són tots o cap. En conseqüència, una altra vegada, sobredimensionarem el sistema. Però en aquest cas, el fet de suposar que es consumirà energia durant tots els caps de setmana ens permetrà estar segurs de què quan es vulgui anar al poble, la casa disposarà d'energia suficient per garantir que tot funcioni perfectament.

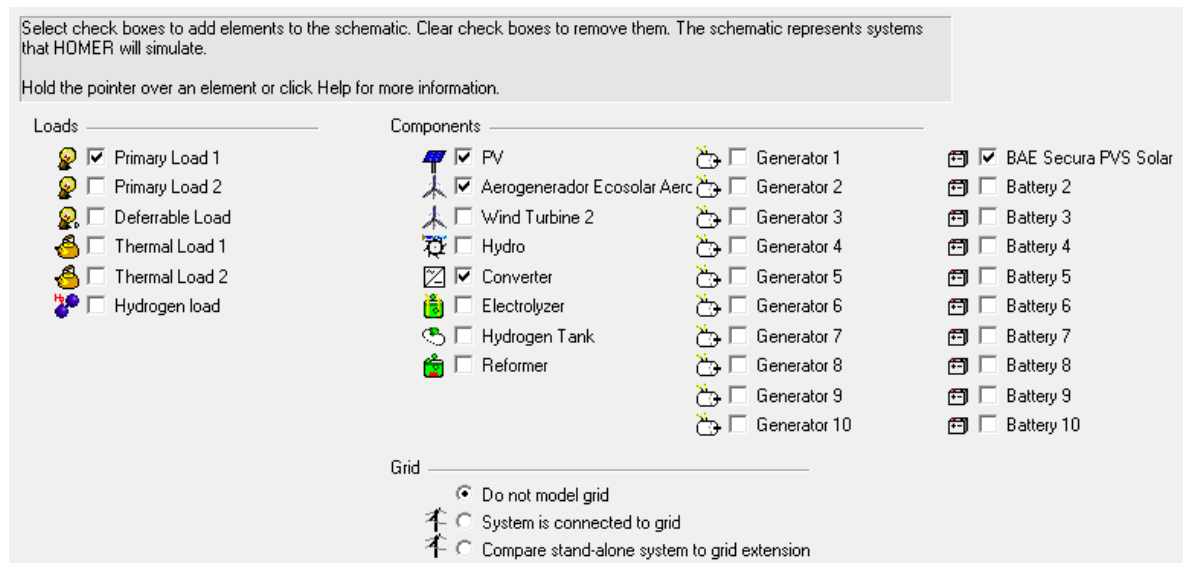
**Segona residència amb termòstat:** Per fer front al problema que ens planteja l'alternativa anterior (els pics de demanda), s'ha afegit aquesta tercera opció. Aquesta es basarà en



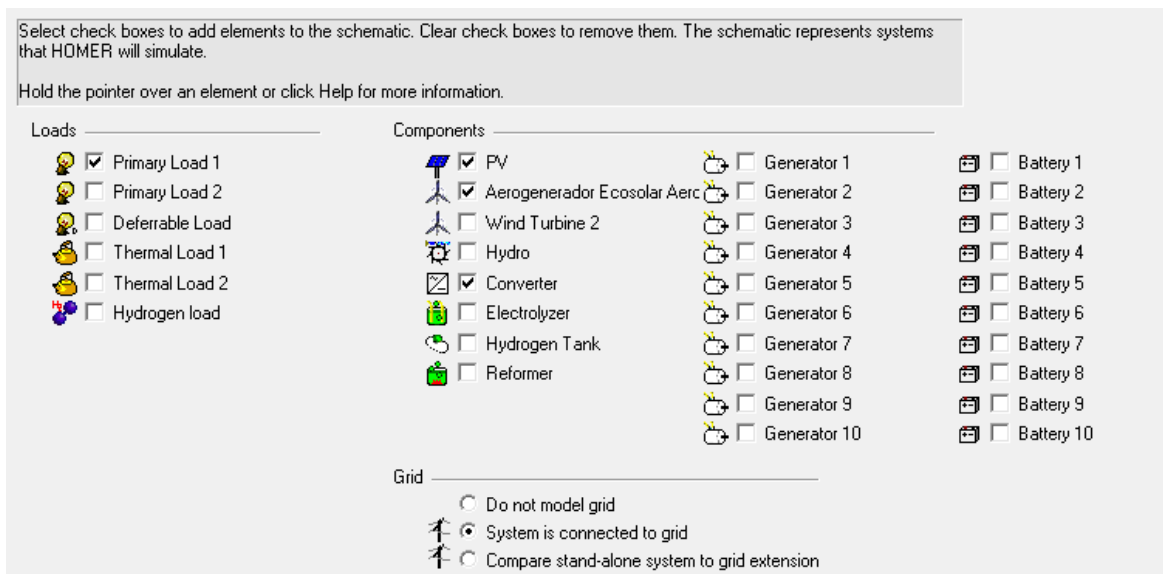
incorporar un termòstat que reguli constantment la temperatura de l'habitatge, mantenint una temperatura de confort (20 °C) encara que la casa estigui desocupada. Com és d'esperar, aquest consum extra d'energia no suposarà cap cost extra degut a que aquesta provindrà de recursos renovables. Suposarem també, que la casa serà ocupada durant tots els caps de setmana de l'any.

**Connectat o aïllat de la xarxa:** Aquesta diferència serà vital a l'hora d'indicar-li al HOMER com realitzar els càlculs. En el cas d'un habitatge aïllat, com el seu propi nom indica, l'habitatge haurà de ser capaç d'auto subministrar-se tota l'energia necessària per garantir un bon funcionament de tots els aparells de l'habitatge. D'altra banda, el principal avantatge de tenir connexió a la xarxa elèctrica rau en, la possibilitat de vendre el nostre excedent d'energia produïda durant el dia. Això ens permetrà compensar les despeses d'una part de la nostra factura elèctrica i reduir els costos finals d'instal·lació. Aquests dos models, els farem servir en cadascuna de les tres alternatives descrites anteriorment, per finalment comparar-les entre elles a llarg termini.

Un cop vistes les diferents combinacions, s'introduiran en el HOMER la selecció dels components necessaris en els dos models: les alternatives aïllades i les connectades a la xarxa.



***Figura 6.1: Selecció dels components del sistema pel cas d'un sistema aïllat en el HOMER***



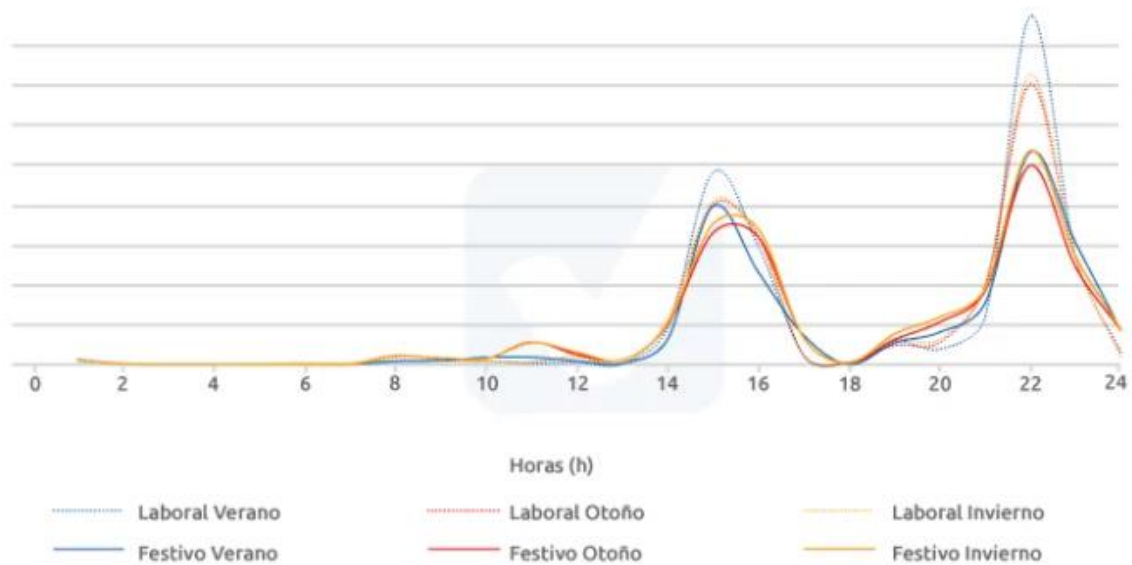
***Figura 6.2: Selecció dels components del sistema pel cas d'un sistema connectat a la xarxa en el HOMER***

Per últim, pel càlcul dels costos finals en el HOMER només es tindran en consideració els costos dels materials i components, d'instal·lació i de la mà d'obra. Ara bé, de cara als ajuts econòmics, no es tindran en compte dins del programa i és calcularem a part un cop obtingudes les alternatives òptimes. Utilitzarem aquest procediment perquè el HOMER no incorpora cap eina de reducció de costos per a subvencions o ajuts de qualsevol tipus.

Un cop arribats en aquest punt, cal comprovar si les sis alternatives han estat ben plantejades i procedir a comparar-les entre elles. A continuació, veurem com hem introduït totes les dades per cadascun dels components seleccionats en les figures 6.1 i 6.2, de cara a calcular els resultats finals.

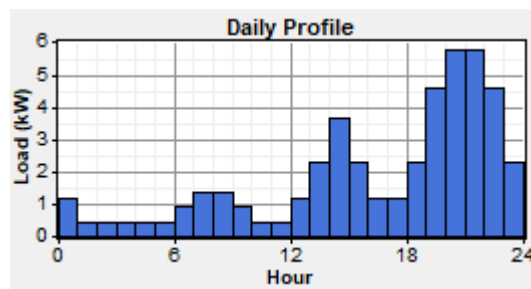
## 6.2. Consum elèctric

En aquest apartat, tractarem d'explicar com hem introduït els diferents consums elèctrics de cada una de les alternatives dins del HOMER. Per qualsevol d'elles, el software ens demanarà introduir els consums de cada mes, diferenciant els dies lectius dels caps de setmana. I com el programa calcula els costos aproximadament a vint anys vista i saben que els consums no són constants al llarg dels anys, tindrem la possibilitat d'afegir un percentatge de variabilitat aleatòria a les dades introduïdes. Però, sigui quina sigui l'alternativa que estudiem, haurem d'introduir un consum diari que no és constant i que varia en funció de les hores del dia. En la figura següent veurem com fluctua la demanda energètica d'un habitatge en funció de les èpoques de l'any:

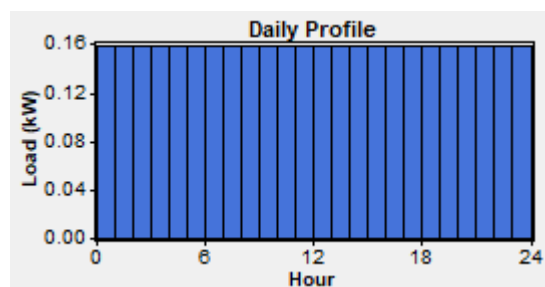


*Figura 6.3: Demanda energètica en funció de les hores del dia i les èpoques de l'any [57]*

Podem veure que el consum principal serà durant l'hora de dinar i l'hora de sopar, és a dir, de 14 h a 17 h i de 19 h a 24 h. També podem distingir diferents corbes en funció de les èpoques de l'any, però aquestes fluctuacions com podem veure no són massa significatives i no seran considerades en la fluctuació del consum de l'habitatge. Es podria dir que el factor de variabilitat que inclourem més endavant serà considerat suficient per fer variar les dades introduïdes. Pels dies de consum, la demanda serà distribuïda com a la figura 6.2, i pels dies que la casa estigui buida, la demanda serà homogènia deguda als consums passius de l'habitatge.



*Figura 6.4: Perfil de la demanda energètica introduïda al HOMER per un dia de consum*

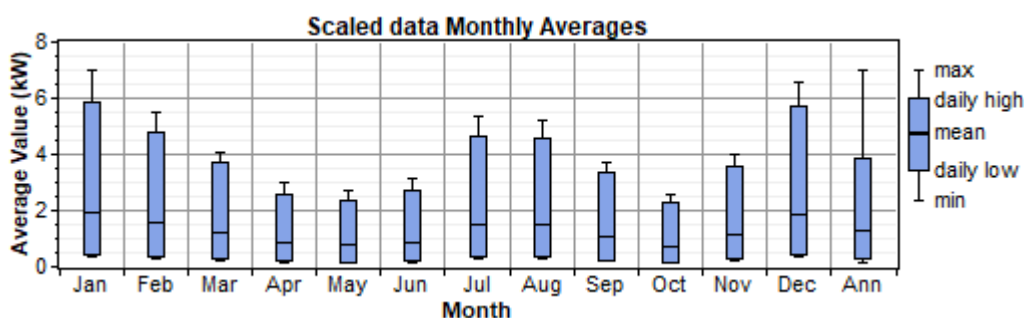


*Figura 6.5: Perfil de la demanda energètica introduïda al HOMER per un dia de no consum (passiu)*

Analitzarem, quins seran els valors de les demandes energètiques de cadascuna de les diferents alternatives. Ara bé, tots els valors emprats per indicar el consum al HOMER seran extrems de les taules de l'apartat 4.7.6, on es recullen les diferents demandes en funció de la situació en la qual ens trobem. Així mateix, per no omplir la memòria de gràfiques i taules, atès que per a cada alternativa haurem d'introduir un consum diferent per cada mes, introduïrem en l'annex totes les taules (A.8, A.9 i A.10) de valors utilitzades.

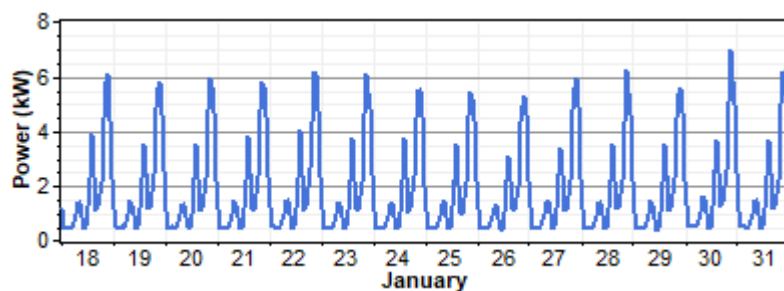
Per últim, cal explicar que per cada alternativa s'ha creat un fitxer de dades diferents. Cada tipus de residència tindrà un consum associat (per exemple per la casa principal aïllada o connectada, ambdós tindran el mateix consum elèctric). Aleshores, treballarem amb sis fitxers però amb només tres perfils de consums elèctrics diferents. Per consegüent, obtindrem aquests tres perfils de demandes:

**Residència principal:** De cara a introduir la demanda de l'habitatge, com hem dit anteriorment, suposarem que la casa estarà ocupada els 365 dies de l'any. Aleshores, introduint els consums de cada mes de la taula 4.12 de l'apartat 4.7.6, dividits pel nombre de dies d'aquest mateix període amb un perfil horari com el de la figura 6.3, obtindrem la gràfica següent:



*Figura 6.6: Diagrama de caixes mostrant la mitja de la potència diària necessària mensual (Font: HOMER)*

En aquest diagrama podem veure els diferents rangs de potència demandada per l'habitatge. El programa ens calcula quin serà el pic de demanda de tot l'any i la mitja diària de kW consumits. Aquests dos valors seran iguals a 7 kW i 30 kWh/dia respectivament. També, s'ha introduït una variabilitat corresponent al 5%, per fer que la simulació sigui més realista.



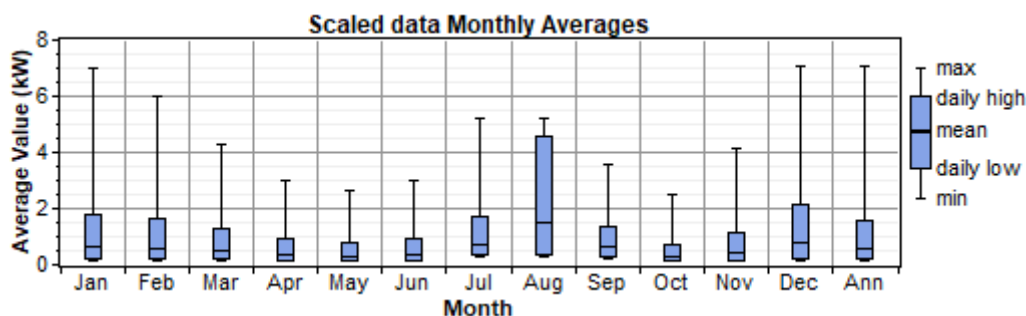
*Figura 6.7: Exemple de la variabilitat introduïda a les dades (Font: HOMER)*

**Segona residència sense termòstat:** Per introduir els consums d'aquesta alternativa, haurem de considerar els dos perfils horaris mostrats en les figures 6.4 i 6.5 atesa la necessitat de distingir els consums actius dels passius. Al tractar-se una segona residència, els consums actius seran durant els caps de setmana i els passius durant els dies lectius. D'altra banda, el HOMER distingirà els consums de caps de setmana començant pel dilluns dia 1 de gener. Cada mes, tindrà diferents dies de cap de setmana, essent important respectar-los perquè el programa ens calculi bé les necessitats. Aquests dies seran els següents (s'ha agafat l'any 2024 com a referència):

gener	febrer	març	abril	maig	juny	juliol	agost	setembre	octubre	novembre	desembre
8	8	10	8	8	10	8	---	9	8	9	9

*Taula 6.2: Nombre de dies corresponents als caps de setmana per mesos (Font pròpia)*

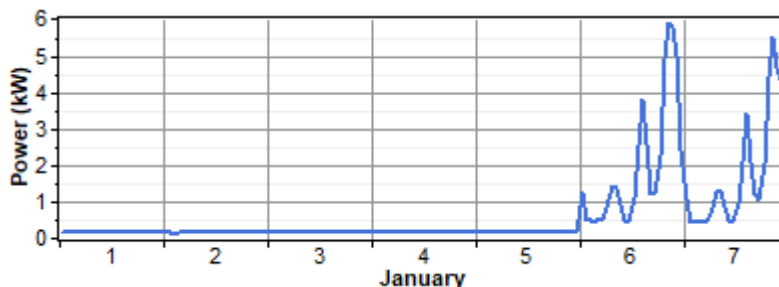
Aleshores, combinarem les tres taules 4.12, 4.13 i 4.14 de l'apartat 4.8 en funció de les necessitats de cada dia del més. Per exemple, analitzem el mes de gener. Aquest tindrà 8 dies de caps de setmana, és a dir, quatre caps de setmana diferents. El consum dels caps de setmana correspondrà a la suma de quatre dies d'arrancada i quatre dies de consum normal. Els vint-i-tres dies restants seran considerats com a consum passiu. Aquest procediment es repetirà per cada mes de l'any en funció dels dies del mes en qüestió i del seu nombre de caps de setmana. Obtindrem la gràfica següent:



*Figura 6.8: Diagrama de caixes mostrant la mitja de la potència diària necessària mensual (Font: HOMER)*

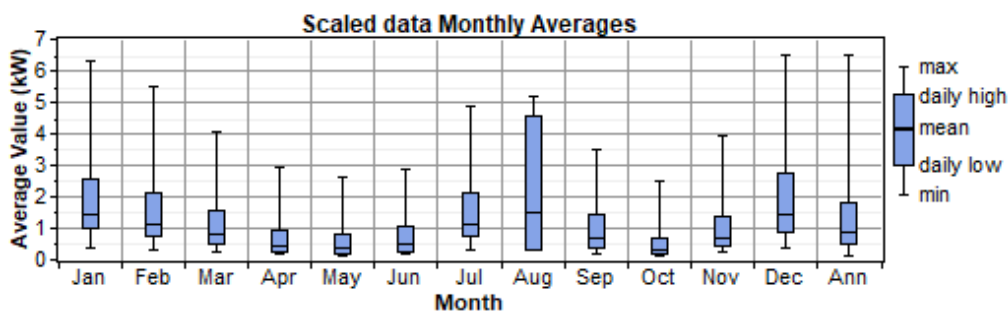
Podem comprovar que a diferència del diagrama anterior 6.5, tindrem una demanda mitjana molt inferior però la variabilitat serà més forta degut als caps de setmana. En aquest cas, els valors mitjans de potència pic i demanda mitja d'energia diària seran de 7,1kW i 14,3 kWh/dia respectivament. També podem veure com el mes d'agost, al ser un més d'ocupació total, com la caixa blava representant aquest més serà molt menys variable que els altres.

Per acabar amb la introducció del consum d'aquesta segona alternativa, mostrarem com el HOMER interpreta els valors introduïts. Aquí també, hem introduït una variabilitat de la demanda del 5%:



*Figura 6.9: Exemple de la demanda del primer cap de setmana del mes de gener, i el consum passiu durant els dies lectius (Font: HOMER)*

**Segona residència amb termòstat:** Per últim, només quedarà implementar el consum de la tercera alternativa. Al tractar-se d'una segona residència, tornarem a distingir els dos tipus de consums (tant actius com passius). Ara bé, aquesta alternativa presenta un avantatge, i és que en el càlcul de la demanda final, no contemplarem els pics de demanda creats per l'arrencada dels sistemes de calefacció. Aleshores, utilitzant només les taules 4.12 i 4.14, i procedint de manera pràcticament idèntica que en l'apartat anterior, s'obtindrà el gràfic següent:



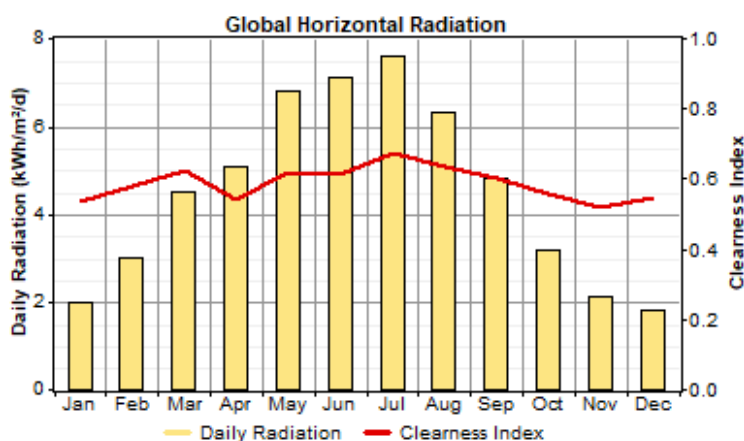
*Figura 6.10: Diagrama de caixes mostrant la mitja de la potència diària necessària mensual (Font: HOMER)*

Com era d'esperar, el diagrama pot ser interpretat com una barreja de les altres dues alternatives. Per una banda, tenim l'alta variabilitat aportada per les demandes dels caps de setmana i per l'altre, obtindrem uns valor mitjans de demanda mensuals més elevats. Tanmateix, els valors de pic de demanda i la mitja de l'energia necessària diària per satisfer el confort dels habitants seran de 6,5 kW i 20,9 kWh/dia respectivament.

### 6.3. Recursos renovables

Un cop hem introduït la demanda elèctrica de l'habitatge, caldrà afegir les dades dels recursos climàtics de la zona, és a dir, la quantitat de sol, vent i el rang de temperatures que envolta la nostra casa.

Com hem explicat anteriorment, la irradiació solar és l'energia emesa pel sol i ara caldrà introduir-la dins del HOMER. A partir de la figura 3.5 de l'apartat 3.2.1, obtindrem el gràfic següent:



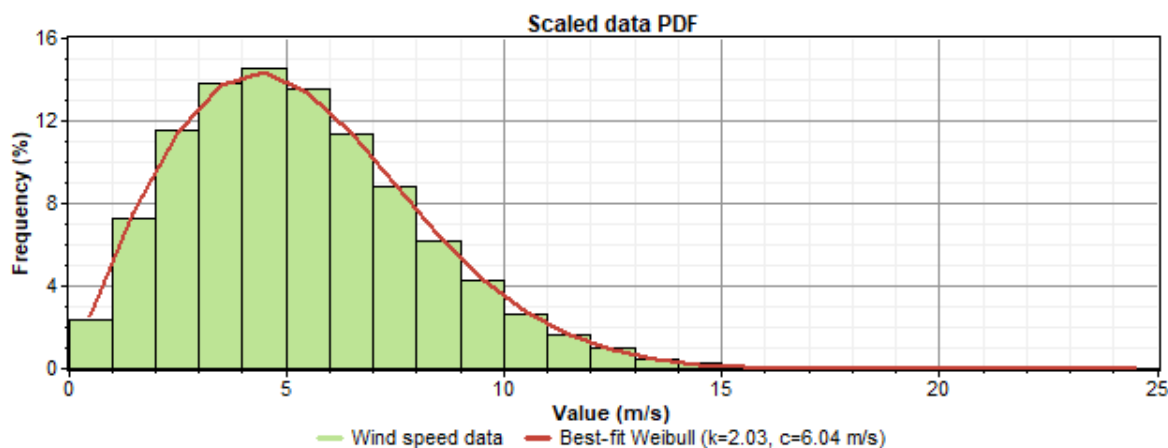
*Figura 6.11: Gràfic mostrant la radiació i l'índex de claredat mensual durant un any (Font: HOMER)*

Procedirem de la mateixa forma per introduir les velocitats de vent dins el software. Com en l'apartat 3.2.2 no hem introduït cap taula de la mitja de la velocitat del vent en la zona de l'habitatge, la calcularem amb les dades extretes de l'eina POWER en format CVS. Aleshores obtindrem:

gener	febrer	març	abril	maig	juny	juliol	agost	sep	oct	nov	des
6,05	6,10	5,94	5,61	4,98	4,61	4,69	4,52	4,67	5,11	5,93	5,94

*Taula 6.3: Velocitats mitjanes del vent mensuals calculades amb les dades dels últims 40 anys (Font pròpia).*

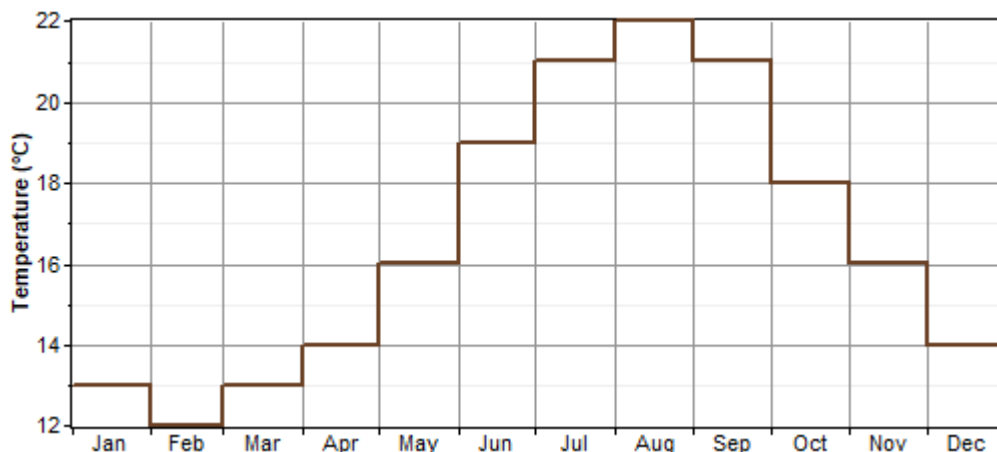
Un cop introduïdes, el HOMER ens dibuixarà la distribució de Weibull corresponent. Aquesta gràfica ja l'hem explicada anteriorment i en aquest cas, ha estat dibuixada amb un factor de forma igual a 2. Tanmateix, podem veure com la velocitat mitjana del vent serà prou elevada per fer treballar correctament als aerogeneradors.



*Figura 6.12: Distribució de Weibull mostrant probabilitat associada per cada velocitat del vent (k=2)*

Per últim, introduïrem les diferents temperatures en funció dels mesos de l'any. Aquestes han sigut proporcionades per la base de dades del Weather Spark i un cop introduïdes en l'eina de càlcul obtindrem la corba següent:





*Figura 6.13: Corba representant les diferents temperatures mitjanes al llarg de l'any  
(Font: HOMER)*

#### 6.4. Panells fotovoltaics, aerogeneradors, bateries i inversors utilitzats

Aquest apartat ens permetrà valorar, si el projecte serà rendible a llarg termini i si el cost de l'energia produïda serà o no inferior al que paguem procedent de la xarxa. Per tant, haurem d'escollir tots els components necessaris per a la instal·lació en funció de les dues variables de major pes: la qualitat i el preu.

Començarem pels panells solars. Després d'una recerca exhaustiva, s'ha decidit utilitzar els panells Seraphim de 400 W pel modest preu de 149 € cadascun [59]. Aquesta empresa és coneguda a nivell mundial i prové de la Xina. Els panells han sigut fabricats amb cel·les monocristal·lines amb tecnologia PERC i Half-Cut, el que els converteix en uns excel·lents panells solars. A més, tenen una garantia de 15 anys i una vida útil calculada de 25 anys, valors que ajuden a confiar en el seu fabricant. No menys important, l'eficiència d'aquests panells és força elevada, igual a 19,81%. A l'annex, trobarem la fitxa tècnica d'aquest panell (A.11). Ara bé, el HOMER ens demana moltes més variables, que definirem a continuació.

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the PV (photovoltaic) system, including modules, mounting hardware, and installation. As it searches for the optimal system, HOMER considers each PV array capacity in the Sizes to Consider table.

Note that by default, HOMER sets the slope value equal to the latitude from the Solar Resource Inputs window.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

**Costs**

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
0.400	209	209	0
{.}	{.}	{.}	{.}

**Sizes to consider**

Size (kW)
0.000
0.400
0.800
1.200
1.600
2.000
2.400

**Properties**

Output current  AC  DC

Lifetime (years)  {.}

Derating factor (%)  {.}

Slope (degrees)  {.}

Azimuth (degrees W of S)  {.}

Ground reflectance (%)  {.}

**Advanced**

Tracking system

Consider effect of temperature

Temperature coeff. of power (%/°C)  {.}

Nominal operating cell temp. (°C)  {.}

Efficiency at std. test conditions (%)  {.}

Help Cancel OK

*Figura 6.14: Conjunt de variables demanades pel HOMER*

Per començar, podem veure que el programa ens demanarà la potència d'un panell, el preu dels d'aquests i la seva vida útil. Pel que fa el preu total, també haurem d'introduir el preu de la instal·lació, és a dir, el preu dels materials emprats com ara les estructures d'alumini i els cables o la mà d'obra. Consultant diferents factures extretes de diverses pàgines web, i calculant la diferència entre el preu dels panells i la resta de costos, ens adonem que el preu d'instal·lació representa aproximadament el 40% del preu final dels panells solars. Aleshores, als 149 € li haurem de sumar 59,6 € d'instal·lació. Pel que fa el manteniment, el preu serà nul perquè es farà pels mateixos habitants de la casa.

Ara bé, que signifiquen la resta de variables? A continuació les analitzarem una per una, d'esquerra a dreta:

**Derating factor (%):** El factor de reducció de potència fotovoltaica és un factor d'escala que el HOMER aplica a la potència de sortida del conjunt dels panells per tenir en compte la sortida reduïda en condicions operatives reals en comparació amb les condicions en les quals s'ha qualificat el panell. El valor emprat del 80%, està tabulat pel software.

**Slope (degrees):** Aquest és l'angle d'inclinació dels panells respecte al terra. Aquest serà de  $39^\circ$  com hem explicat en l'apartat 5.1.4.

**Azimuth (degrees W of S):** La direcció cap a la qual s'inclinen els panells. Aquest valor serà igual a  $180^\circ$  si estan orientats cap al nord i de  $0^\circ$  si estan orientats cap al Sud. Recordem que aquest valor també ha sigut explicat a l'apartat 5.1.4 i en el nostre cas serà igual a  $0^\circ$ .

**Ground reflectance (%):** El factor de reflexió és la fracció de radiació solar incident al terra que és reflectida cap al panell. Aquest valor també està tabulat pel software i sol estar al voltant del 20%.

**Sizes to consider (kW):** En aquesta taula, hi introduïrem un sumatori de potències múltiples de la potència del panell. Aquests valors seran molt importants perquè el programa, en cada simulació, determinarà la potència necessària dels panells en funció de les opcions que hagin sigut introduïdes en aquesta taula.

**Traking System:** Aquest és la primera variable dins de l'apartat "Advanced". En anglès, aquest terme ens indica si les plaques tindran una inclinació regulable o no. En el cas que sigui regulable, ens preguntarem si l'orientació serà vertical, horitzontal o ambdues. En el nostre cas no contemplarem cap sistema d'inclinació regulable.

**Temperature coeff. Of power (%/°C):** El coeficient de potència de la temperatura d'un panell fotovoltaic indica la força amb la qual la sortida de potència del conjunt depèn de la temperatura de la cella, és a dir, la temperatura de la superfície del conjunt. Aquest serà un nombre negatiu degut a que la potència de sortida disminuirà en augmentar la temperatura de la superfície de la cella. Per sort, aquest valor ens vindrà donat a la fitxa tècnica dels panells solars i serà igual a  $-0,28\%/^\circ\text{C}$ .

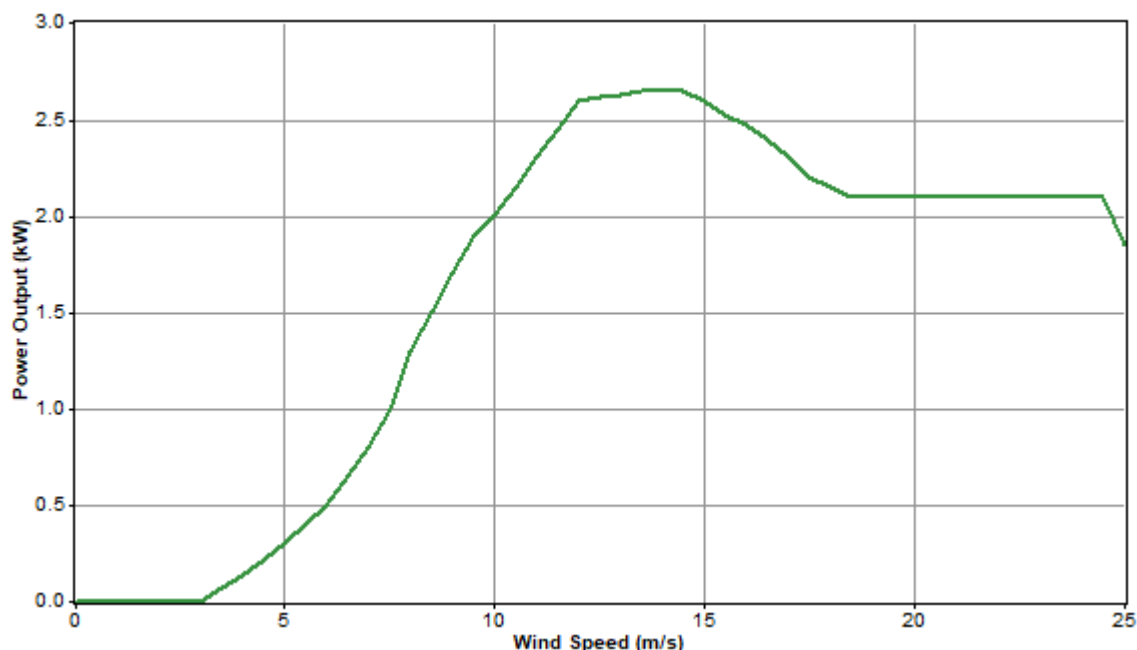
**Nominal operating cell temperature (°C):** La temperatura nominal del funcionament d'un panell es defineix com la temperatura assolida en el panell en circuit obert en les següents condicions: sota una radiació de  $800 \text{ W/m}^2$  i una temperatura de l'aire de  $20^\circ\text{C}$ . Aquest valor també el trobarem en la fitxa tècnica dels panells i serà igual a  $45^\circ\text{C}$ .

**Efficiency at std. Test conditions (%):** Aquesta eficiència correspondrà a la capacitat del panell a transformar llum solar en electricitat en el seu punt de màxima potència en condicions estàndard.

D'altra banda, comentarem quines han estat les dificultats trobades a l'hora de buscar un aerogenerador adequat per l'habitatge. Les turbines eòliques són poc utilitzades per a l'ús residencial, i per aquesta raó trobar un aerogenerador eficient a baix preu ha estat força complicat. També, s'ha de tenir en compte el nivell sonor de les turbines quan estan en

funcionament, ja que l'aerogenerador estarà situat al costat de l'habitatge. Això no obstant, s'ha trobat una turbina, fabricada i dissenyada a Alemanya de 2,6 kW de potència nominal per un preu de 5070 € [58] de la casa Southwest. El model de la turbina és el Skystream 3.7 de 2,6 kW. Aquest model és un dels més coneguts i emprats a nivell domèstic pel seu baix nivell sonor. Ara bé, el preu no incorpora ni el pal ni els cables necessaris per a la instal·lació. Així doncs, com ja hem fet amb els panells solars, haurem d'estimar els costos d'instal·lació tenint en compte no només el preu del pal i els cables sinó també la mà d'obra i la maquinària necessària per fixar l'aerogenerador a terra. Segons les factures consultades d'instal·lació d'aerogeneradors domèstics, el preu d'instal·lació representa aproximadament el 50% del preu de la turbina. Aleshores, als 5070 € de la turbina li sumarem 2535 €. Per tant, el cost d'una turbina amb tots els costos inclosos serà de 7605 €.

A l'hora d'introduir una turbina al HOMER, el software ens demanarà que caracteritzem la seva corba de potència. Aquesta corba indica quina serà la potència elèctrica disponible de l'aerogenerador en funció de les diferents velocitats del vent. En realitat, aquest gràfic serà la unió d'un conjunt de punts que representaran els valors experimentals de potència d'un aerogenerador en funció d'una velocitat del vent determinada. A partir de la corba proporcionada en el manual tècnic i consultable en l'annex (A.12), obtindrem un perfil com aquest:



*Figura 6.15: Corba de potència de l'aerogenerador escollit*

En aquest gràfic, i en la fitxa tècnica de la turbina, podem veure com a l'haver estat dissenyada per l'ús residencial, aquesta començarà a produir energia a partir dels 3,5 m/s. A més, la potència nominal serà assolida a una velocitat de 9,4 m/s que en comparació a

altres turbines, serà menor (el valor mig oscil·la al voltant dels 12 m/s). Ara bé, com tot aerogenerador, arribat a un punt de màxima potència, la corba disminueix a mesura que augmenten les velocitats, degut a que l'aparell no serà capaç de rendir correctament.

També haurem d'introduir el cost de l'aerogenerador, i com abans, també apareixerà un apartat anomenat "Sizes to consider" on introduïrem el nombre de turbines a considerar en el càlcul. Per últim, introduïrem la vida útil de l'aerogenerador, que serà d'aproximadament vint anys i l'alçada a la qual es trobarà la turbina emprant el terra com a referència. Aquest últim valor serà de 10 m, perquè coincideixi amb les mesures de les velocitats del vent introduïdes anteriorment calculades a la mateixa alçada.

Pel que fa les bateries, s'ha escollit un model de bona qualitat i de baix preu anomenat "BAE Secura PVS Solar OPZS". Utilitzarem bateries de la casa BAE de 2 V cadascuna i de 4420 Ah [60]. Cadascuna tindrà un cost de 1392 € i tindrà una vida útil de vint anys aproximadament. La seva llarga durabilitat és deu al seu disseny que és capaç de proporcionar una quantitat molt elevada de cicles de càrrega. Aquesta bateria és usada en el sector industrial, en aplicacions solars i sistemes híbrids. A més, són reconegudes per la seva alta capacitat cíclica i per tenir un comportament de recàrrega molt bo. Pel que fa el seu preu d'instal·lació, aquest representa aproximadament un 10% comparat al preu de compra d'una bateria. Per tant, haurem de sumar 139,2 € al cost d'una bateria, per incloure el preu d'instal·lació dins del balanç final.

A l'hora de caracteritzar la bateria al HOMER, haurem d'introduir diferents variables i d'entre elles, la més important serà la corba de la vida útil de la bateria en funció dels cicles de descàrrega. Aquesta dada la trobarem en la fitxa tècnica que trobarem a l'annex (A.15) d'aquest treball.

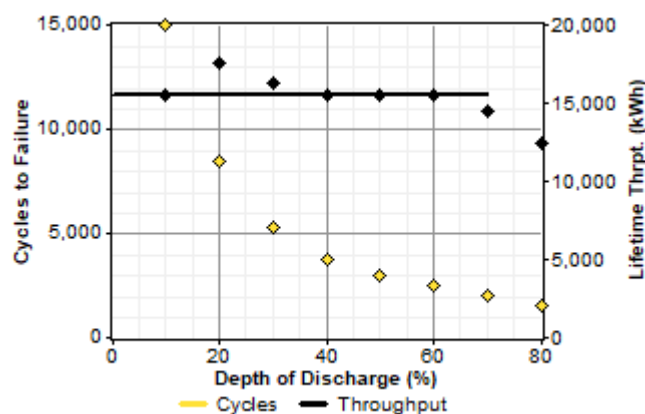


Figura 6.16: Corba de la vida útil de la bateria en funció del percentatge de descàrrega.

El HOMER, ens calcularà la quantitat total d'energia que podrà circular a través de la bateria abans que necessiti ser reemplaçada. Aquest valor serà de 15.805 kWh. Ara bé, com en tots

els components anteriors, haurem de definir en la taula de “Sizes to consider” el nombre de bateries que volem considerar i el preu unitari d’una d’elles.

Per últim, introduïrem els dos inversors utilitzats, un per quan la casa està aïllada i un altre per quan considerem que l’habitatge estarà connectat a la xarxa. Aquesta diferència serà necessària perquè al calcular les necessitats amb el HOMER, necessitarem un inversor de major potència quan la casa està aïllada (a causa dels pics de potència puntuals) i un de menor potència quan està connectada a la xarxa. Per cobrir els pics de demanda utilitzarem un inversor de 8,8 kW de la marca Huawei anomenat “SUN2000-8KTL-M1” [61]. D’altra banda, quan la casa no estigui aïllada utilitzarem un inversor de 5 kW de la marca Must Solar anomenat “PV1800 VHM Series” [62]. El preu de l’inversor de Huawei serà de 1715 € mentre que el de la marca Must Solar serà de 582 €. Pel que fa el preu d’instal·lació, aquest ja ha estat considerat en els preus d’instal·lació dels panells solars. Ara bé, la vida mitjana d’un inversor és del voltant de deu a quinze anys en funció del model i si s’espalla, normalment canviant els components electrònics serà suficient per fer-lo funcionar. Per aquesta raó, el preu del recanvi el reduïrem a la meitat, pel fet que mai canviarem els inversors ja que els repararem. I per últim, tornarem a definir la taula de “Sizes to consider” però aquest cop amb un únic possible valor, el de la potència del nostre inversor. Les fitxes tècniques d’aquests inversors es trobaran al annex (A.13 i A.14).

## 6.5. La xarxa elèctrica

Pel dimensionament de la xarxa elèctrica, necessitarem tenir en compte diversos factors molt importants a l’hora de simular les tres alternatives. Primer de tot necessitarem saber el preu de compravenda de l’electricitat. Seguidament, haurem d’esbrinar com es venen els excedents a la xarxa i fins a quin punt podem aprofitar-nos d’aquesta venda. I per últim mirarem d’entendre com s’han introduït tots els valors al HOMER.

Com hem dit en l’apartat 3.4, la comercialitzadora que actualment ens serveix l’energia de la xarxa és Endesa. A més, al tenir una factura vinculada al mercat lliure, el cost d’aquesta energia per kWh serà fix durant un cert període de temps. Sabem també que el preu any rere any ha anat augmentant i s’espera que segueixi a l’alça a causa dels problemes d’oferta que estan afectant negativament al preu del kWh avui dia.

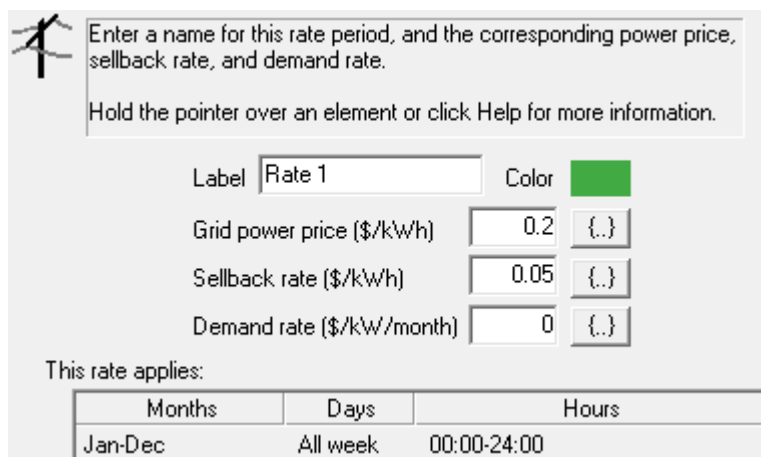
Tanmateix, explicarem breument com funciona una factura elèctrica. Per fer-ho més simple i visual, utilitzarem la figura següent on podrem veure el rebut del consum energètic del mes de desembre del 2021:

Potencia .....	13,86 €
Pot.Punta 5 kW x 0,077401 Eur/kW x 30 días .....	11,61 €
Pot.Valle 5 kW x 0,015012 Eur/kW x 30 días .....	2,25 €
<b>Energía .....</b>	<b>18,27 €</b>
Horas Happy de mayor consumo 123,507 kWh x 0 Eur/kWh .....	0,00 €
Resto de horas 106,549 kWh x 0,171451 Eur/kWh .....	18,27 €
<b>Descuentos .....</b>	<b>-0,37 €</b>
Descuento por e-factura 18,27 Eur x -2 % DTO .....	-0,37 €
<b>Varios .....</b>	<b>4,87 €</b>
Alquiler del contador (30 días x 0,026667 Eur/día) .....	0,80 €
<b>Impuestos .....</b>	<b>3,51 €</b>
Impuesto Electricidad (CIM) .....	0,23 €
IVA normal 10% s/ 32,79 .....	3,28 €
<b>TOTAL</b>	<b>36,07 €</b>
<b>Importe Servicios Endesa X</b>	<b>4,07 €</b>
<b>Total importe a pagar</b>	<b>40,14 €</b>

*Figura 6.17: Factura del consum del mes de desembre del 2021 (Font pròpia)*

En aquesta factura, podem distingir sis apartats diferents: potència, energia, descomptes, diversos, impostos i els imports del servei. Normalment, una factura elèctrica es desglossa en dues parts: la part fixa i la part variable. En aquesta factura en concret, considerarem com a part fixa la suma de la potència, descomptes, diversos, impostos i l'import del servei. I, la part variable correspondrà a l'energia consumida. Fent la suma dels cinc apartats de la part fixa, el resultat serà igual a 25,94 €. També, veiem com el preu del kWh té un valor d'aproximadament 0,17 cèntims. Ara bé, cal recordar que aquests valors només seran per aquest últim més de l'any 2021.

Aleshores, vist el funcionament d'una factura, caldrà decidir el preu de la compravenda d'energia que introduïrem al HOMER. Aquesta qüestió serà molt delicada perquè com hem vist a la figura 6.17, el projecte està pensat per a una durada de vint anys. Per consegüent, com el mercat energètic és molt variable, no podem determinar un preu fix i exacte per a un període de temps tan elevat. Ara bé, de cara als pròxims anys, es preveu un augment del preu del mercat lliure i a llarg termini una caiguda, degut a la influència cada cop més gran de les energies renovables. Per exemple, en aquest any 2022 Endesa preveu vendre l'energia del mercat lliure a 0,2 €/kWh, però a llarg termini, segurament tornarà a rondar els 0,15 €/kWh. Per consegüent, decidim agafar el valor alt de 0,2 €/kWh degut a que és el valor més actual i fiable que tenim. Per altra banda, els excedents es vendran a 0,05 €/kWh, perquè també és el valor real avui dia del mercat lliure d'Endesa.



Enter a name for this rate period, and the corresponding power price, sellback rate, and demand rate.  
Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Label  Color

Grid power price (\$/kWh)

Sellback rate (\$/kWh)

Demand rate (\$/kW/month)

This rate applies:

Months	Days	Hours
Jan-Dec	All week	00:00-24:00

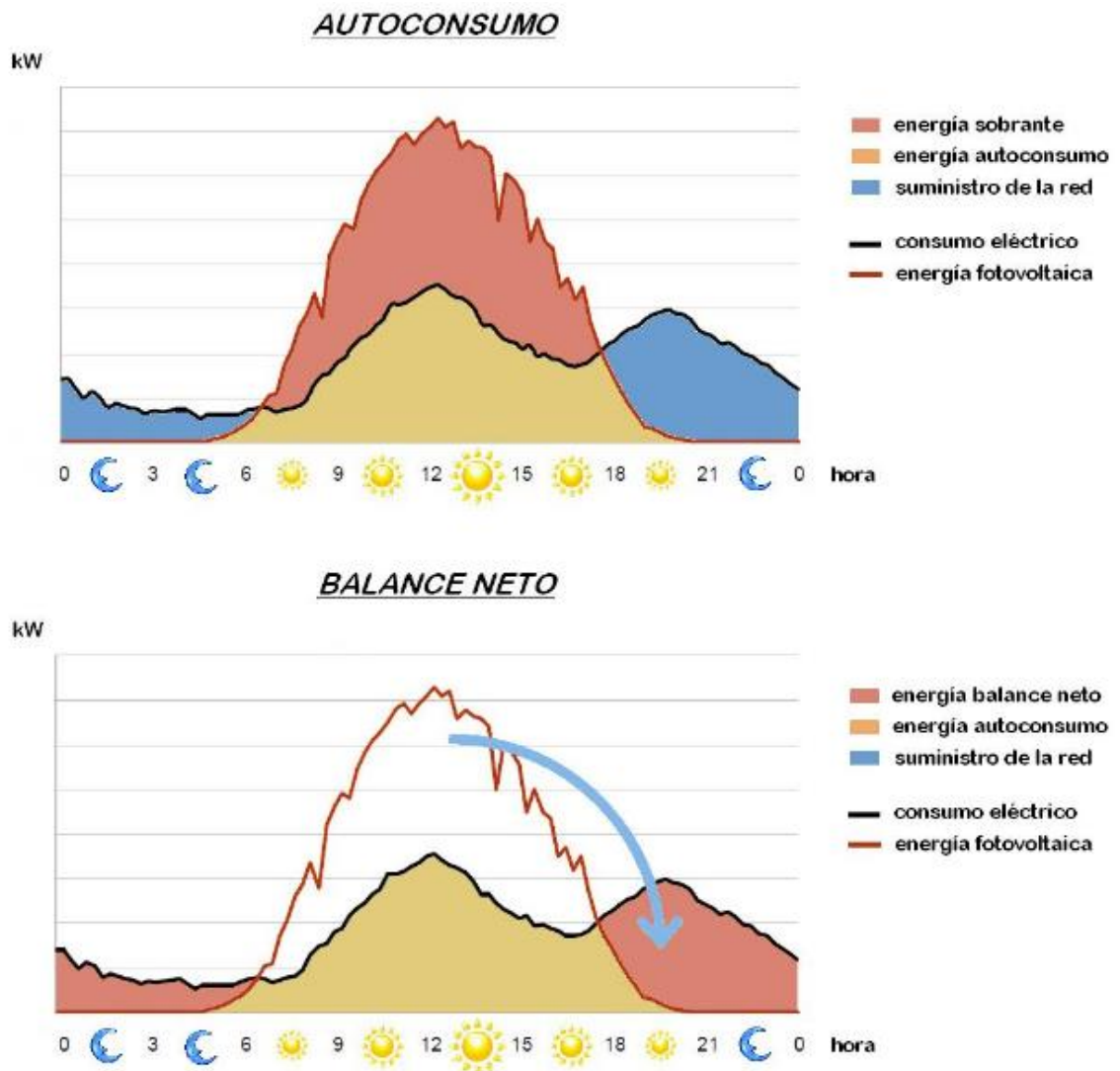
***Figura 6.18: Dades introduïdes al HOMER***

Una qüestió important a explicar, és com es venen els excedents d'energia [63]. Com hem vist anteriorment, la factura elèctrica està dividida en dues parts principals: la fixa i la variable. Quan una casa està connectada a la xarxa, però també produeix energia d'autoconsum, només serà possible compensar l'import de la part variable. És a dir, si per exemple en un més qualsevol es paga 20 € de part variable, només es podrà compensar aquest import per arribar a pagar 0 €. Ara bé, la part fixa sempre sortirà a pagar i no serà compensable. Aleshores si impossem els preus de compravenda de 0,2 €/kWh i 0,05 €/kWh respectivament, veiem que podrem arribar a ser pagar 0 € de part variable venent com a mínim quatre vegades més del que comprem. Cal dir que no existeix límit a l'hora de vendre, però mai es podrà guanyar diners venent energia a la xarxa d'aquesta manera. Totes aquestes normes es troben al pel Reial Decret 244/2019 que justament regula les condicions administratives, tècniques i econòmiques de l'autoconsum de l'energia elèctrica. Per tant, si volguéssim vendre més energia de la que realment podem, hauríem de transformar la nostra instal·lació d'autoconsum a una distribuïdora d'energia elèctrica i pagar els impostos respectius. Com això no és el cas, ens ajustarem a les normes del Decret 244/2019.

Un cop vist com funciona la venda d'excedents, procedirem a explicar com hem incorporat aquest valor al HOMER. Podríem pensar que, com hem vist en la figura 6.18, només introduint el preu de venda el programa interpreta el càlcul a realitzar. Malauradament, al ser un programa estatunidenc, el càlcul de venda serà totalment diferent de l'espanyol que es basarà en el balanç net. Per consegüent, el programa ens vendrà els excedents sense límits, generant així beneficis a finals de mes. Per explicar-ho de manera ràpida i senzilla, aquest sistema permet abocar a la xarxa elèctrica l'excés produït per un sistema d'autoconsum amb la finalitat de poder fer ús d'aquest excedent en un altre moment. En altres paraules, la xarxa fa de bateria i permet fins i tot vendre de més en certs casos. A més, a dia d'avui certs països estan implementant-lo per incentivar a la població a instal·lar



energies renovables per assolir l'autoconsum dels habitatges. En la figura següent podem veure un exemple de funcionament del balanç net a partir d'energia fotovoltaica:



*Figura 6.19: Exemple de balanç net que aprofita durant la nit l'excés generat [64]*

Per sort, el HOMER introduirà una pestanya de configuracions avançades, on a l'apartat "Purchase and sales capacities" podem variar la potència màxima de venda d'excèdents en kW dins la casella de "Sale capacity".

Additional charges	
Interconnection charge (\$)	0
Standby charge (\$/yr)	312
Purchase and sales capacities	
Sale capacity (kW)	1.7
Purchase capacity (kW)	
	10.000
	100.000

*Figura 6.20: Configuracions avançades de la xarxa elèctrica (Font: HOMER)*

Com veurem en els resultats, l'objectiu serà anar variant aquest factor per finalment, intentar obtenir una factura mensual de 0 € durant els mesos més crítics. El gran problema d'aquest valor de venda, és que en funció de la simulació que estudiem, farà falta introduir un "Sale Capacity" diferent i això farà més difícil l'anàlisi dels resultats. D'altra banda, és d'esperar que si limitem la venda al mes més crític, restringirem la capacitat total de venda del sistema. És a dir, si per exemple en el mes d'abril es generen molts excedents, haurèm de limitar la venda d'aquest mes, aleshores perjudicarem el potencial de venda de tots els altres mesos. Aquest anàlisi el tornarem a explicar en els apartats dels resultats finals de les alternatives connectades a la xarxa amb els seus respectius gràfics i taules.

Per últim, com hem dit anteriorment, la part fixa de la factura elèctrica mai serà descomptat de cap manera. Per consegüent, en el requadre de "Standby charge (\$/yr)" introduïrem un preu aproximat d'aquesta part fixa, que suposarem de 25,96 € per mes, import que ha estat calculat a partir de la factura elèctrica de la figura 6.17. Per consegüent, per un any sencer, aquest valor serà aproximadament de 312 €.

## 6.6. Configuració del software

Un cop hem introduït totes les dades del consum elèctric, dels recursos climàtics i dels components a utilitzar, sols caldrà configurar el mètode i les variables de simulació. En el programa, podem configurar certes restriccions i limitacions del sistema. Dividirem aquest apartat en quatre parts, una per cada configuració.

**Restriccions econòmiques:** En aquesta pestanya, podrem configurar cinc restriccions diferents. Aquestes seran, per ordre: la taxa d'interès anual, la vida útil del projecte, el màxim capital inicial permès, el màxim capital anual fix que es produeix independentment de la

mida o arquitectura del sistema i la penalització econòmica per cada kWh que el sistema no hagi pogut subministrar.

HOMER applies the economic inputs to each system it simulates to calculate the system's net present cost.

Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

Annual real interest rate (%)  {..}

Project lifetime (years)  {..}

System fixed capital cost (\$)  {..}

System fixed O&M cost (\$/yr)  {..}

Capacity shortage penalty (\$/kWh)  {..}

*Figura 6.21: Configuració de les variables econòmiques del HOMER*

Com podem veure, nosaltres suposarem una taxa d'interès del 0% degut a que a llarg termini, surt més a compte pagar la inversió inicial d'un sol cop. El projecte tindrà una durabilitat de vint anys i per les altres variables no imposarem cap més restricció.

**Restriccions del sistema de control:** En aquesta pestanya, podrem controlar el sistema de simulació. A partir de la figura següent, comentarem quines variables contemplarem en el nostre estudi.

The system control inputs define how HOMER models the operation of the battery bank and generators. The dispatch strategy determines how the system charges the battery bank.

Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

Simulation \_\_\_\_\_

Simulation time step (minutes)  {..}

Dispatch strategy \_\_\_\_\_

Load following

Cycle charging

Apply setpoint state of charge (%)  {..}

Generator control \_\_\_\_\_

Allow systems with multiple generators

Allow multiple generators to operate simultaneously

Allow systems with generator capacity less than peak load

Other settings \_\_\_\_\_

Allow systems with two types of wind turbines

Allow excess electricity to serve thermal load

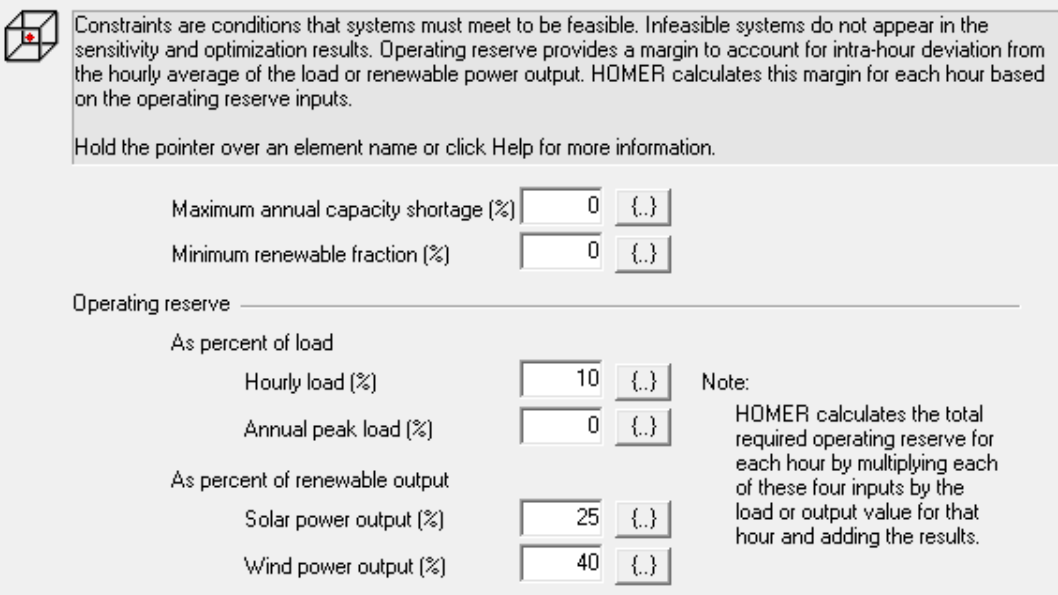
Limit excess thermal output (% of load)  {..}

*Figura 6.22: Configuració del sistema de control del HOMER*

En primer lloc, ens apareix el pas del temps de simulació, indicant el nombre de minuts entre càlculs, dins d'una mateixa simulació. Recordem que cada simulació serà calculada a vint anys vista. Aleshores, el valor per defecte serà d'1 h, i el deixarem intacte. Després, haurem d'escollir si voldrem treballar amb bateries o no, és a dir, si voldrem que el sistema només funcioni quan l'habitatge requereixi energia o si es vol que l'energia sobrant s'emmagatzemi en bateries. Clarament, escollirem la segona opció, indicant el percentatge de càrrega màxima de les bateries. Aquest valor serà igual al 80%, ja que a banda de ser un valor tabulat, en augmentar aquest percentatge el cicle de vida de la bateria disminuiria dràsticament.

Pel que fa a la resta d'opcions, les deixarem com estan per defecte. Aquestes opcions serviran per configurar els generadors emprats, que en el nostre cas no utilitzarem, i ens permetran treballar amb diverses turbines o fer servir l'excedent generat per la demanda d'ACS. Aquesta última opció no serà emprada perquè en els nostres càlculs, aquesta demanda ja ha estat inclosa en el balanç final.

**Limitacions del Sistema:** També, haurem de configurar les diferents limitacions del sistema. Seran les següents:



Constraints are conditions that systems must meet to be feasible. Infeasible systems do not appear in the sensitivity and optimization results. Operating reserve provides a margin to account for intra-hour deviation from the hourly average of the load or renewable power output. HOMER calculates this margin for each hour based on the operating reserve inputs.

Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

Maximum annual capacity shortage (%)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="()"/>	
Minimum renewable fraction (%)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="()"/>	
<b>Operating reserve</b>			
As percent of load			
Hourly load (%)	<input type="text" value="10"/>	<input type="button" value="()"/>	Note: HOMER calculates the total required operating reserve for each hour by multiplying each of these four inputs by the load or output value for that hour and adding the results.
Annual peak load (%)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="()"/>	
As percent of renewable output			
Solar power output (%)	<input type="text" value="25"/>	<input type="button" value="()"/>	
Wind power output (%)	<input type="text" value="40"/>	<input type="button" value="()"/>	

*Figura 6.23: Configuració de les imitacions del HOMER*

En primer lloc, ens preguntarà el màxim valor anual admissible de l'escassetat de capacitat anual, com a percentatge de la demanda anual total. És a dir, el dèficit d'electricitat que la instal·lació no és capaç de generar. Per consegüent, aquest valor serà igual a zero pel fet que no tolerarem cap manca d'energia. Després, podrem introduir el percentatge mínim d'energia provinent de fonts renovables. Normalment, posarem un 0% perquè el programa

no tingui en compte aquest factor. Ara bé, un cop investiguem i expliquem les diferents subvencions existents avui dia, introduïrem una limitació del 80%. Aquest serà el valor mínim per poder demanar ajuts econòmics a l'estat i l'haurem de tenir en compte de cara als càlculs. Per disposar d'un excedent d'energia, tindrem l'opció d'introduir un factor de seguretat en forma de percentatge. Aquest representarà la reserva d'energia emmagatzemada en el cas que la demanda augmentes de manera inesperada en una certa hora del dia. També, podrem introduir un altre factor de seguretat com a percentatge de reserva de la generació de cadascuna de les energies renovables utilitzades. Per l'energia fotovoltaica, el valor per defecte serà del 25% i pels aerogeneradors d'un 50%. Ara bé, al estar en una zona molt ventosa, reduïrem d'un 10% aquest valor. El percentatge de l'energia fotovoltaica serà menor que l'eòlica, perquè la generació elèctrica solar sol ser menys variable i imprevisible que l'eòlica.

**Restriccions de les emissions:** Aquesta pestanya serà molt útil quan estudiem sistemes amb generadors a base de combustibles fòssils o sistemes connectats a la xarxa elèctrica, sense cap energia renovable associada. Serveix per limitar les emissions de diferents tipus de contaminants com ara el CO<sub>2</sub>, el CO, els hidrocarburs no cremats, el SO<sub>2</sub> o els NO<sub>x</sub>. Nosaltres no contemplarem cap restricció atès que només utilitzarem energies renovables i a l'hora d'analitzar els resultats dels sistemes connectats a la xarxa, sempre ens anirà bé tenir la referència del consum de la xarxa amb les seves respectives emissions.

## 6.7. Variables i presentació dels resultats

Per més endavant facilitar la comprensió dels resultats, en aquest apartat tractarem d'explicar les diferents variables i la manera de presentar-los en el HOMER.

Primerament, a l'hora de fer les simulacions de qualsevol de les sis alternatives, ens trobarem amb una taula amb les diferents configuracions més òptimes amb diferents alternatives. Un exemple de la presentació dels resultats serà el següent:

Double click on a system below for simulation results.												
<input checked="" type="radio"/> Categorized <input type="radio"/> Overall												
<a href="#">Export...</a> <a href="#">Details...</a>												
				PV (kW)	SW	BAE	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
				25.6	1	9	8.8	\$ 36,475	-119	\$ 34,085	0.156	1.00
				37.2		13	8.8	\$ 41,055	-180	\$ 37,453	0.171	1.00
					9	12	8.8	\$ 88,532	14	\$ 88,818	0.406	1.00

*Figura 6.24: Exemple de la presentació dels resultats per una casa aïllada*

En aquesta taula de resultats, podem veure com les simulacions seran ordenades de més a menys econòmiques. Més concretament, la simulació més econòmica serà la de dalt de tot i

les següents aniran augmentant el preu progressivament.

Comentarem tot seguit d'esquerra a dreta les diferents variables que apareixen en aquesta figura:

**Columnes 1 a 4:** En aquestes columnes, podem veure quins components s'han tingut en compte per dimensionar una de les alternatives del sistema. En una casa aïllada, sempre farem ús de bateries i inversors. Ara bé, en una casa connectada, no sempre utilitzarem més d'un component.

**PV (kW):** Indica la quantitat de potència fotovoltaica a instal·lar. Si per exemple resulta que ens surt un valor de 10 kW i sabent que els nostres panells són de 0,4 kW, fent una divisió podem trobar que el nombre de panells serà igual a 25 unitats.

**SW:** Indica el nombre d'aerogeneradors a instal·lar.

**BAE:** Indica el nombre de bateries necessàries per subministrar tota l'energia necessària en qualsevol moment.

**Conv. (kW):** Representa la potència de l'inversor en kW necessari per aguantar els pics de demanda.

**Initial Capital:** Representa el capital inicial incloent els costos dels materials, d'instal·lació, dels components i mà d'obra.

**Operating cost (\$/yr):** Aquest serà el cost de les operacions realitzades al nostre sistema anuals. Aquesta variable normalment s'utilitza en projectes industrials, és a dir, quan s'han d'introduir variables com els preus dels treballadors d'una instal·lació, entre d'altres.

**Total NPC:** Aquesta variable indica el cost total del projecte al llarg de la seva vida útil. En el cas d'un habitatge no aïllat, també inclourà el preu de compra d'energia de la xarxa. Contràriament, a l'estudiar un habitatge aïllat, aquest cost serà un xic inferior al capital inicial degut a que el programa interpreta que al final del projecte, es vendran els panells o inversors de segona mà, a un preu molt reduït.

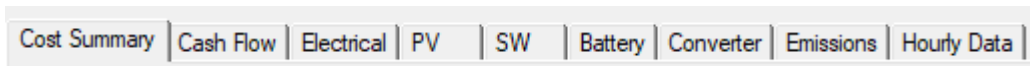
**COE (\$/kWh):** Aquesta serà la variable més important de cara a comparar les alternatives entre elles. Indica el cost mig del kWh produït pel sistema. Aquest cost serà en tots els casos comparat amb el cost de la xarxa (0,2 €/kWh) per concloure si l'alternativa serà viable o no.

**Ren. Frac. :** La fracció renovable és la part de l'energia total del sistema produïda provinent de fonts renovables. Com hem dit anteriorment, en les alternatives connectades a la xarxa, buscarem que aquest factor sigui igual al 80% per poder gaudir de les subvencions d'aquest

2022. D'altra banda, com és d'esperar, en les alternatives aïllades aquest valor serà igual a 1.

Per últim, assenyalar que a dalt a la dreta, tenim l'opció de visualitzar tots els resultats de totes les simulacions prement el botó de "Overall".

Un cop estudiades les dades principals, el programa també ens permetrà conèixer més al detall com s'han calculat. Quan accedim als resultats d'una alternativa podem optar per investigar sobre les següents qüestions:



*Figura 6.25: Diferents resultats consultables per cada simulació, diferents per cada alternativa*

A continuació, explicarem a què fan referència aquestes pestanyes. Cal dir, que tots els resultats de qualsevol pestanya seran exposats a través de taules i gràfics fàcils d'entendre. Definirem els següents apartats tal com:

**Cost Summary:** Aquesta pestanya mostra el resum dels costos que mostra flux de caixa total, categoritzat pel tipus de component o pel tipus de cost.

**Cash Flow:** Mostra els fluxos de caixa anuals i proporciona accés a la taula detallada amb tots els valors de l'estudi.

**Electrical:** Mostra detalladament la producció i el consum d'electricitat del sistema.

**PV:** Mostra els detalls sobre el funcionament de la matriu fotovoltaica.

**SW:** Mostra els detalls sobre el funcionament de l'aerogenerador.

**Grid:** Aquesta opció apareixerà quan estiguem connectats a la xarxa i mostrarà els detalls sobre les compravendes d'electricitat.

**Battery:** Aquest apartat mostra els detalls sobre l'ús i la vida útil de la bateria

**Converter:** Mostra els detalls sobre el funcionament de l'inversor i el rectificador, inclosa la capacitat, l'entrada o sortida elèctrica, les hores de funcionament i les pèrdues.

**Emissions:** Per últim, aquest apartat mostra els contaminants anuals emesos pel sistema.

Un cop explicades totes les variables de sortida del HOMER, procedirem a dimensionar les nostres sis alternatives comentades a l'apartat 6.1. Per facilitar al màxim les comparacions



entre elles, les agruparem de dos en dos de la següent manera:

- Residència principal aïllada contra connectada
- Segona residència sense termòstat aïllada contra connectada
- Segona residència amb termòstat aïllada contra connectada

A continuació, procedirem a seleccionar quines de les dues de cada apartat serà la òptima, més barata i més factible. Ara bé, per les conclusions finals ens quedarem amb només dues solucions de les tres escollides: una solució que representi l'habitatge com a residència principal i l'altre com a residència secundària amb termòstat o sense.

## 6.8. Resultats Residència Principal

Comencem per comparar les dues alternatives que simularan el nostre habitatge com a residència principal. Un cop simulades, el HOMER ens torna les següents taules de resultats:

Double click on a system below for simulation results.												
<input checked="" type="radio"/> Categorized <input type="radio"/> Overall												
Export... Details...												
	PV (kW)	SW	BAE	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.			
	25.6	1	9	8.8	\$ 36,475	-119	\$ 34,085	0.156	1.00			
	37.2		13	8.8	\$ 41,055	-180	\$ 37,453	0.171	1.00			
		5	24	8.8	\$ 76,484	14	\$ 76,770	0.351	1.00			

*Figura 6.26: Necessitats d'una residència principal aïllada de la xarxa*

Double click on a system below for simulation results.												
<input checked="" type="radio"/> Categorized <input type="radio"/> Overall												
Export... Details...												
	PV (kW)	SW	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.			
	11.6	1	5	100	\$ 14,198	850	\$ 31,203	0.142	0.80			
		4		100	\$ 30,420	769	\$ 45,807	0.209	0.81			

*Figura 6.27: Necessitats d'una residència principal connectada a la xarxa amb una "Sale Capacity" de 3,5 kW*

A partir dels resultats de les dues alternatives, estudiarem i seleccionarem les simulacions òptimes, és a dir, les que estan a la primera fila.

La millor opció per l'habitatge aïllat és la següent:

- 64 panells solars Seraphim (25,6 kW)



- 1 aerogenerador SouthWest (2,6 kW)
- 9 bateries BAE (4420 Ah)
- 1 inversor (8,8 kW)

Podem veure que el preu final al llarg dels vint anys (NPC) i el COE equivalen a 34.085 € i 0,156 €/kWh respectivament

La millor opció per l'habitatge connectat a la xarxa és la següent:

















- 29 panells solars Seraphim (11,6 kW)
- 1 aerogenerador SouthWest (2,6 kW)
- 1 inversor (5 kW)

En aquest cas, el preu final al llarg dels vint anys (NPC) i el COE equivalen a 31.203 € i 0,142 €/kWh respectivament.

A la vista dels resultats, ens quedarem amb l'alternativa connectada a la xarxa, degut a que el COE i NPC seran inferiors. A més a més, per l'habitatge aïllat, haver d'instal·lar 64 panells d'1 m x 2 m farà que aquesta alternativa sigui inviable a dia d'avui. Això no obstant, ambdues alternatives serien viables a llarg termini, ja que el COE és inferior al preu de la xarxa (0,2 €/kWh).

## 6.9. Resultats Segona residència sense termòstat

Un cop avaluades les simulacions pels consums de l'habitatge com a residència principal, procedirem a simular els resultats per l'habitatge com a segona residència sense termòstat. Les dues taules de resultats seran les següents:

Double click on a system below for simulation results.		<input checked="" type="radio"/> Categorized <input type="radio"/> Overall		Export...	Details...							
				PV (kW)	SW	BAE	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
				12.8		12	8.8	\$ 26,775	-53	\$ 25,723	0.247	1.00
				10.4	1	10	8.8	\$ 30,064	-40	\$ 29,263	0.281	1.00
					6	20	8.8	\$ 77,965	14	\$ 78,251	0.750	1.00

*Figura 6.28: Necessitats d'una segona residència sense termòstat aïllada de la xarxa*

Double click on a system below for simulation results.  Categorized  Overall [Export...](#) [Details...](#)

	PV (kW)	SW	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	8.8		5	100	\$ 5,130	677	\$ 18,663	0.179	0.80
	5.2	1	5	100	\$ 10,854	472	\$ 20,290	0.194	0.84
		3		100	\$ 22,815	469	\$ 32,198	0.308	0.86

*Figura 6.29: Necessitats d'una segona residència sense termòstat connectada a la xarxa amb una "Sale Capacity" de 1,7 kW*

L'opció òptima per l'habitatge aïllat és la següent:

- 32 panells solars Seraphim (12,8 kW)
- 0 aerogeneradors SouthWest (2,6 kW)
- 12 bateries BAE (4420 Ah)
- 1 inversor (8,8 kW)

El preu final al llarg dels vint anys (NPC) i el COE equivalen a 25.723 € i 0,247 €/kWh respectivament.

L'opció òptima per l'habitatge connectat a la xarxa és la següent:

- 22 panells solars Seraphim (8,8 kW)
- 0 aerogeneradors SouthWest (2,6 kW)
- 1 inversor (5 kW)

En aquest cas, el preu final al llarg dels vint anys (NPC) i el COE equivalen a 18.663 € i 0,179 €/kWh respectivament.

Observem que l'alternativa aïllada no serà rendible al llarg dels anys degut a que el COE és major a 0,2 €/kWh (preu de compra de l'electricitat de la xarxa). Per contra, l'alternativa connectada sí que ho serà i per tant, serà l'escollida en aquest apartat.

## 6.10. Resultats Segona residència amb termòstat

Finalment, procedirem a simular els resultats per l'habitatge com a segona residència amb termòstat. En aquest apartat decidirem quina de les dues alternatives amb termòstat serà més òptima i al final, decidirem quina de les quatre alternatives de l'habitatge com a segona residència serà l'escollida. Fent la simulació, obtenim els resultats següents:

Double click on a system below for simulation results.  Categorized  Overall [Export...](#) [Details...](#)

	PV (kW)	SW	BAE	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	24.0		12	8.8	\$ 32,627	-111	\$ 30,405	0.199	1.00
	18.0	1	9	8.8	\$ 32,504	-80	\$ 30,909	0.203	1.00
		6	20	8.8	\$ 77,965	14	\$ 78,251	0.513	1.00

*Figura 6.30: Necessitats d'una segona residència amb termòstat aïllada de la xarxa*

Double click on a system below for simulation results.  Categorized  Overall [Export...](#) [Details...](#)

	PV (kW)	SW	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	5.6	1	5	100	\$ 11,063	779	\$ 26,635	0.175	0.80
	12.4		5	100	\$ 7,011	1,022	\$ 27,444	0.180	0.80
		3		100	\$ 22,815	753	\$ 37,883	0.248	0.83

*Figura 6.31: Necessitats d'una segona residència amb termòstat connectada a la xarxa amb una "Sale Capacity" de 1 kW*

Double click on a system below for simulation results.  Categorized  Overall [Export...](#) [Details...](#)

	PV (kW)	SW	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	6.0	1	5	100	\$ 11,272	676	\$ 24,801	0.163	0.81
	12.4		5	100	\$ 7,011	921	\$ 25,429	0.167	0.80
		3		100	\$ 22,815	665	\$ 36,109	0.237	0.83

*Figura 6.32: Necessitats d'una segona residència amb termòstat connectada a la xarxa amb una "Sale Capacity" de 1,7 kW*

En aquest cas, veiem que a diferència de la resta de comparatives, utilitzarem dues taules per mostrar els resultats de les simulacions connectades a la xarxa. Després de comentar l'opció òptima aïllada, explicarem aquesta anomalia.

La millor opció per l'habitatge aïllat és la següent:

- 60 panells solars Seraphim (24 kW)
- 0 aerogeneradors SouthWest (2,6 kW)
- 12 bateries BAE (4420 Ah)
- 1 inversor (8,8 kW)

El preu final al llarg dels vint anys (NPC) i el COE equivalen a 30.405 € i 0,199 €/kWh respectivament.

Ara bé, per la segona alternativa connectada, com s'ha explicat al final de l'apartat 6.7, tenim

un problema amb la venda d'excedents. En la figura 6.31, hem aplicat un "Sale Capacity" igual a 1 kW. Aquest valor limitarà la venda d'excedents pels mesos més crítics de l'opció òptima, és a dir, la de la primera fila. Malgrat això, el COE de la segona opció (0,18 €/kWh) és gairebé idèntic al de la primera (0,175 €/kWh), però quan mirem la venda d'excedents, ens adonem que no es ven tot l'excedent possible, atès que hem limitat la venda a 1 kW. Per això, hem anat variant aquest valor fins a aconseguir una venda d'excedents òptima per la simulació següent (segona fila), que ha resultat ser per un valor d'1,7 kW. La taula final ordenada amb les dues simulacions òptimes, hauria de ser la següent:

Double click on a system below for simulation results.											
<input checked="" type="radio"/> Categorized <input type="radio"/> Overall											
Export... Details...											
		PV (kW)	SW	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	
		12.4		5	100	\$ 7,011	921	\$ 25,429	0.167	0.80	
		5.6	1	5	100	\$ 11,063	779	\$ 26,635	0.175	0.80	

*Figura 6.33: Reconstituïció dels resultats d'una segona residència amb termòstat connectada a la xarxa, amb una venda d'excedents correctament dimensionada*

Aleshores, la millor opció per l'habitatge connectat a la xarxa passa a ser la següent:

- 31 panells solars Seraphim (12,4 kW)
- 0 aerogeneradors SouthWest (2,6 kW)
- 1 inversor (5 kW)

En aquest cas, el preu final al llarg dels vint anys (NPC) i el COE equivalen a 25.429 € i 0,167 €/kWh respectivament.

Aleshores, entre les dues alternatives de l'habitatge com a segona residència amb termòstat s'escollirà l'alternativa connectada a la xarxa degut al seu menor cost total i COE.

Un cop escollida la millor simulació, tractarem de triar quina alternativa com a segona residència serà la més òptima. Compararem l'opció escollida en l'apartat 6.9 i la que acabem d'escollir en els paràgrafs anteriors. Ara bé, aquesta comparació no es podrà fer directament, ja que els COE's representen els costos per kWh, i els consums de les alternatives amb termòstat o sense son diferents. Per tant, per comparar les dues alternatives més òptimes, mirarem raonarem quina és millor a partir de diferents variables. Aquestes seran:

Opció òptima per l'habitatge com a segona residència sense termòstat:

- 22 panells solars Seraphim (8,8 kW).
- 0 aerogeneradors SouthWest (2,6 kW).

- 1 inversor (5 kW).
- NPC = 18.663 €.
- COE = 0,179 €/kWh
- Inversió inicial: 5.130 €.
- Cost de l'electricitat anual comprada a la xarxa sense energies renovables: 1.044 €/any.
- Cost de l'electricitat anual comprada a la xarxa amb energies renovables: 718 €/any.
- NCP estimat amb subvencions aplicades: inferior a 12.900 €
- COE amb subvencions aplicades: inferior a 0,124 €/kWh

Opció òptima per l'habitatge com a segona residència amb termòstat:

- 31 panells solars Seraphim (12,4 kW).
- 0 aerogeneradors SouthWest (2,6 kW).
- 1 inversor (5 kW).
- NPC = 25.429 €.
- COE = 0,167 €/kWh
- Inversió inicial: 7.011 €.
- Cost de l'electricitat anual comprada a la xarxa sense energies renovables: 1.526 €/any.
- Cost de l'electricitat anual comprada a la xarxa amb energies renovables: 981 €/any.
- NCP estimat amb subvencions aplicades: inferior a 19.350 €
- COE amb subvencions aplicades: inferior a 0,127 €/kWh

Un cop analitzades les variables en joc, cal dir que pel que fa als càlculs relatius a les subvencions, aquests seran explicats amb detall a l'apartat 7 del treball. Tanmateix, només s'han aplicat les subvencions variables, que depenen de la potència d'energies renovables instal·lades a l'habitatge. Finalment, de les opcions possibles, s'ha escollit **l'opció sense termòstat connectada a la xarxa**. El fet és que l'alternativa de la segona residència amb termòstat, consumeix bastant més energia i per tant té un cost més elevat. A més, la inversió inicial i el NPC del cas sense termòstat és molt més atractiva i no desgasta les bombes de calor de l'habitatge. Aquest desgast no s'ha tingut en compte en el preu i com que no hi ha una gran diferència entre alternatives, conclourem que l'alternativa amb termòstat no serà òptima. I un cop aplicades les subvencions, ens adonem que aquestes seran molt més atractives pel model sense termòstat. Per últim, cal comentar que els NPC i COE amb subvencions han estat expressats com "inferiors a" perquè només hem aplicat la subvenció variable, però no les fixes, que són iguals per totes les alternatives.

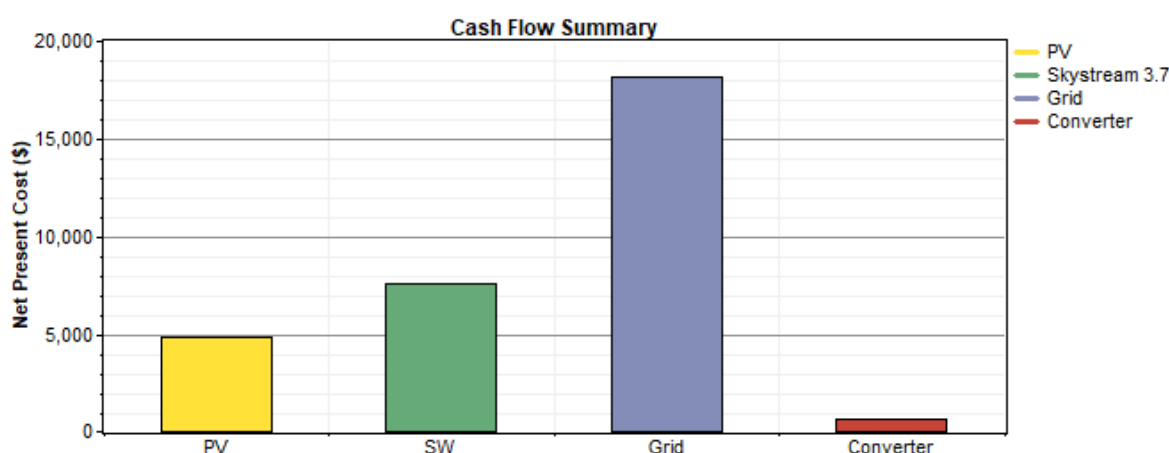
## 6.11. Resultats detallats de les dues alternatives escollides

Un cop hem seleccionat dues de les sis alternatives que teníem al començament, comentarem els resultats que obtenim al HOMER per cadascuna d'elles. Per fer-ho més fàcil, distingirem aquestes alternatives amb les majúscules A i B.

### Alternativa A: Residència principal connectada a la xarxa

- 29 panells solars Seraphim (11,6 kW)
- 1 aerogenerador SouthWest (2,6 kW)
- 1 inversor (5 kW)
- NPC = 31.203 €
- COE = 0,142 €/kWh
- Inversió inicial = 14.198 €

Primer de tot, calcularem a veure quin és el flux de caixa net total dels diferents components del sistema. La gràfica proporcionada pel HOMER serà la següent:



*Figura 6.34: Gràfic mostrant el flux de caixa total de l'alternativa A*

En aquesta figura 6.34 podem veure els costos de cada component, al llarg dels vint anys del projecte. Com podem observar, el que incrementarà la despesa serà la compra d'energia provinent de la xarxa degut a la necessitat d'aquesta en les hores crítiques del dia com el vespre o d'hora al matí. A més, considerant un preu de xarxa a 0,2 €/kWh, ja era d'esperar que la compra d'energia fos el més car.

Tanmateix, el HOMER també ens facilita una taula amb els costos totals del sistema

desglossats en diversos apartats.

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
PV	6,061	0	0	0	-1,212	4,849
Skystream 3.7	7,605	0	0	0	0	7,605
Grid	0	0	18,128	0	0	18,128
Converter	532	266	0	0	-177	621
System	14,198	266	18,128	0	-1,390	31,203

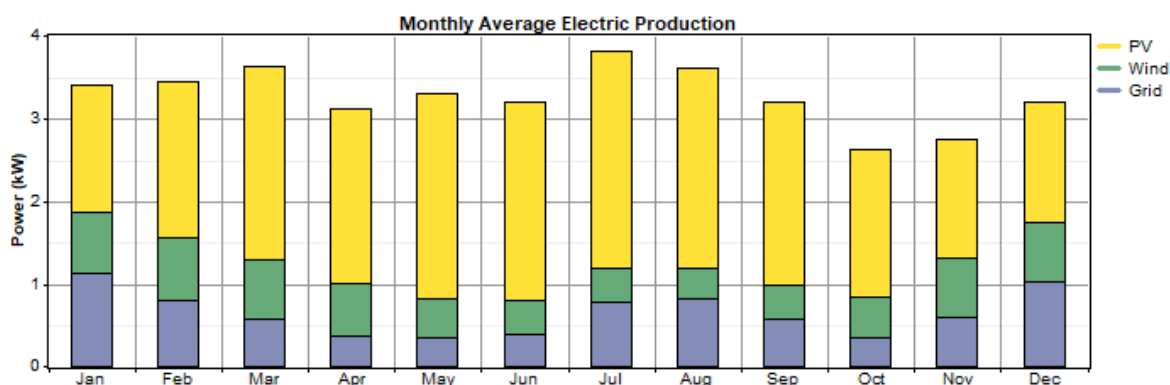
*Taula 6.4: Costos desglossats de l'alternativa A*

El cost total del sistema ha estat desglossat en cinc parts diferents: la inversió inicial ("Capital"), els costos de reemplaçament ("Replacement"), els costos operatius ("O&M"), els costos de combustible ("Fuel") i el valor de depreciació dels components ("Salvage"). El cost total net es veurà afectat especialment pel cost de la inversió inicial dels panells solars, aerogeneradors i inversors, i per la compra d'energia a la xarxa. D'altra banda, el software assumirà una depreciació lineal dels components. Aquesta serà indicada en l'apartat de "Salvage" i serà directament proporcional al temps de vida restant del component. Per tant, com hem dit anteriorment, el cost total net pel nostre habitatge com a residència principal serà de 31.203 €.

Un cop estudiada la part econòmica, estudiarem el balanç energètic del sistema. En l'apartat "Electrical" de la figura 6.25, trobarem la següent informació:

Production	kWh/yr	%	Consumption	kWh/yr	%	Quantity	kWh/yr	%
PV array	18,036	63	AC primary load	10,950	51	Excess electricity	5,923	20.6
Wind turbine	5,039	18	Grid sales	10,618	49	Unmet electric load	0.00000340	0.0
Grid purchases	5,627	20	Total	21,568	100	Capacity shortage	0.00	0.0
Total	28,702	100				Quantity	Value	
						Renewable fraction	0.804	

*Figura 6.35: Balanç energètic global de l'alternativa A*



*Figura 6.36: Producció elèctrica mensual de l'alternativa A*

En aquestes darreres figures, podem veure el comportament elèctric de l'habitatge. Primerament, a l'esquerra de la figura 6.35 podem veure la generació elèctrica del habitatge i la compra d'energia provinent de la xarxa. Com ja hem dit, aquesta alternativa constava de panells solars i un aerogenerador. Pel que fa a la producció d'energia de cadascun d'aquests components, concretament els panells, produiran un total de 18.036 kWh/any i representarà el 63% de la producció de l'energia total. D'altra banda, l'aerogenerador produirà 5.039 kWh/any, que equivaldrà a un 18% de l'energia total produïda. Ara bé, com hem explicat anteriorment, en el HOMER hem imposat que com a mínim, l'energia produïda i destinada a alimentar l'habitatge sigui un 80% renovable. I comprovem, que la suma d'aquests dos percentatges compleix amb el mínim imposat. També podem veure la demanda total anual de l'habitatge, que serà igual a 10.950 kWh/any, i la quantitat d'energia venuda al sistema. Per últim, el sistema generarà un excés d'electricitat corresponent al 20,6% de l'energia total produïda i el percentatge de demanda no satisfeta ("Unmet electric load") serà igual al 0% (taula dreta de la figura 6.35).

D'altra banda, la figura 6.36 ens mostra la producció elèctrica de cada tipus de component del sistema. Per aquesta alternativa en concret, tindrem una generació majoritàriament fotovoltaica, acompanyada de l'energia eòlica i de la xarxa. Comparant aquest gràfic amb la figura 6.34, podem veure com el preu del kWh produït per les energies renovables és molt més baix que el preu de la xarxa de 0,2 €/kWh. Tanmateix, també podem relacionar aquesta figura amb l'apartat 3.2.3 on explicàvem la compatibilitat de l'energia solar i eòlica en el municipi del nostre habitatge. Aleshores, podem veure com durant les èpoques caloroses el sol serà la principal font d'energia, a diferència de les èpoques més fredes, on el vent serà predominant acompanyat d'un augment d'energia elèctrica importada de la xarxa. Per últim, només cal comentar que l'energia importada de la xarxa serà diferent per cada mes, i s'adaptarà al consum mensual introduït al HOMER.

Per acabar, explicarem com funciona la venda d'excedents a la xarxa. Per això, utilitzarem la taula següent facilitada pel HOMER:



Month	Energy	Energy	Net	Peak	Energy
	Purchased	Sold	Purchases	Demand	Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)
Jan	834	664	170	7	134
Feb	533	767	-234	5	68
Mar	421	1,025	-603	4	33
Apr	266	995	-729	3	3
May	253	1,100	-847	3	-4
Jun	287	1,027	-740	3	6
Jul	575	1,019	-443	5	64
Aug	606	917	-311	5	75
Sep	411	869	-458	4	39
Oct	252	893	-641	3	6
Nov	427	711	-284	4	50
Dec	760	632	128	6	120
Annual	5,627	10,618	-4,992	7	594

*Taula 6.5: Balanç energètic de la xarxa per l'alternativa A*

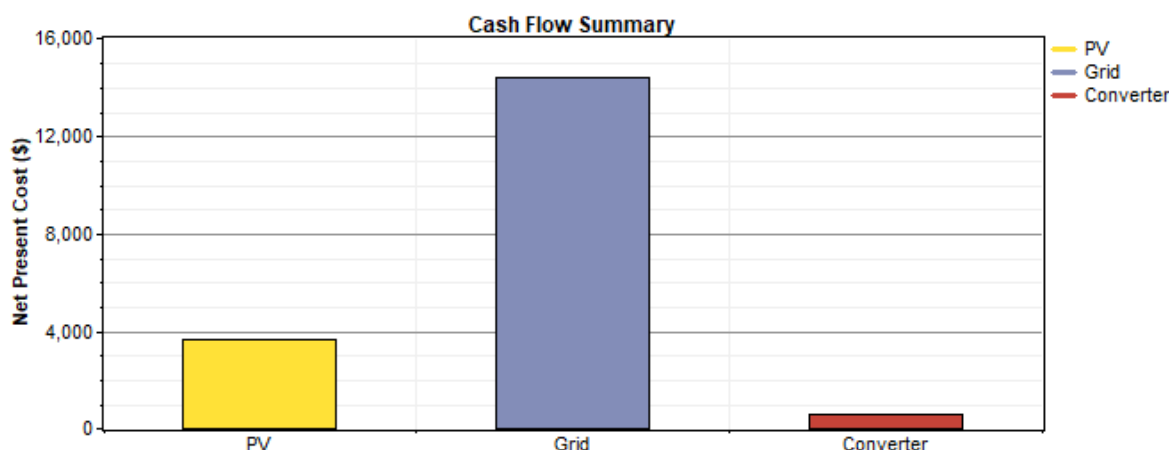
Aquesta taula ens mostra la quantitat d'energia comprada o venuda a la xarxa i el balanç final per cada mes. Com hem dit, el preu de compra serà de 0,2 €/kWh i el preu de venda serà de 0,05 €/kWh. Per consegüent, l'excedent màxim que podem vendre serà 4 vegades més gran que l'energia comprada aquell mes. Normalment, si venem més energia que la que importem de la xarxa, en el sistema espanyol es consideraria energia perduda. Ara bé com el programa està programat pel sistema estatunidenc, considerarà que l'energia venuda de més, generarà un benefici en la factura elèctrica. Per tant, en aquest cas, hem limitat aquesta venda en una venda total d'excedents ("Sale Capacity") a 3,5 kW. En la columna més a la dreta, podem veure com el balanç d'energia pel mes més crític serà en el mes de maig. Més concretament, per aquest més, hem considerat vàlid vendre 4 € a la xarxa, degut a que afinar aquest valor a 0 és força complicat. A més, considerant que la venda d'excedents ha estat limitada al mes de maig, la resta de mesos no es podrà vendre tot el seu potencial. Per tant, limitar la venda al mes més crític augmentarà els costos totals del sistema. Aleshores, aquests 4 € no ens suposen cap problema.

En l'última fila podem veure el total del sumatori de totes les columnes. Si ens fixem en l'última casella de l'última fila i l'última columna, trobem el cost de l'energia anual calculat com la diferència entre l'energia comprada i venuda amb els seus respectius preus (594 €). Cal dir, que els 594 € són aproximats, ja que els resultats són donats en nombres enters. Aleshores, per calcular el cost total anual de l'energia importada de la xarxa, faltaria sumar-li els 312 € corresponents a la part fixa anual de la factura elèctrica, calculats al final de l'apartat 6.5. Fent la suma d'aquests i multiplicant-lo per vint anys, obtindrem el cost total de l'energia subministrada per la xarxa, és a dir, els 18.128 €.

### **Alternativa B: Segona residència sense termòstat connectada a la xarxa**

- 22 panells solars Seraphim (8,8 kW).
- 0 aerogeneradors SouthWest (2,6 kW).
- 1 inversor (5 kW).
- NPC = 18.663 €.
- COE = 0,179 €/kWh
- Inversió inicial: 5.130 €.

Aquí també començarem descrivint el flux de caixa net total desglossat en funció dels diferents components del sistema. La gràfica a estudiar serà la següent:



*Figura 6.37: Gràfic mostrant el flux de caixa total de l'alternativa B*

Igual que en la figura 6.34, podem veure els costos de cada component al llarg de la vida del projecte. Un altra vegada, i aquest cop amb més diferència, podem veure com l'energia importada de la xarxa serà la despesa més important. Com hem dit anteriorment, aquest resultat era d'esperar considerant un preu de compra de 0,2 €/kWh.

Pel que fan els costos totals del sistema, estudiarem la següent taula:

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
PV	4,598	0	0	0	-920	3,678
Grid	0	0	14,364	0	0	14,364
Converter	532	266	0	0	-177	621
System	5,130	266	14,364	0	-1,097	18,663

*Taula 6.6: Costos desglossats de l'alternativa B*

Com ja hem dit, els costos més importants tornaran a ser el de l'electricitat de la xarxa i dels components responsables de subministrar energia renovable a l'habitatge. També es tindrà en compte el valor de depreciació dels components. El preu final a vint anys vista d'aquesta alternativa serà de 18.663 € (NPC).

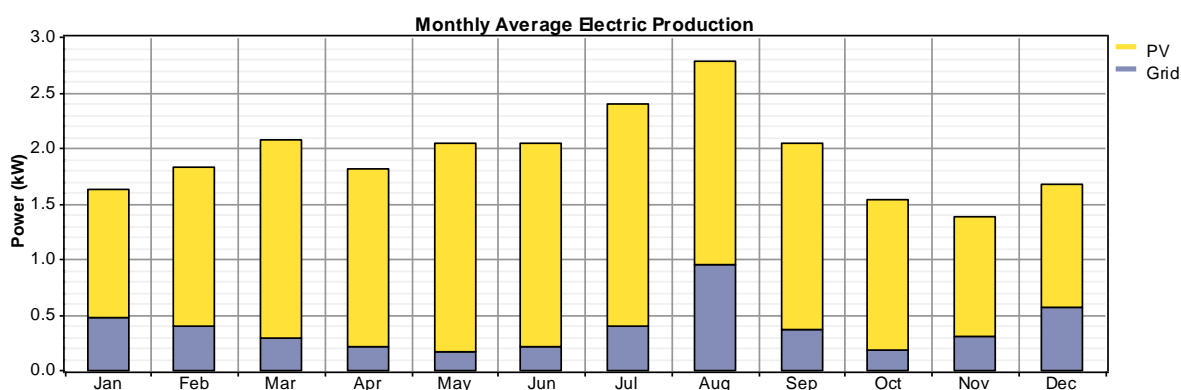
Un cop estudiada la part econòmica, comentarem el balanç energètic del sistema facilitat pel HOMER en l'apartat "Electrical" de la figura 6.25.

Production	kWh/yr	%	Consumption	kWh/yr	%	Quantity	kWh/yr	%
PV array	13,683	80	AC primary load	5,220	50	Excess electricity	5,847	34.4
Grid purchases	3,319	20	Grid sales	5,152	50	Unmet electric load	0.00	0.0
Total	17,002	100	Total	10,371	100	Capacity shortage	0.00	0.0

Quantity	Value
Renewable fraction	0.805

*Figura 6.38: Balanç energètic global de l'alternativa B*



*Figura 6.39: Producció elèctrica mensual de l'alternativa B*

En aquesta alternativa, podem remarcar que tota l'energia renovable provindrà dels panells fotovoltaics. També, podem veure que l'energia total consumida per l'habitatge serà la meitat que la de l'alternativa anterior. Aquest valor era d'esperar, ja que estem comparant el consum d'una residència principal amb una segona residència. Com hem imposat en el programa, la generació fotovoltaica serà igual al 80% de l'energia consumida per l'habitatge. Ara bé, en aquest cas ens adonem que l'excés d'electricitat produït és igual a 34,4%. Això és conseqüència de què dependrem d'energia solar i al dimensionar la instal·lació sense energia eòlica, sols generarem energia durant les hores de sol. Per tant, el dimensionament de plaques i l'excés d'energia generat serà major.

Per acabar, tornarem a comentar el balanç energètic de la xarxa, que podem veure en la taula 6.7. Com hem dit, l'excedent màxim que podem vendre serà 4 vegades major que l'energia comprada a la xarxa aquell mes. En aquest cas, per obtenir els resultats de l'última columna, hem limitat la venda d'excedents a 1,7 kW. Com ja ens ha passat en l'alternativa anterior, el mes més crític tornarà a ser el mes de maig, i, per consegüent, tornarà a ser el mes més limitant d'aquesta alternativa. Com era d'esperar, al reduir el consum energètic de l'habitatge, el balanç final de costos per la xarxa serà menor comparat a l'alternativa anterior.

Month	Energy	Energy	Net	Peak	Energy
	Purchased	Sold	Purchases	Demand	Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)
Jan	354	309	45	7	55
Feb	264	358	-94	6	35
Mar	223	477	-254	4	21
Apr	153	472	-319	3	7
May	127	543	-416	3	-2
Jun	151	528	-377	3	4
Jul	296	532	-236	5	33
Aug	705	441	264	5	119
Sep	263	435	-171	4	31
Oct	141	431	-291	3	7
Nov	221	317	-96	4	28
Dec	420	309	111	7	69
Annual	3,319	5,152	-1,833	7	406

*Taula 6.7: Balanç energètic de la xarxa per l'alternativa B*

## 6.12. Taula resum de totes les alternatives estudiades

En aquest últim apartat, presentarem una taula resum amb les sis alternatives i els seus resultats associats. Marcarem en color verd les alternatives escollides com a òptimes pel cas d'un habitatge com a residència principal i també com a residència secundària.

Alternatives		Tipus de component	Nº components	Potència equivalent (kW)	Inversió inicial (€)	NPC (€)	COE (€/kWh)	Fracció Renewable
Residència principal	Aïllada	Panell solar	64	25,6	36.475 €	34.085 €	0,156	1
		Aerogenerador	1	2,6				
		Bateries	9	---				
		Inversor	1	8,8				
	Connectada	Panell solar	29	11,6	14.198 €	31.203 €	0,142	0,8
		Aerogeneradors	1	2,6				
Inversor		1	5					
Segona residència sense termòstat	Aïllada	Panell solar	32	12,8	26.775 €	25.723 €	0,247	1
		Aerogenerador	0	0				
		Bateries	12	---				
		Inversor	1	8,8				
	Connectada	Panell solar	22	8,8	5.130 €	18.663 €	0,179	0,8
		Aerogeneradors	0	0				
Segona residència amb termòstat	Aïllada	Panell solar	60	24	32.627 €	30.405 €	0,199	1
		Aerogenerador	0	0				
		Bateries	12	---				
		Inversor	1	8,8				
	Connectada	Panell solar	31	12,4	7.011 €	25.429 €	0,167	0,8
		Aerogeneradors	0	0				
		Inversor	1	5				

*Taula 6.8: Resum del conjunt d'alternatives estudiades (Font pròpia)*

## 7. AJUTS ECONÒMICS

### 7.1. Ajuts enfocats a l'autoconsum

Avui dia, trobem ajuts econòmics molt diversos pel que fa a la transformació energètica del país. El 29 de juny del 2021, el govern va aprovar 1320 milions d'euros destinats a l'autoconsum, l'ús de bateries solars i la climatització renovable. Aquest fons pel desenvolupament de les energies renovables conegut pel nom "NextGenerationEU" prové de la Comissió Europea i té com a objectiu fomentar l'ecologisme, l'era digital i les energies netes [65]. Dins l'autoconsum, les tecnologies subvencionables són la fotovoltaica i l'eòlica, ja siguin instal·lades en sistemes connectats o aïllats de la xarxa. En l'àmbit nacional, trobem sis programes d'ajuts econòmics diferents:

- 1) Autoconsum i emmagatzematge en el sector serveis, on es destinaran 120 milions.
- 2) Autoconsum i emmagatzematge en altres sectors productius com la indústria o el sector primari. En aquest sector seran destinats 175 milions.
- 3) Incorporació d'emmagatzematge en autoconsums existents en sectors econòmics. En aquest cas s'oferiran 45 milions.
- 4) Autoconsum i emmagatzematge en el sector residencial, públic i terciari, on es destinaran 215 milions.
- 5) Incorporació d'emmagatzematge en autoconsum dels sectors residencial, públic i terciari amb 5 milions pressupostats.
- 6) Climatització i aigua calenta sanitària obtinguda amb energies renovables (a través de panells solars tèrmics) en el sector residència, inclòs l'habitatge públic protegit. Per aquest últim apartat, es destinaran uns 100 milions.

D'aquests programes, a nosaltres sols ens interessarà el programa número 4, ja que està destinat al sector residencial i concretament a les noves instal·lacions d'energies renovables. Podríem pensar que el programa número 5 també ens seria útil, però aquest està pensat per incorporar bateries un cop ja tinguem la instal·lació solar o eòlica instal·lada en l'habitatge. Pel que fa al número 6, tampoc ens interessarà perquè només té en compte la generació elèctrica a partir de panells fotovoltaics tèrmics. D'altra banda, aquests ajuts varien en funció de cada comunitat autònoma. Pel que fa a Catalunya, consultant la pàgina web de la

Generalitat, obtindrem la taula d'ajuts següent específica d'aquesta comunitat autònoma [66]:

Línia ajuts	Actuació	Pressupost (€)
Autoconsum serveis	Autoconsum	18.946.381
	Emmagatzematge	3.789.276
Autoconsum indústria i primari	Autoconsum	26.207.506
	Emmagatzematge	4.886.513
Emmagatzematge serveis, indústria i primari	Emmagatzematge	9.046.914
Autoconsum residencial, AAPP i tercer sector	Autoconsum	32.570.161
	Emmagatzematge	2.442.762
Emmagatzematge residencial, AAPP i tercer sector	Emmagatzematge	814.254
Renovables tèrmiques residencial	Renovables tèrmiques	16.285.081
<b>TOTAL</b>		<b>114.988.848</b>

*Taula 7.1: Ajuts desglossats per cada programa a Catalunya [66]*

A continuació, veurem quins són els costos elegibles d'aquests ajuts. Aquests seran desglossats pels sis programes diferents:

- Els costos d'inversió en equips i materials
- Costos d'execució d'obres
- Costos d'equipaments electromecànics, hidràulics i de control
- Sistemes elèctrics generals d'AT i BT
- Sistemes de gestió i monitorització
- Sistemes de mesures del recurs
- Obra civil relacionada amb el projecte
- Cost desmantellament d'instal·lacions existents
- Costos de redacció de projectes o memòries tècniques
- Costos de direcció facultativa
- Coordinació de seguretat i salut de l'obra
- Costos de gestió de la sol·licitud i justificació de l'ajut

També, serà molt important tenir en compte les restriccions del programa 4 a l'hora de dimensionar una instal·lació. Per començar, s'haurà de demostrar que el propietari de l'habitatge romandrà en la seva propietat almenys cinc anys des de la instal·lació del sistema. Després, caldrà justificar, que en el còmput anual, l'energia elèctrica consumida per l'habitatge, serà igual o superior al 80% de l'energia generada per les fonts renovables. D'aquí prové aquest valor que hem imposat en el HOMER per les alternatives connectades a la xarxa. Per les que estan aïllades no farà falta limitar aquest factor perquè sempre

obtindrem tota l'energia a través de fonts renovables.

Un cop introduïdes les alternatives i el programa que ens interessa amb les seves restriccions associades, procedirem a explicar els diferents imports subvencionables.

Actuaciones	Módulo [Ayuda (€/kWp)]	Módulo para el caso de autoconsumo colectivo [Ayuda (€/kWp)]
Instalación Fotovoltaica autoconsumo (1.000 kWp < P ≤ 5.000 kWp).	300	355
Instalación Fotovoltaica autoconsumo (100 kWp < P ≤ 1.000 kWp).	350	420
Instalación Fotovoltaica autoconsumo (10 kWp < P ≤ 100 kWp).	450	535
Instalación Fotovoltaica autoconsumo (P ≤ 10 kWp).	600	710
Instalación eólica (500 kW < P ≤ 5.000 kW) para autoconsumo.	650	775
Instalación eólica (20 kW < P ≤ 500 kW) para autoconsumo.	1.950	2.250
Instalación eólica (P ≤ 20 kW) para autoconsumo.	2.900	3.350

*Taula 7.2: Intensitat dels ajuts del programa 4 pel sector residencial a Catalunya [66]*

En aquesta figura, el més rellevant a comentar serà la diferència d'imports subvencionables en funció de la potència instal·lada d'energia solar o eòlica. Veiem doncs com a menor potència instal·lada, podrem optar a un major ajut, és a dir, que els costos per kW instal·lat no són lineals. Aquesta diferència és dona perquè es considera que per a potències baixes, les subvencions seran demanades per persones físiques que pretenen utilitzar l'autoconsum per alimentar el seu habitatge personal. Per contra, les potències majors seran destinades a alimentar energèticament blocs de pisos o fins i tot comunitats o pobles sencers. Per últim, comentar que aquests ajuts són molt interessants, ja que disminuiran dràsticament el preu de les alternatives seleccionades en l'apartat 6.11.

També és important tenir en compte, altres ajuts addicionals a l'hora de dimensionar les instal·lacions d'autoconsum. Primer de tot existeixen ajuts addicionals per l'eliminació d'amiantos en cobertes i la instal·lació de panells fotovoltaics sobre marquesines. En el nostre cas, no ens seran útils, ja que l'habitatge no disposa d'amiantos ni instal·larem panells en marquesines. Tanmateix, existeix un ajut addicional per repte demogràfic per municipis de fins a 5000 habitants. Aquest ajut té com a objectiu animar a implementar energies renovables en habitatges unifamiliars, normalment majoritaris en pobles amb poca demografia. Si recordem les dades vistes en la figura 4.2, aquestes ens indicaven com el consum energètic d'aquests habitatges aïllats unifamiliars, consumien una major quantitat d'energia i per tant, contaminaven més el medi ambient. La taula d'ajuts per repte demogràfic serà la següent:







deducció per les instal·lacions d'autoconsum. D'altra banda, amb relació a les deduccions d'IRPF, seran establertes per cadascuna de les comunitats autònomes. En la taula següent, podem veure alguns percentatges de deducció de l'IBI o l'ICIO per certs municipis:

Ayuntamiento	IBI	AÑOS	USO APLICABLE	ICIO
Badalona	50%	4	RESIDENCIAL	50%
Barcelona	50%	3	TODOS	95%
Canovelles	50%	5	TODOS	95%
Sabadell	50%	5	RESIDENCIAL	95%
Girona	50%	5	RESIDENCIAL	95%
Lleida	50%	5	RESIDENCIAL	95%
Tortosa	20%	5	TODOS	90%
Calafell	50%	3	TODOS	95%

*Taula 7.4: Percentatges de deducció de l'IBI i l'ICIO d'alguns municipis [67]*

En el cas del municipi de Vilamaniscle, s'ha preguntat a l'ajuntament quines serien les bonificacions adients. Un cop obtinguda la resposta, malauradament els ajuts d'aquest poble seran menors comparats a altres municipis. Pel que fa l'ICIO, aquest serà bonificat al 100%, però la deducció de l'IBI correspondrà a un 25% durant un sol any.

Per últim, les deduccions de l'IRPF sols existeixen en unes poques comunitats autònomes arreu l'estat espanyol [68]. I concretament a Catalunya, no existeixen deduccions per la instal·lació d'un sistema d'autoconsum. Ara bé, la Comunitat Valenciana, la regió de Múrcia i pròximament en la comunitat de Castilla y León, sí que ofereixen deduccions del 20% per invertir en instal·lacions mediambientals enfocades a l'autoconsum. Esperem doncs que algun dia no molt llunyà, aquestes bonificacions arribin a Catalunya.

### 7.3. Costos finals

Un cop vistos tots els ajuts econòmics, només ens queda aplicar-los a les dues alternatives seleccionades. Aleshores, per calcular els costos finals, calcularem primer els costos amb només el primer ajut enfocat a l'autoconsum i seguidament, calcularem els costos definitius amb ambos ajuts, és a dir, incloent-hi també els incentius fiscals.

#### 7.3.1. Costos incloent l'ajut a l'autoconsum

Tal com hem procedit fins ara, a l'hora de comparar alternatives per introduir els ajuts en els

càlculs finals, haurem d'actualitzar el valor de l'NPC i del COE. Pel que fa el NPC, només haurem de calcular la diferència entre l'import inicial i la deducció corresponent. Ara bé, pel que fa el COE, el calcularem amb la mateixa fórmula del HOMER. Aquesta és la següent:

$$COE = \frac{C_{ann,tot} - c_{boiler} \cdot E_{thermal}}{E_{prim,AC} + E_{prim,DC} + E_{grid,sales}} \quad (7.1)$$

$C_{ann,tot}$  = cost total anual del sistema en €/any

$c_{boiler}$  = cost marginal de la caldera en €/kWh

$E_{thermal}$  = càrrega tèrmica total servida en kWh/any

$E_{prim,AC}$  = demanda AC primària servida en kWh/any

$E_{prim,DC}$  = demanda DC primària servida en kWh/any

$E_{grid,sales}$  = vendes totals a la xarxa en kWh/any

Pel que fa aquesta equació, veiem que el numerador representa el cost total anual del sistema i en el denominador l'energia total anual consumida per l'habitatge. En el nostre estudi, la càrrega tèrmica total servida serà igual a 0, ja que no reaprofitarem l'energia sobrant per escalfar l'aigua sanitària. També, el terme de la demanda en DC serà igual a 0, ja que l'energia de l'habitatge serà entregada en AC.

Aplicant els ajuts enfocats a l'autoconsum provinents de la Comissió Europea, obtenim els següents resultats:

### **Alternativa A: Residència principal connectada a la xarxa**

Les variables de partida seran les següents:

- 29 panells solars Seraphim (11,6 kW)
- 1 aerogenerador SouthWest (2,6 kW)
- 1 inversor (5 kW)
- NPC = 31.203 €
- COE = 0,142 €/kWh
- Inversió inicial = 14.198 €

- Energia consumida per any = 10.941 kWh/any

Un cop obtinguda la potència dels panells i de l'aerogenerador, procedirem a calcular els nous NPC i COE. Observem que per una instal·lació fotovoltaica d'11,6 kW de potència, ens correspondrà un ajut per kW instal·lat de 450 €/kW. Ara bé, si sumem l'ajut per repte demogràfic, la subvenció final per kW instal·lat serà igual a 490 €/kW. D'altra banda, si tenim en compte l'ajut per les instal·lacions eòliques i volem instal·lar un aerogenerador de 2,6 kW, l'ajut corresponent estarà a la franja més atractiva, és a dir, d'uns 2900 €/kW instal·lat. Si a més li sumem l'ajut per repte demogràfic, la deducció final de la nostra instal·lació eòlica serà de 3125 €/kW.

Per tant, tenint en compte les potències que volem instal·lar, veiem que pels panells solars i l'aerogenerador obtindrem uns ajuts finals de 5220 € i 8125 € respectivament. Per consegüent, l'ajut total serà de **13.345 €**.

Aleshores, obtindrem un nou NPC igual a **17858 €**.

Pel càlcul del COE, utilitzarem la fórmula estudiada al principi d'aquest apartat. Sabent que el cost anual del sistema correspondrà el nou NPC i la demanda d'AC al llarg dels vint anys seran els 10941 kWh/any multiplicats per 20, obtenim un nou COE de **0,0816 €/kWh**.

Tanmateix, una altra opció és que aquest ajut influeixi directament en la inversió inicial. Aleshores, aquesta nova inversió inicial serà de només **853 €**, valor que ha quedat reduït un 94% respecte a l'inicial.

### **Alternativa B: Segona residència sense termòstat connectada a la xarxa**

Les variables de partida seran les següents:

- 22 panells solars Seraphim (8,8 kW).
- 0 aerogeneradors SouthWest (2,6 kW).
- 1 inversor (5 kW).
- NPC = 18.663 €.
- COE = 0,179 €/kWh
- Inversió inicial: 5.130 €.
- Energia consumida per any = 5220 kWh/any

Un cop obtinguda la potència dels panells i de l'aerogenerador, procedirem a calcular els nous NPC i COE. En aquest cas, tenim una instal·lació fotovoltaica més petita, cosa que ens permetrà gaudir de les subvencions més atractives. Concretament, per cada kW fotovoltaic instal·lat, rebrem 600 € d'ajuts. A més, l'ajut addicional per repte demogràfic també serà més

elevat i en total, podrem gaudir d'una reducció de 655 € per kW fotovoltaic instal·lat. Ara bé, al estudiar l'habitatge com a segona residència, hem de tenir en compte que demanda serà menor que per l'habitatge com a residència principal.

Per tant, procedint de la mateixa manera que pel cas anterior, els ajuts finals de l'habitatge com a segona residència seran iguals a **5764 €**.

Aleshores, obtindrem un nou NPC igual a **12899 €**.

Pel càlcul del COE, utilitzarem un altre cop la fórmula estudiada al principi. Sabent doncs que el cost anual del sistema correspondrà el nou NPC i la demanda d'AC al llarg dels vint anys seran els 5220 kWh/any multiplicats per 20, obtenim un nou COE de **0,123 €/kWh**.

Procedint de la mateixa manera que per l'alternativa anterior, fent la diferència entre inversions inicials obtenim un nou valor de **- 634 €**. Aquest valor és negatiu perquè com hem explicat, els costos subvencionables tenen en consideració no sols els costos dels components i de la instal·lació. Per últim, cal dir que a l'utilitzar panells d'un preu molt inferior a l'habitual (però no de menor qualitat), explica aquest resultat.

### **7.3.2. Costos incloent ambdós ajuts**

Un cop hem obtingut els nous costos aplicant els ajuts enfocats a l'autoconsum, procedirem a calcular els costos finals incloent també els incentius fiscals.

Pel que fan l'IBI i l'ICIO, sabem que els percentatges deduïbles seran d'un 25 i un 100% respectivament. Més concretament per l'ICIO, com no hem considerat la despesa d'aquest impost en els costos inicials, al ser l'import deduïble del 100%, aquesta deducció no ens canviarà el resultat.

Ara bé, l'IBI sí que ens reduirà l'import total (NPC) i el COE, ja que aquest impost no té res a veure amb els costos de la instal·lació. L'impost de béns i immobles d'aquest habitatge és de 984 € per any i, per consegüent, la part deduïble serà igual a 246 €/any. Tanmateix, com aquesta bonificació només tindrà una durada d'un any, l'import reduït serà com hem dit de 246 € per cadascuna de les alternatives. Anem a calcular els resultats finals:

#### **Alternativa A: Residència principal connectada a la xarxa**

Les variables de partida amb els ajuts enfocats a l'autoconsum ja incorporats seran les següents:

- NPC = 17.858 €
- COE = 0,0816 €/kWh

- Inversió inicial = 853 €
- Energia consumida per any = 10.941 kWh/any

Aleshores, considerant una bonificació de 246 €, el nou valor d'NPC i COE seran iguals a **17.612 €** i **0,0804 €/kWh** respectivament.

Per consegüent, la inversió inicial nova serà de **607 €**.

### **Alternativa B: Segona residència sense termòstat connectada a la xarxa**

Les variables de partida amb els ajuts enfocats a l'autoconsum ja incorporats seran les següents:

- NPC = 12.899 €
- COE = 0,123 €/kWh
- Inversió inicial: -634 €
- Energia consumida per any = 5220 kWh/any

Aleshores, considerant una bonificació de 246 €, el nou valor d'NPC i COE seran iguals a **12.653 €** i **0.121 €/kWh** respectivament.

Per últim, la nova inversió inicial serà de **- 880 €**.

## 8. IMPACTE MEDIAMBIENTAL

En aquest apartat, avaluarem l'impacte mediambiental de les alternatives seleccionades. És, per tant, un dels més importants, ja que és el fonament del nostre treball on l'objectiu final ha estat adreçat a reduir el màxim possible l'impacte ambiental de l'habitatge.

### 8.1. empremta de la xarxa

Pels habitatges aïllats, l'empremta de gasos d'efecte hivernacle serà gairebé nul·la. Ara bé, en el cas d'estar connectats a la xarxa, l'energia que comprem no té un origen renovable sinó que prové d'un mix energètic (carbó, gas natural, eòlica, fotovoltaica, nuclear...). Per tant, al importar energia de la xarxa, estarem contaminant el planeta. En aquest projecte, gràcies a la instal·lació d'energies renovables com la fotovoltaica o l'eòlica, podrem reduir considerablement aquestes emissions contaminants o fins i tot eliminar-les.

En la figura 3.19 podem veure que l'energia venuda per Endesa, emet 0,2 kg de carboni a l'atmosfera per cada kWh consumit de la xarxa. En realitat la xarxa elèctrica no sols emet CO<sub>2</sub> sinó que també contribueix en les emissions de NO<sub>x</sub> o SO<sub>2</sub>. Ara bé, nosaltres només considerarem que la xarxa emet CO<sub>2</sub> i més concretament, 0,2 kgCO<sub>2</sub>/kWh consumit. Fer aquesta consideració és possible gràcies a la unitat anomenada carboni equivalent. Aquesta mesura és utilitzada per indicar en terminis de CO<sub>2</sub>, l'equivalent de cadascun dels gasos d'efecte hivernacle, respecte al seu impacte sobre escalfament global. Per exemple, si cremem 1 tona de meta, equivaldrà a contaminar l'atmosfera de la mateixa manera que si creméssim 25 tones de CO<sub>2</sub>. Aleshores, els 0,2 kgCO<sub>2</sub>/kWh emesos a l'atmosfera, ja tindran inclosos tots els gasos contaminants de la xarxa elèctrica.

Emissions factors for grid power		
Carbon dioxide (g/kWh)	200	{.}
Carbon monoxide (g/kWh)	0	{.}
Unburned hydrocarbons (g/kWh)	0	{.}
Particulate matter (g/kWh)	0	{.}
Sulfur dioxide (g/kWh)	0	{.}
Nitrogen oxides (g/kWh)	0	{.}

*Figura 8.1: Factors d'emissió de la xarxa introduïts al HOMER*

Un cop escollides les dues alternatives, procedirem a comparar per cadascuna d'elles les seves emissions en el cas de no implementar un sistema d'energies renovables

d'autoconsum i viceversa.

### **Alternativa A: Residència principal connectada a la xarxa**

Pollutant	Emissions (kg/yr)	Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	2,190	Carbon dioxide	-998
Carbon monoxide	0	Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0	Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0	Particulate matter	0
Sulfur dioxide	0	Sulfur dioxide	0
Nitrogen oxides	0	Nitrogen oxides	0

*Taula 8.1: Emissions anuals d'un habitatge amb (esquerra) i sense (dreta) energies renovables per l'alternativa A. (Font: HOMER)*

En aquesta taula 8.1, podem veure com en una residència principal unifamiliar de les nostres característiques, pot arribar a emetre 2190 kg de CO<sub>2</sub> per any. Més exactament, aquesta contaminació ha estat dimensionada per un habitatge de 10.941 kWh/any. Ara bé, si instal·lem panells solars, aerogeneradors i venem els nostres excedents a la xarxa, observem que no sols aconseguim reduir la nostra empremta de carboni sinó que la reduïm a zero i contribuïm a descarbonitzar la xarxa elèctrica. En altres paraules, al poder vendre quatre vegades més d'energia de la que consumim, el balanç final serà sorprenentment positiu.

Si dimensionem aquests resultats a vint anys vista, les emissions del nostre habitatge sense energies renovables seran de 43,8 tones de CO<sub>2</sub>, mentre que si instal·lem un sistema d'energies renovables, arribarem a reduir 11,96 tones de CO<sub>2</sub> de la xarxa. Cal comentar, que el valor de CO<sub>2</sub> equivalent emprat igual a 0,2 kgCO<sub>2</sub>/kWh, és un valor actual però variable amb el pas del temps. De cara al 2050, la gran majoria d'empreses distribuïdores d'energia volen arribar a emetre zero emissions. Per tant aquesta comparació serà aproximativa.

### **Alternativa B: Segona residència sense termòstat connectada a la xarxa**

Pollutant	Emissions (kg/yr)	Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	1,044	Carbon dioxide	-367
Carbon monoxide	0	Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0	Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0	Particulate matter	0
Sulfur dioxide	0	Sulfur dioxide	0
Nitrogen oxides	0	Nitrogen oxides	0

*Taula 8.2: Emissions anuals d'un habitatge amb (esquerra) i sense (dreta) energies renovables per l'alternativa B. (Font: HOMER)*

En aquest cas, podem veure quin és el nivell de contaminació d'una residència secundària. El valor de referència, sense tenir en compte cap instal·lació d'autoconsum, és de 1044 kgCO<sub>2</sub>/any. Ara bé, si comparem aquest valor amb l'obtingut per una residència principal, és molt elevat. Tenint en compte que en la residència principal els habitants hi seran els 7 dies de la setmana, mentre que en la segona residència només dos, aquests valors d'emissió estaran molt desproporcionats. Per altra banda, segurament aquest valor elevat correspondrà als dies d'arrencada i als pics de consum de l'habitatge.

Igual que en el cas anterior, observem que les emissions anuals per una residència secundària amb energies renovables no sols són zero sinó que un altre cop contribuïrem a descarbonitzar la xarxa elèctrica.

Si dimensionem aquests resultats a vint anys vista, les emissions del nostre habitatge sense energies renovables seran de 20,88 tones de CO<sub>2</sub> mentre que si instal·lem un sistema d'energies renovables, arribarem a reduir 7,34 tones de CO<sub>2</sub> de la xarxa.

## 8.2. empremta dels components

Per últim, en aquest apartat inclourem l'empremta de carboni dels components emprats per cadascuna de les alternatives com per exemple els panells fotovoltaics o els aerogeneradors.

### **Panells fotovoltaics:**

Per calcular l'empremta de carboni en la fabricació d'energia solar fotovoltaica es tenen en compte quatre mòduls diferents: l'extracció i el processament de les matèries primeres requerides per produir el panell, el transport d'aquestes matèries primeres cap a la fàbrica, la producció en si dels panells solars (consum energètic, embalatges, transport, gestió de residus, etc.) i el desmantellament d'aquest, lligada a la seva capacitat per ser reciclats .

S'estima que l'empremta de carboni total d'un panell fotovoltaic és de 29,6 gCO<sub>2</sub>/kWh generat [69].

Com hem vist en la figura 6.35, per l'alternativa A, s'han generat 18.036 kWh/any d'energia fotovoltaica. Per consegüent, l'empremta generada serà igual a **533,9 kgCO<sub>2</sub>/any**. D'altra banda, per l'alternativa B, utilitzant la figura 6.38 podem veure com l'energia generada pels panells fotovoltaics ha estat de 13.683 kWh/any. En conseqüència, l'empremta generada serà igual a **405 kgCO<sub>2</sub>/any**.

### **Aerogeneradors:**



Per calcular l'empremta de carboni d'un aerogenerador, es tindrà en compte els mateixos impactes ambientals que per l'energia fotovoltaica.

En aquest cas, s'estima que l'empremta de carboni total d'un aerogenerador és de 5 gCO<sub>2</sub>/kWh generat [70].

Com hem vist en la figura 6.35, per l'alternativa A, s'han generat 5.029 kWh/any d'energia eòlica. Aleshores, l'empremta de carboni generada serà igual a **90,2 kgCO<sub>2</sub>/any**. Pel que fa l'alternativa B, no existirà cap empremta de carboni, ja que no utilitzarem cap aerogenerador.

### 8.3. Empremta total

Un cop vist totes les emissions de CO<sub>2</sub> tant de la xarxa com dels components, calcularem el balanç final d'emissions d'ambdues alternatives.

Pel que fa l'alternativa A, hem vist que amb el HOMER l'empremta de carboni obtinguda al final és de -998 kgCO<sub>2</sub>/any mentre que l'empremta dels components és de 533,9 kgCO<sub>2</sub>/any pels panells i de 90,2 kgCO<sub>2</sub>/any per l'aerogenerador. Per consegüent, si sumem tots aquests valors, l'empremta total serà de **-373,9 kgCO<sub>2</sub>/any** i per tant, continuarem descarbonitzant la xarxa elèctrica.

D'altra banda, per l'alternativa B tenim que l'empremta calculada pel HOMER és de -367 kgCO<sub>2</sub>/any, però l'empremta total generada pels panells és de 405 kgCO<sub>2</sub>/any. Aleshores, fent la diferència entre aquests dos valors, aconseguirem una empremta final de **38 kgCO<sub>2</sub>/any**. En aquest cas, no arribarem a descarbonitzar la xarxa elèctrica.

Per últim, observem que per l'alternativa A la reducció de CO<sub>2</sub> emesa a l'atmosfera serà del **117,1%** i per l'alternativa B aquesta reducció serà del **96,4%**.

## 9. PRESSUPOST

Abans de les conclusions finals, elaborarem els pressupostos per les dues alternatives seleccionades. Aquest pressupost serà dividit en dues parts. En la primera, resumirem els costos de les dues alternatives amb els seus respectius components, i els costos d'instal·lació. Seguidament, avaluarem els costos de realització del projecte com a enginyer tècnic, on resumirem cada hora de feina emprada per la realització d'aquest treball.

Començarem per desglossar els costos de les dues alternatives A i B:

Component	Quantitat	Preu unitari	Costos instal·lació per component	Costos totals dels components	Costos totals instal·lació
Panell solar	22	149 €	60 €	3.278 €	1.320 €
Inversor	1	532 €	---	532 €	---
Termòmetre	1	13 €	---	13 €	---
TOTAL				5.143 €	

*Taula 9.1: Pressupost de l'alternativa A (Font pròpia)*

Component	Quantitat	Preu unitari	Costos instal·lació per component	Costos totals dels components	Costos totals instal·lació
Panell solar	29	149 €	60 €	4.321 €	1.740 €
Aerogenerador	1	5.070 €	2.535 €	5.070 €	2.535 €
Inversor	1	532 €	---	532 €	---
Termòmetre	1	13 €	---	13 €	---
TOTAL				14.211 €	

*Taula 9.2: Pressupost de l'alternativa B (Font pròpia)*

Per calcular els pressupostos finals de cada alternativa, hem tingut en compte els preus de cada component i els seus costos d'instal·lació. Ara bé, en la columna dels components també hem inclòs un termòmetre, que ha estat comprat per determinar i dimensionar la demanda d'arrencada de les bombes de calor reversibles per l'habitatge com a residència secundària.

En aquests pressupostos ens fixem que els components que generaran més costos seran els panells solars o l'aerogenerador. Per l'alternativa A, els costos dels components sense tenir en compte la instal·lació equivaldrà aproximadament a un 70% del total, mentre que per l'alternativa B, aquest cost suposarà un 74% del total. També ens adonem que com més gran és la instal·lació a dimensionar, més costos d'instal·lació obtindrem respecte als costos dels propis materials.

Cal recordar, que els costos d'instal·lació tindran en compte la mà d'obra, el preu del cablejat, suports, proteccions, fusibles, connectors, entre d'altres. A més, per a tots els costos incorporats al llarg del treball, s'ha inclòs l'IVA corresponent.

Un cop obtinguts els pressupostos finals de cada alternativa, calcularem els costos de realització del projecte. Com a Enginyer Tècnic acabat de titular, suposarem que els costos per hora de feina facturada rondaran dels 15 als 20 €. Per aquest motiu, dimensionarem el pressupost d'enginyer emprant un preu de 20 € la hora. També, s'han afegit les hores de reunió amb el director del treball i el temps que ha dedicat a la correcció del projecte, amb un cost més elevat de 40 €/hora. Calcularem les hores de recerca que s'han invertit al llarg d'aquest treball considerant les següents tasques:

Costos com a Enginyer Tècnic	Hores	Preu per hora	Total (€)
Recerca sobre la situació actual energètica	30	20 €	600 €
Estudi de l'habitatge i del seu entorn	50	20 €	1.000 €
Estudi energètic de la casa	150	20 €	3.000 €
Recerca energies renovables	75	20 €	1.500 €
Dimensionament	125	20 €	2.500 €
Aprenentatge HULC	25	20 €	500 €
Aprenentatge HOMER	15	20 €	300 €
Reunions amb el director del projecte	10	40 €	400 €
TOTAL			9.800 €

*Taula 9.3: Pressupost d'Enginyer (Font pròpia)*

Si fem la suma de totes les hores dedicades al projecte, obtenim un total de 480 hores. Hem de tenir en compte, que abans de començar amb aquest projecte, no es tenien coneixements sobre la implementació d'energies renovables en habitatges. Per tant, es justifica haver-hi dedicat una quantitat d'hores tan elevada. D'altra banda, comptant que el projecte ha tingut una durada d'aproximadament quatre mesos, podem dir que el nombre d'hores dedicades diàriament han estat de quatre hores comptant dies festius. Realment no s'ha treballat cada dia sinó que depenent de la disponibilitat, hi ha períodes que s'han dedicat completament al treball i d'altres que no. Per tant, s'han dedicat 8 h de feina diàries durant aproximadament seixanta dies.

A continuació, fent la suma entre els costos dels materials emprats amb els seus respectius preus d'instal·lació, el sou d'un enginyer acabat de titular i les subvencions aplicades en apartats anteriors obtenim que els costos finals per cada alternativa seran de:

Costos totals del projecte A	Preu (€)
Costos Enginyer Tècnic	9.800 €
Cost instal·lació alternativa A	14.211 €
Subvencions aplicades	-13.591 €
<b>TOTAL</b>	<b>10.420 €</b>

*Taula 9.4: Pressupost final de l'alternativa A (Font pròpia)*

Costos totals del projecte B	Preu (€)
Costos Enginyer Tècnic	9.800 €
Cost instal·lació alternativa B	5.143 €
Subvencions aplicades	-6.010 €
<b>TOTAL</b>	<b>8.933 €</b>

*Taula 9.5: Pressupost final de l'alternativa B (Font pròpia)*

Finalment, els resultats finals per l'alternativa A i l'alternativa B, són de **10.420 €** i **8.933 €** respectivament.

Per últim, si calculem quin ha sigut el percentatge d'estalvi per ambdues alternatives tenint en compte les subvencions, ens adonem que per l'alternativa A i B, hem obtingut un estalvi del 56,6% i del 40% respectivament.

## CONCLUSIONS

Després d'estudiar l'habitatge, el clima de la zona, la demanda energètica de l'habitatge en funció de la seva ocupació, les diferents alternatives d'energies renovables, la implementació d'aquestes energies renovables en l'habitatge i el seu estudi econòmic i mediambiental, hem demostrat que una instal·lació d'energia renovable a nivell domèstic és viable econòmicament.

Al valorar les diferents alternatives, hem constatat que les dues millors es basen en un sistema connectat a la xarxa elèctrica. Pel que fa a l'alternativa A (residència principal), hem obtingut un pressupost final, tenint en compte els costos dels materials, els costos associats l'enginyer tècnic i les subvencions, obtenint un preu de 10.420 €. Considerant els mateixos costos per l'alternativa B, hem obtingut un preu de 8.933 €. Un cop presentats aquests resultats, el propietari de l'habitatge haurà de decidir quina de les dues solucions li sembla més convenient. No obstant, aquests dos resultats són molt similars.

Al tenir en compte els ajuts en les dues alternatives, hem comprovat que podrien arribar a reduir significativament les inversions inicials. Igualment, si comparem els COE d'ambdues alternatives amb o sense els ajuts econòmics, ens adonem que com més consum té un habitatge, més gran serà l'estalvi final i contribuirem de manera més significativa a reduir les emissions de la xarxa.

També hem comprovat com els dos recursos renovables emprats són capaços de compensar-se entre ells. Sobretot ho podem veure en l'alternativa A, on els dos recursos van de la mà: a les èpoques fredes l'energia generada prové del vent i en les èpoques càlides, l'energia prové del sol. Per tant, la nostra zona climàtica té un alt potencial per implementar energies renovables.

D'altra banda, les dues alternatives com a residència secundària amb termòstat no han estat seleccionades. La idea d'aquestes alternatives era bona perquè el seu COE era inferior a les alternatives sense termòstat. Però el gran problema ha estat l'elevat consum que suposava mantenir l'habitatge a 20 °C constants. Ara bé, si l'habitatge hagués estat més petit o el cas d'estudi fos un pis, molt probablement aquesta alternativa hauria estat l'escollida.

El problema de les alternatives aïllades són els elevats preus de les bateries i la seva curta vida útil. En els apartats anteriors no hem entrat massa en detall en aquestes alternatives per no allargar-lo. Ara bé, el problema no sol són les bateries sinó que per assolir una autonomia al 100% se sobredimensiona el sistema fins al punt de tornar-se inviable econòmicament. Si en lloc d'imposar una autonomia del 100% haguéssim imposat un valor del 80%, hauríem reduït dràsticament el nombre de bateries necessàries i, per consegüent,

abaratir els costos. Però actualment, cap habitatge estaria disposat a canviar el seu consum elèctric convencional per un altre que no pot assegurar assolir la demanda de l'habitatge.

Com a propostes de millora, el canvi més important a dur a terme seria el canvi de factura elèctrica per ambdues alternatives. Bàsicament, es tractaria de canviar del mercat lliure al mercat regulat. Tenir una tarifa lligada al mercat regulat i una instal·lació d'autoconsum ens permet vendre energia en hores punta quan l'energia és més cara, amb la possibilitat de vendre els excedents a un preu més elevat. Per consegüent, el canvi de factura seria clau per aprofitar-nos més del sistema i segurament ens permetria prescindir d'alguns panells solars en ambdues alternatives.

En un futur, les energies renovables seran més barates, i, per tant més viables econòmicament. Al llarg dels pròxims anys, s'espera que els preus dels panells solars i els aerogeneradors disminueixin. També s'esperen més subvencions i sobretot, una deducció fiscal complementària en l'IRPF a Catalunya. L'hidrogen també formarà part d'aquest futur i es podrà utilitzar d'una manera generalitzada.

Aquest nou vector energètic revolucionarà la indústria energètica i serà el medi per arribar a deixar d'utilitzar combustibles fòssils. Un cop presentat aquest treball, continuarem treballant amb aquest gas i sobre com implementar-lo en l'habitatge. Si s'arribés a utilitzar en un futur, optimitzaríem la nostra instal·lació de producció d'energia renovable i per fi, aconseguiríem un sistema aïllat de la xarxa totalment viable.

Per últim, voldria recomanar al lector que aprofités aquests pròxims anys per sumar-se a les energies renovables enfocades a l'autoconsum. Els ajuts actualment ja són molt interessants i permeten deduir aproximadament del 40% al 60% de l'import total de la instal·lació. I sobretot, el que més ens interessa a tots, és que un cop recuperada la inversió, no haurem de pagar pràcticament res a les companyies elèctriques, el que ens suposarà un estalvi econòmic important.

## AGRAÏMENTS

Moltíssimes gràcies al Josep Maria Morancho Llena, professor de l'ETSEIB de termodinàmica, per haver-me fet de tutor al llarg d'aquest treball de final de grau. També donar-li les gràcies per haver-me acceptat el tema proposat, guiat al llarg d'aquest quadrimestre i dedicat el seu temps en corregir els meus esborranys i en resoldre dubtes del treball.

Igualment, m'agradaria donar-li les gràcies al professor Rafael Ruiz, del departament de termodinàmica, qui em va resoldre molts dubtes sobre el concepte de la inèrcia tèrmica dels habitatges i em va recomanar la primera eina informàtica utilitzada en aquesta memòria.

## BIBLIOGRAFIA

### Referències bibliogràfiques

- [1] APPA renovables, *Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España*, (31/12/2020), [https://www.appa.es/wp-content/uploads/2021/11/Estudio del impacto Macroeconomico de las energias renovables en Espana 2020.pdf](https://www.appa.es/wp-content/uploads/2021/11/Estudio_del_impacto_Macroeconomico_de_las_energias_renovables_en_Espana_2020.pdf)
- [2] Red Eléctrica de España, *Las energías renovables en el sistema eléctrico español*, (31/12/2020), [https://www.ree.es/sites/default/files/publication/2021/06/downloadable/informe\\_renovables\\_2020\\_0.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/publication/2021/06/downloadable/informe_renovables_2020_0.pdf)
- [3] CincoDías, *La meteórica subida de los precios del CO<sub>2</sub> pone en jaque a los electrointensivos*, (26,07/2021), [https://cincodias.elpais.com/cincodias/2021/07/08/companias/1625756473\\_682268.html](https://cincodias.elpais.com/cincodias/2021/07/08/companias/1625756473_682268.html)
- [4] OMIE, *Mercado diario Energía horaria por tecnologías*, <https://www.omie.es/es/market-results/daily/daily-market/hourly-power-technologies?scope=daily&date=2022-01-12&system=9>
- [5] Newtral, *¿Por qué sigue cara la luz? Los derechos de emisión del CO<sub>2</sub> y el alto precio del gas, claves de la subida*, (06/07/2021), <https://www.newtral.es/precio-luz-subida-factura-historicos-verano/20210706/>
- [6] EL PAIS, *Así afronta España el cierre del gasoducto del Magreb*, (14/11/2021), <https://elpais.com/economia/2021-11-14/asi-afronta-espana-el-cierre-del-gasoducto-del-magreb.html>
- [7] CincoDías, *El precio de la electricidad cierra en España su peor año*, (31/12/2021), [https://cincodias.elpais.com/cincodias/2021/12/30/mercados/1640874678\\_487352.html](https://cincodias.elpais.com/cincodias/2021/12/30/mercados/1640874678_487352.html)
- [8] Solats, *Energía solar en el mundo, 2020* <https://solats.com/energia-solar-en-el-mundo/>
- [9] Adrase, *Mapa radiación Solar Península*, <http://www.adrase.com/acceso-a-los-mapas/mapa-zona-peninsula.html>
- [10] Global Wind Atlas, <https://globalwindatlas.info/>



- [11] Power Data Access Viewer, *Atlas*, 2022, <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- [12] La Vanguardia, *Proyectan un parque eólico flotante cerca del golfo de Roses*, (26/01/2021), <https://www.lavanguardia.com/local/girona/20210126/6199405/parque-eolico-flotante-golfo-roses-girona.html>
- [13] Weather Spark, *Comparación de climas en distintas localidades*, 2022, <https://es.weatherspark.com/compare/y/49007~47213~47180/Comparaci%C3%B3n-del-tiempo-promedio-en-Vilamaniscle-Barcelona-y-Girona>
- [14] Endesa, *Los dos mercados eléctricos: el libre y el regulado*, <https://www.endesa.com/es/conoce-la-energia/energia-y-mas/mercado-libre-mercado-regulado-pvpc>
- [15] B+Haus, *Eficiencia energética*, (25/04/2017), <https://www.bhaus.es/eficiencia-energetica-borrador-2/>
- [16] Construible, *Consumo energético del sector residencial*, (20/01/2012) <https://www.construible.es/2012/01/20/consumo-energetico-del-sector-residencial>
- [17] Pepeenergy, *¿Cuánto consume una bombilla LED y cuánto ahorramos?*, (27/08/2020) <https://www.pepeenergy.com/blog/cuanto-consume-bombilla-led/>
- [18] Meteogram, *Hora de la salida y puesta de sol*, (30/12/2021) <https://meteogram.es/sol/espana/girona/>
- [19] UOBPOOL, *¿Cuanto depurar una piscina de día o de noche?* (02/04/2019) <https://www.uobpool.com/es/noticias/2019/04/02/depurar-piscina-de-dia-o-de-noche>
- [20] POOLEX, *Variline*, <https://www.poolex.fr/es/produit/2020-filtraci%C3%B3n-piscina-poolex-variline>
- [21] Quimipool, *VIRONP600*, [https://www.quimipool.com/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=630](https://www.quimipool.com/index.php?controller=attachment&id_attachment=630)
- [22] SecciónHE 4, *Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*, [https://www.coit.es/system/files/link\\_group/he\\_4\\_contribucion\\_solar\\_minima\\_de\\_agua\\_caliente\\_sanitaria\\_f5b0c222.pdf](https://www.coit.es/system/files/link_group/he_4_contribucion_solar_minima_de_agua_caliente_sanitaria_f5b0c222.pdf)
- [23] Certificación Energética, *Cálculo de la Demanda de ACS para un Edificio*, (11/01/2015) <https://certificacionenergetica.info/calculo-de-la-demanda-de-ac-s-para-un-edificio/>

- [24] Ministerio de Fomento, Documento Básico HE, (20/12/2019), <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DccHE.pdf>
- [25] INSTALACIONES 2, *CALCULO DE BALANCE TERMICO DE INVIERNO*, Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo de Buenos Aires [https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2016-04-10\\_12-17-00133652.pdf](https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2016-04-10_12-17-00133652.pdf)
- [26] AE, *La transmisión del calor en edificios*, (10/03/1015) <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/la-transmision-del-calor/>
- [27] European Commission, PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM, (15/10/2019), [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#PVP)
- [28] Wikipedia, *Inèrcia tèrmica*, (11/02/2021) [https://es.wikipedia.org/wiki/Inercia\\_t%C3%A9rmica](https://es.wikipedia.org/wiki/Inercia_t%C3%A9rmica)
- [29] Aula green cities, *Inercia tèrmica de la envolvente de edificios y su influencia en la demanda energètica*, <http://aulagreencities.coamalaga.es/inercia-termica-de-la-envolvente-de-edificios-y-su-influencia-en-la-demanda-energetica/>
- [30] Arrebol, *Puentes térmicos ¿Qué son? ¿Cómo se calculan?*, (17/05/2018) <https://www.arrebolestudio.com/puentes-termicos-que-son/>
- [31] CTE, *Presentación*, 2020, <https://www.codigotecnico.org/QueEsCTE/Presentacion.html>
- [32] OVACEN, *Zona climática en la calificación energètica*, (10/2013) <https://ovacen.com/zona-climatica-en-la-calificacion-energetica/>
- [33] Documento Básico HS Salubridad, *HS-3 Calidad del aire interior*, Pag 61-78 <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HS/DccHS.pdf>
- [34] ITeC, *Norma Reglamentària d'Edificació sobre aïllament tèrmic*, (27/04/1987), [https://itec.es/servicios/librospdf/pdfs/Norma%20reglament%C3%A0ria%20d'edificaci%C3%B3%20sobre%20a%C3%AFllament%20t%C3%A8rmic%20NRE-AT-87\\_ITeC\\_2004.pdf](https://itec.es/servicios/librospdf/pdfs/Norma%20reglament%C3%A0ria%20d'edificaci%C3%B3%20sobre%20a%C3%AFllament%20t%C3%A8rmic%20NRE-AT-87_ITeC_2004.pdf)
- [35] CT-79, *Cálculo del coeficiente de transmisión de calor K de cerramientos*, <http://www.ehu.eus/mmtde/materiala/aislamtoedificios/PDF/Documentos/3CALCULO.pdf>
- [36] Ventanas JMGarcia, *El vidrio de nuestra ventana*, 2017 <https://ventanasjmgarcia.com/productos/vidrio>

- [37] Onventanas, *Ventanas de PVC o Aluminio: comparativa aislamiento térmico*, (3/05/2019) <https://www.onventanas.com/ventanas-pvc-o-aluminio-comparativa-aislamiento-termico/>
- [38] Certificados energeticos, *Transmitancia total de la energía solar de elementos semitransparentes*, (24/11/2020) <https://www.certificadosenergeticos.com/transmitancia-total-de-la-energia-solar-de-elementos-semitransparentes>
- [39] Certificados energeticos, *Ejemplo de introducción de puentes térmicos en CE3X*, (6/09/13) <https://www.certificadosenergeticos.com/ejemplo-introduccion-puentes-termicos-en-ce3x>
- [40] Célula Solar, *Energía Solar Fotovoltaica*, <https://oscarperpinan.github.io/esf/Celula.pdf>
- [41] Areatecnologia, *Paneles Solares*, <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>
- [42] Inarquia, *¿Qué Tipo de Panel Solar Fotovoltaico Elijo?*, <https://inarquia.es/tipos-panel-solar-fotovoltaico-elijo/>
- [43] Greening-e, *Cómo ha evolucionado la energía solar a lo largo de la historia*, 2021, <https://greening-e.com/como-ha-evolucionado-la-energia-solar-a-lo-largo-de-la-historia/>
- [44] Solarfam, *Tecnologías y tipologías de paneles fotovoltaicos*, (11/06/2020) <https://solarfam.com/tecnologias-y-tipologias-de-paneles-fotovoltaicos/>
- [45] Ecofener, *¿Cuáles son los efectos de la sombra en un panel solar fotovoltaico?*, (22/01/2019), <https://ecofener.com/blog/cuales-son-los-efectos-de-la-sombra-en-un-panel-solar-fotovoltaico/>
- [46] Greensarawak, *Going Solar Chapter 5: Know Your Sun Hours*, <https://greensarawak.com/things-to-know-before-going-solar/going-solar-chapter-5-know-your-sun-hours/>
- [47] CenitSolar, *Fotovoltaica aislada*, 2022, [http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica\\_proyectos.php](http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica_proyectos.php)
- [48] CenitSolar, *Fotovoltaica conectada a red*, 2022, [http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica\\_red\\_esquema.php](http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica_red_esquema.php)
- [49] Cope, *¿Cómo se produce el viento?*, (21/04/2020), [https://www.cope.es/actualidad/vivir/noticias/como-produce-viento-20200421\\_686327](https://www.cope.es/actualidad/vivir/noticias/como-produce-viento-20200421_686327)
- [50] Público, *Las claves del funcionamiento de una turbina eólica*, (1/06/2018), <https://blogs.publico.es/ignacio-martil/2018/06/01/las-claves-del-funcionamiento-de-una-turbina-eolica/>

- [51] Energías Renovables, *La transición imparable*, (02/01/2019), <https://www.energias-renovables.com/eolica/la-transicion-imparable-20181231>
- [52] El precio de la energía, *El precio medio de las turbinas eólicas baja del millón de dólares por megavatio*, (09/10/2017), <https://elperiodicodelaenergia.com/el-precio-medio-de-las-turbinas-eolicas-baja-del-millon-de-dolares-por-megavatio/>
- [53] Ley de fomento de las ERNC, *Energía eólica*, 2008, <https://hruhnick.sitios.ing.uc.cl/alumno08/renewables/eolica.html>
- [54] Danish Wind Industry Association, *Recursos Eólicos y Energía producida*, (05/2003), <http://xn--drmsttre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/index.htm>
- [55] Naturgy, HIDRÓGENO. Vector energético de una economía descarbonizada 2020
- [56] LAVO, Lavo hydrogen Battery System, <https://lavo.com.au/lavo-hydrogen-battery/>
- [57] Tarifasgasluz, ¿Cuánto cuesta la luz al mes? Consumo medio de luz en España, 2022, <https://tarifasgasluz.com/faq/cuanto-cuesta-luz-mes#estimacion-consumo-tipo-calefaccion>
- [58] SoloStocks, *Aerogenerador Skystream 3.7 2,6kWp Land southwest*, <https://www.solostocks.com/venta-productos/generadores/aerogeneradores/aerogenerador-skystream-3-7-2-6kwp-230v-50hz-land-southwest-6032618>
- [59] Solar Plak, *Paneles solares Seraphin 400 W*, <https://solarplak.es/panel-solar-400w-mono-perc-seraphim.html>
- [60] Autosolar, *Baterías BAE 4420Ah*, <https://autosolar.es/baterias-estacionarias-opzs-2v/acumulador-estacionario-bae-2v-4420ah>
- [61] Autosolar, *Inversor Huawei SUN2000*, <https://autosolar.es/inversores-hibridos/inversor-huawei-sun2000-8kti-m1-8kw-trifasico>
- [62] Autosolar, *Inversor Must Solar 5000 W*, <https://autosolar.es/inversores-cargadores-48v/inversor-cargador-5000w-48v-mppt-80a-must-solar>
- [63] Endesa, *Excedentes Autoconsumo: Vender la energía solar que te sobra*, <https://www.endesa.com/es/luz-y-gas/autoconsumo-endesa/compensacion-excedentes>
- [64] Wikipedia, *Balance Neto*, (28/12/2021), [https://es.wikipedia.org/wiki/Balance\\_neto](https://es.wikipedia.org/wiki/Balance_neto)

- [65] OTOVO, Las nuevas ayudas al autoconsumo Next Generation, (15/01/2022), <https://www.otovo.es/blog/autoconsumo/ayudas-autoconsumo-baterias-climatizacion/>
- [66] Gencat, *AJUTS A L'AUTOCONSUM I EMMAGATZEMATGE REIAL DECRET 477/2021*, PDF, [http://icaen.gencat.cat/web/.content/20\\_Energia/26\\_ajuts\\_financament/2021\\_IDAE\\_EE\\_RR/Arxius/Presentacions-de-les-jornades-de-presentacio/211013-Ajuts-Autoconsum.pdf](http://icaen.gencat.cat/web/.content/20_Energia/26_ajuts_financament/2021_IDAE_EE_RR/Arxius/Presentacions-de-les-jornades-de-presentacio/211013-Ajuts-Autoconsum.pdf)
- [67] SotySolar, *Subvenciones y ayudas para la instalación de placas solares en Cataluña*, (21/12/2021), <https://sotysolar.es/blog/subvenciones-placas-solares-cataluna>
- [68] El Confidencial, *Deducciones verdes al IRPF: como ahorrar hasta mil euros ayudando al planeta*, (15/06/2021), [https://www.elconfidencial.com/medioambiente/soy-eco/2021-06-15/deducciones-irpf-ahorrar-ecologia\\_3130744/](https://www.elconfidencial.com/medioambiente/soy-eco/2021-06-15/deducciones-irpf-ahorrar-ecologia_3130744/)
- [69] Calor y Frio, *¿Cuál es la huella de carbono de un captador solar térmico y de un panel fotovoltaico?*, (05/12/2019), <https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/energia-solar/cual-huella-dcarbono-de-un-captador-solar-termico-y-de-un-panel-fotovoltaico.html>
- [70] Comunidad ism, *La huella de carbono de las energías renovables. 2- Eólica*, (11/04/2016), <http://www.comunidadism.es/blogs/la-huella-de-carbono-de-las-energias-renovables-2-eolica>