

Anàlisi de la viabilitat d'un model d'autosuficiència energètica per a un habitatge

Estudiant: Pau Villalonga Massutí

Grau en Ciències ambientals

Tutor: Anna Menció

Cotutor: Marc Romera

El flux d'energia i l'organització sociopolítica són els costats oposats d'una mateixa equació. Cap dels dos pot existir, en un grup humà, sense l'altre, ni pot haver-hi un canvi substancial sense alterar els dos factors oposats ni l'equilibri de l'equació. El flux d'energia i l'organització sociopolítica han d'estar en harmonia. No només es requereix un flux d'energia per mantenir el sistema sociopolític, també cal una quantitat d'energia suficient per a la complexitat d'aquest sistema.

Joseph A. Tainter

RESUM

L'actual model de consum energètic (insostenible i dependent dels combustibles fòssils) comporta importants conseqüències econòmiques, socials, polítiques i ambientals. Augmentar l'eficiència energètica dels nostres habitatges forma part de la transició cap a un model més sostenible, que permeti fer front als importants canvis que viurem durant els pròxims anys, com a conseqüència de la decreixent disponibilitat de les matèries energètiques fòssils, l'esgotament general dels recursos naturals i l'alteració del clima. Per aconseguir-ho no és suficient recórrer a fonts d'energia renovables, cal un canvi d'hàbits que permeti disminuir i reorientar el nostre consum energètic.

Amb aquest projecte es vol demostrar la viabilitat d'un model d'autosuficiència energètica aplicat a un cas real: un habitatge de 191 m² situat a Selva (Mallorca) on hi viuen dues persones.

S'ha monitoritzat el consum elèctric de la casa durant quatre mesos i s'ha fet una estimació dels consums dels electrodomèstics utilitzats. Això ha permès caracteritzar el consum de l'habitatge i fer prediccions de la resta de mesos de l'any. També s'han proposat una sèrie de mesures destinades a reduir la demanda i el consum energètics de l'edifici.

Així mateix, s'han dissenyat sistemes, ajustats a la demanda de l'habitatge i a les condicions climàtiques de la zona, per aprofitar algunes fonts d'energia renovable:

- Una instal·lació solar tèrmica per escalfar l'aigua sanitària de l'habitatge.
- Una instal·lació fotovoltaica per produir electricitat considerant 3 alternatives (una instal·lació fotovoltaica d'autoconsum instantani, una instal·lació fotovoltaica d'autoconsum amb acumulació i una instal·lació fotovoltaica aïllada).
- Una instal·lació eòlica per produir electricitat i complementar la instal·lació fotovoltaica.

Finalment s'han fet un estudi de rendibilitat econòmica i un altre de sostenibilitat. Això ha permès comparar econòmicament i ambientalment les alternatives proposades i la conveniència o no de la seva aplicació.

ABSTRACT

The current model of energy consumption (unsustainable and dependent on fossil fuels) entails important economic, social, political and environmental consequences. Increasing the energy efficiency of our homes is part of the transition to a more sustainable model, which allows us to cope with the important changes that we will face in the coming years, because of the decreasing availability of fossil energy materials, the general exhaustion of natural resources and the alteration of the climate. To achieve this, it is not enough to resort to renewable energy sources, we need a change in habits that will allow us to reduce and reorient our energy consumption.

This project wants to demonstrate the viability of a self-sufficient energy model applied to a real case: a 191 m² house located in Selva (Mallorca) where two people live.

The electrical consumption of the house has been monitored during months and an estimate has been made about the consumption of the electrical household appliances. This has allowed to characterize the consumption of the house and to make predictions for the rest of the months of the year. A series of measures aimed at reducing the demand and energy consumption of the building have also been proposed.

Likewise, the following systems have been designed, adjusted to the demand of the house and to the climatic conditions of the zone, to take advantage of some renewable energy sources:

- A solar thermal installation to heat the sanitary water of the house.
- A photovoltaic installation to produce electricity considering 3 alternatives (an instant self-consumption photovoltaic installation, a self-consumption photovoltaic installation with accumulation and an isolated photovoltaic installation).
- A wind installation to produce electricity and complement the photovoltaic installation.

Finally, a study has been made about profitability and sustainability. This has allowed the comparison of the proposed alternatives and the expediency of their application both economically and environmentally.

RESUMEN

El actual modelo de consumo energético (insostenible y dependiente de los combustibles fósiles) comporta importantes consecuencias económicas, sociales, políticas y ambientales. Aumentar la eficiencia energética de nuestras casas forma parte de la transición hacia un modelo más sostenible, que permita afrontar los importantes cambios que viviremos durante los próximos años, como consecuencia de la decreciente disponibilidad de las materias energéticas fósiles, el agotamiento general de los recursos naturales y la alteración del clima. Para lograrlo, no basta en utilizar fuentes de energía renovables, es necesario un cambio de hábitos que permita reducir y reorientar nuestro consumo energético.

Con este proyecto se pretende demostrar la viabilidad de un modelo de autosuficiencia energética aplicado en un caso real: una vivienda de 191 m² ubicada en Selva (Mallorca) donde viven dos personas.

Se ha monitorizado el consumo eléctrico de la casa durante cuatro meses y se ha hecho una estimación de los consumos de los electrodomésticos utilizados. De esta forma se ha caracterizado el consumo de la vivienda y se han hecho previsiones del resto de meses del año. También se han propuesto un conjunto de medidas destinadas a reducir la demanda y el consumo energético de la casa.

Asimismo, se han diseñado sistemas, ajustados a la demanda de la vivienda y a las condiciones climáticas de la zona, para aprovechar algunas fuentes de energía renovable:

- Una instalación solar térmica para calentar el agua sanitaria de la casa.
- Una instalación fotovoltaica para producir electricidad considerando tres alternativas (una instalación fotovoltaica de autoconsumo instantáneo, una instalación fotovoltaica de autoconsumo con acumulación y una instalación fotovoltaica aislada).
- Una instalación eólica para producir electricidad y complementar la instalación fotovoltaica.

Finalmente se ha elaborado un estudio de rentabilidad económica y otro de sostenibilidad. Esto ha permitido comparar económica y ambientalmente las alternativas propuestas y la conveniencia o no de su aplicación.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	6
1.1 Context energètic global	6
1.1.2 Dependència energètica dels combustibles fòssils	6
1.1.3 Impactes sociopolítics derivats de les polítiques energètiques globals	9
1.1.4 Necessitat d'implantació de les energies renovables	10
1.1.5 Reducció de la demanda energètica global	11
1.2 Eficiència energètica en habitatges	12
2. OBJECTIVES	13
3. LOCALITZACIÓ I DESCRIPCIÓ DE L'HABITATGE	13
4. METODOLOGIA	14
4.1 Estudi d'eficiència energètica.	14
4.1.1 Monitorització i caracterització de la demanda energètica	14
4.1.2 Mesures d'eficiència energètica	15
4.2 Disponibilitat de recursos	15
4.2.1 Radiació solar disponible	15
4.2.2 Potencial eòlic	15
4.3 Instal·lacions d'energies renovables	16
4.3.1 Instal·lació d'energia solar-tèrmica	16
4.3.2 Instal·lació d'energia fotovoltaica	16
4.3.3 Instal·lació d'energia eòlica	16
4.3. 4 Legislació aplicable	17
4.4 Dimensionament de la instal·lació solar-tèrmica	17
4.4.1 Energia necessària	17
4.4.2 Avaluació de l'energia solar disponible	17
4.4.3 energia que aprofita el sistema	18
4.4.4 Càlcul de la superfície de captació	18
4.5 Dimensionament de les instal·lacions fotovoltaiques	18
4.5.1 Instal·lació fotovoltaica d'autoconsum instantani	18
4.5.1.1 Energia necessària	19
4.5.1.2 Nombre de mòduls fotovoltaics	19
4.5.1.3 Potència de l'inversor	20
4.5.2 Instal·lació fotovoltaica d'autoconsum amb acumulació	20
4.5.2.1 Energia necessària	20
4.5.2.2 Nombre de mòduls fotovoltaics	20
4.5.2.3 Capacitat de l'acumulador	20
4.5.2.4 Potència de l'inversor	21

4.5.3 Instal·lació fotovoltaica aïllada	21
4.5.3.1 Nombre de mòduls fotovoltaics	21
4.5.3.2 Capacitat de l'acumulador	21
4.5.3.3 Reguladors de càrrega	21
4.5.3.4 Potència de l'inversor	21
4.6 Dimensionament de la instal·lació eòlica	21
4.6.1 Càlcul de l'energia produïda	22
4.7 Estudi econòmic	22
4.7.1 Costos d'inversió	22
4.7.2 Estalvi generat	22
4.7.3 Rendibilitat	23
4.8 Estudi de sostenibilitat	23
5. RESULTATS	24
5.1 Estudi d'eficiència energètica	24
5.1.1 Monitorització i caracterització de la demanda energètica	24
5.1.2 Mesures d'eficiència energètica	27
5.2 Disponibilitat de recursos	27
5.2.1 Radiació solar disponible	27
5.2.1 Potencial eòlic	28
5.3 Dimensionament de la instal·lació solar tèrmica	29
5.4 Dimensionament de les instal·lacions fotovoltaiques	29
5.5.1 Selecció dels equips	29
5.6 Dimensionament de la instal·lació eòlica	30
5.6.1 Càlcul de l'energia produïda	30
5.7 Estudi econòmic	31
5.7.1 Costos d'inversió	31
5.7.2 Estalvi generat	31
5.7.3 Rendibilitat	32
5.8 Estudi de sostenibilitat	32
6. CONCLUSIONS AND DISCUSSIONS	33
7. BIBLIOGRAFIA	34

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Context energètic global

“Pensa globalment, actua localment”. Aquest fou l’eslògan de la cimera de Rio de Janeiro de l’any 1992 i 25 anys després encara és vigent. La construcció d’un habitatge autosuficient energèticament en un context de declivi industrial marcat pel pic del petroli, el canvi climàtic i la crisi econòmica n’és un bon exemple.

En aquest context, les renovables ajudarien a:

- Disminuir la dependència energètica dels combustibles fòssils (escassos i altament contaminants).
- Resoldre l’escenari sociopolític relacionat amb el paradigma energètic vigent.
- Impulsar la implantació d’energies renovables com a alternativa a un model energètic obsolet basat amb el petroli.
- Promoure un ús sostenible dels recursos energètics (reducció de la demanda energètica global).

1.1.2 Dependència energètica dels combustibles fòssils

El descobriment de les aplicacions industrials del carbó, el petroli, el gas i més recentment de l’àtom ha tingut un paper decisiu en la revolució industrial i, per tant, com a motor de creixement. Actualment tota la nostra forma de vida està condicionada pel petroli: transport, matèries primeres (plàstics, fibres sintètiques, medicaments, pintura, tinta, etc.), sistema agroalimentari (fertilitzants, plaguicides, maquinària, processament d’aliments), indústria i serveis. El carbó i el petroli proporcionen, a nivell mundial, gairebé dos terços de l’energia primària consumida anualment [1].

Dels combustibles fòssils també depèn el nostre sistema econòmic: s’ha demostrat que a llarg termini existeix una relació directa entre el creixement de l’economia, el consum d’energia i el consum del petroli (figura 1) [1].

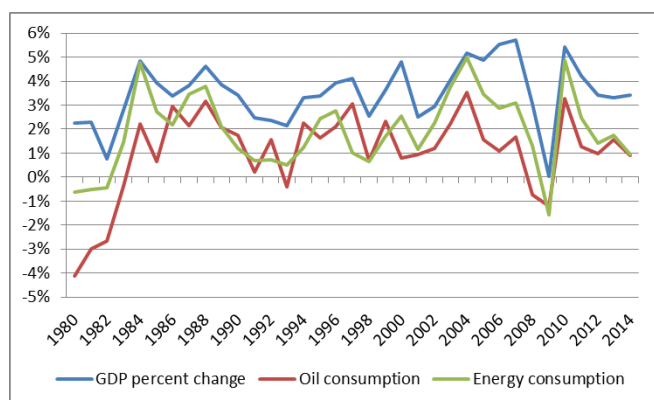


Figura 1. Creixement mundial de l’economia (GDP), del consum energètic i del consum de petroli (%) [1].

Pel que fa a Espanya, l’any 2017 importava el 72,3% de l’energia que consumia i era el vuitè país amb més dependència de la UE. La dependència energètica és la principal causa del dèficit comercial i incideix directament en la seguretat nacional [2].

Tenint en compte la importància que tenen els recursos energètics per a l'organització sociopolítica de la nostra civilització, i l'actual dependència energètica dels combustibles fòssils, existeix una gran preocupació sobre la previsió de producció d'aquests combustibles no renovables. L'informe sobre les perspectives energètiques mundials (WEO) de 2017 [3], publicat per l'agència internacional de l'energia, explica les tendències per als pròxims 25 anys basant-se en models economia-energia:

Petroli

No hi ha dades fiables ni de l'extracció ni de les reserves disponibles de petroli en el món, ja que interessa inflar-los per motius polítics i financers: el valor de les companyies petroleres en borsa està condicionat per la mida de les seves reserves petroleres, cosa que les indueix a inflar-les i a promoure la confusió entre recursos i reserves [4].

Tot i això hi ha algunes proves que demostren com el pic del petroli convencional ha quedat enrere [4] (figura 2):

- L'extracció està disminuint en tot el món. Només tres països (Canadà, Kazajistan i Irak) no han superat clarament el seu zenit. Això implica que el subministrament de petroli està, cada vegada més, en mans d'un nombre més reduït d'estats.
- Els petrolis no convencionals cada vegada suposen un major percentatge del petroli consumit (han passat de representar un 3% el 1965 a prop d'un 20% el 2014), cosa que indica que escassegen les reserves convencionals. En el mateix sentit estan augmentant els costos d'extracció del petroli.
- Disminució del ritme de descobriment de nous jaciments: actualment el nombre de descobriments és d'uns 16000 Mb/any, mentre que el consum és d'uns 31000 Mb/any.

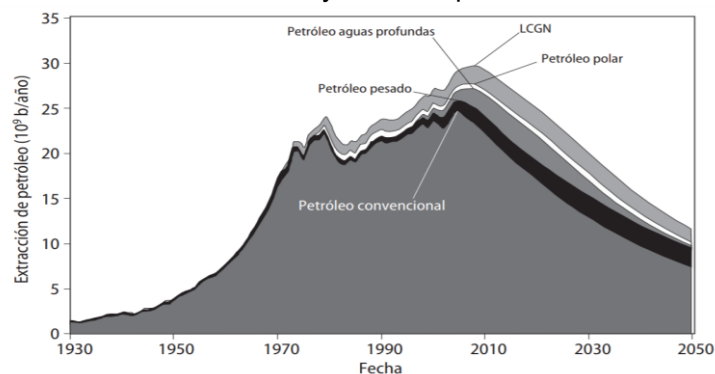


Figura 2. Extracció de petroli i projecció futura (10⁹b/any) [4].

Gas natural

Les reserves de gas són més fàcils de conèixer que les del petroli, ja que no existeix una OPEP¹ del gas i no estan subjectes a quotes. L'any 1971 es va arribar al màxim de descobriments i, des de principis dels 90, es consumeix més gas del que es descobreix [5]. L'explotació de gas és més eficient que la del petroli ja que es recupera entre un 75 i un 90% del que es troba a les bosses. Tot i això, el gas és més difícil de transportar i requereix o bé la construcció de grans gasoductes o sotmetre'l a un procés de liquació/regasificació, fet que suposa un gran consum de

¹ L'organització de Països Exportadors de Petroli (OPEP) és un càrtel format per països productors de petroli amb la intenció de negociar conjuntament amb les empreses petrolieres temes referents a volums de producció, preus i drets de producció.

capital i d'energia. En tot cas, el gas natural ja està en recessió a Europa i Nord Amèrica, i és molt probable que arribi al seu sostre cap el 2020-2030 [6] (figura 3)

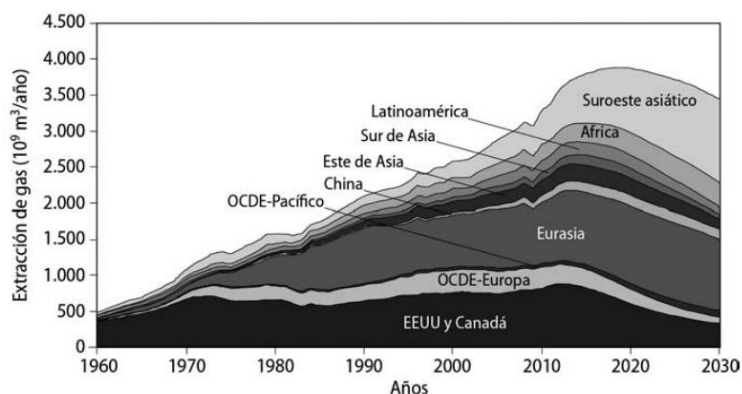


Figura 3. Extracció mundial de gas i projecció futura (10⁹m³/any) [4].

Carbó:

Es pronostica que el pic del carbó es produirà entre el 2025 i el 2040, probablement més a prop de la primera data que de la segona [7]. Una mostra del fet que el zenit s'apropa és que gairebé totes les reserves d'antracita estan esgotades (figura 4).

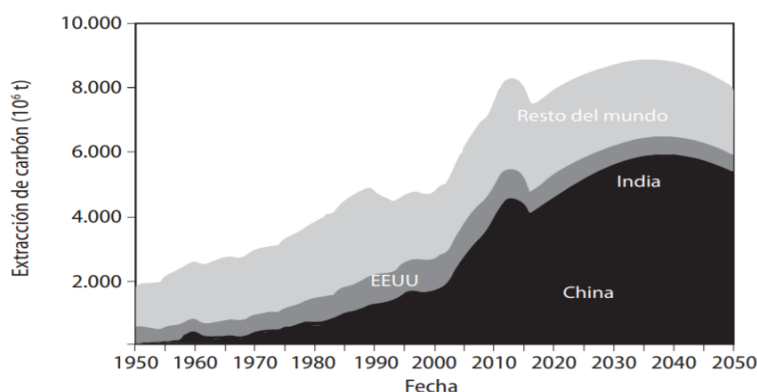


Figura 4. Extracció de carbó i projecció futura (10⁶t) [7].

Tot i això, la taxa de descens del carbó serà més lenta que la de la resta de combustibles fòssils ja que la seva extracció és menys intensiva energètica i tecnològicament.

En realitat els processos d'obtenció de tots els combustibles fòssils estan relacionats i l'esgotament d'un afectarà als altres dos. Especialment el pic del petroli alterarà els fluxos de carbó i de gas, ja que per als seus processos de producció es fa servir petroli, començant per les màquines de la mineria i acabant amb el transport fins al lloc de consum. Per tant el zenit combinat de tots els combustibles fòssils es produirà uns quants anys abans que el del gas i del carbó, quan l'extracció de petroli decaigui [4].

Si alguna cosa evidencia la WEO, és que el pic del petroli i el pic del carbó ja estan aquí, pronosticant un escenari complicat (figura 5).

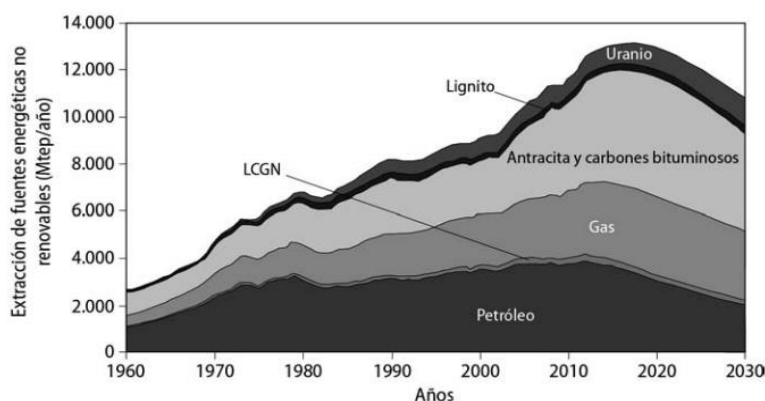


Figura 5. Disponibilitat de fonts energètiques no renovables y projecció futura (Mtep/any) [4].

1.1.3 Impactes sociopolítics derivats de les polítiques energètiques globals

El petroli no només constitueix la pedra angular de l'economia política contemporània, sinó que a més, és la brúixola actual de l'escenari de conflictes internacionals i del paradigma energètic vigent [4].

Durant les últimes dècades, les tensions geopolítiques i militars en relació a la crisi del petroli i de gas natural no han deixat d'incrementar-se. La crisi energètica ha donant peu a un escenari de guerres obertes pel control geoestratègic d'aquelles zones riques amb recursos energètics que permetin assegurar la provisió de petroli i de gas natural. Aquestes zones abasten el Golf Pèrsic, Àsia Central, el mar Caspi, Sibèria occidental, Amèrica Llatina i Àfrica, on les petroleres privades i estatals busquen desesperadament l'accés als darrers jaciments de gas i petroli [4].

Observant la figura 6, és possible identificar les coincidències existents entre el comportament del preu del petroli, les crisis financeres i els conflictes armats a l'Orient Mitjà. Existeix per tant, una connexió directa entre l'apropiació de la riquesa energètica i la violència militar [8].

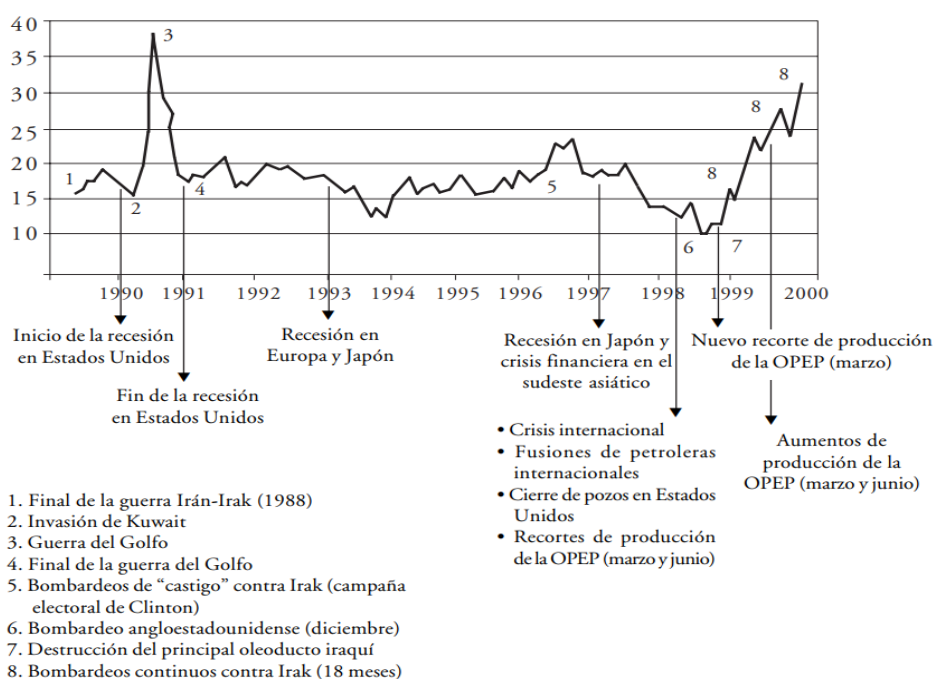


Figura 6. Context internacional de l'evolució del petroli [9].

Mostres d'això són [9]:

- La invasió d'Iraq per part d'EUA i la conseqüent guerra civil, persistent i progressivament insostenible.
- La violenta política militar de Moscou a la regió de Txetxènia.
- La irresponsable política de seguretat energètica de Xina a Sudan, que va causar un retràs important en la resolució del Consell de Seguretat de Nacions Unides, per enfrontar el genocidi de Darfur.
- La crítica inestabilitat política interna que travessa Nigèria a causa de la insurgència petrolera en el Delta del Níger.
- Les tensions internes de l'oligarquia secessionista de l'anomenada "Mitja Lluna" (rica en hidrocarburs) a l'est de Bolívia.
- Les permanents tensions militars entre Filipines, Malàisia, Taiwan i Xina per l'explotació de recursos fòssils en el mar de Xina meridional, entre tantes altres arreu del món.
- La guerra de gasoductes que s'amaga darrera del conflicte armat a Síria i que involucra grans potències estrangeres (Rússia, Xina, EUA, etc.).

Algunes de les conseqüències sociopolítiques derivades de les polítiques energètiques globals són: destrucció ambiental, militarització, genocidis, violació dels drets humans exportació dels beneficis, especialització econòmica, degradació i polarització social, pèrdua de la democràcia, dependència de l'estranger, etc. [10].

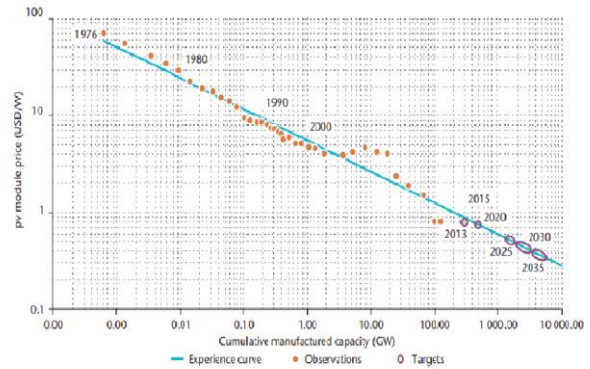
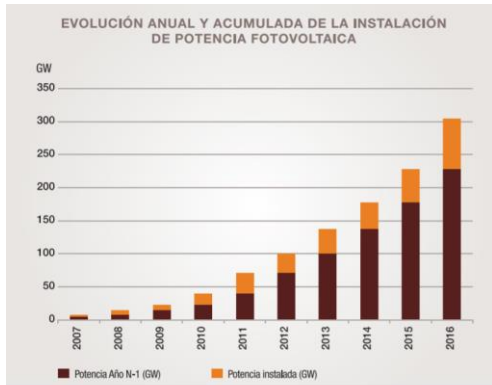
Les activitats d'extracció de combustibles fòssils s'han vinculat a la violació sistemàtica dels drets civils, polítics econòmics i culturals. Els danys ambientals no es limiten a l'impacte i a l'erosió territorial, també suposen una profunda degradació ecològica i social.

Les perforacions petroleres són una causa permanent de contaminació, no només en els casos accidentals, ja que la seva pràctica deteriora costes i la plataforma continental, fa malbé la flora i fauna, i degrada la qualitat de vida dels habitants que habiten aquestes zones. Els pobles productors de Costa de Marfil, Ghana, Togo, Gabon, el Congo i Angola a l'est d'Àfrica o la zona productora de Veracruz a Mèxic en són alguns exemples [4].

1.1.4 Necessitat d'implantació de les energies renovables

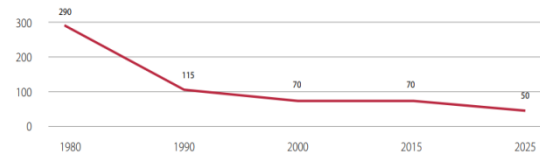
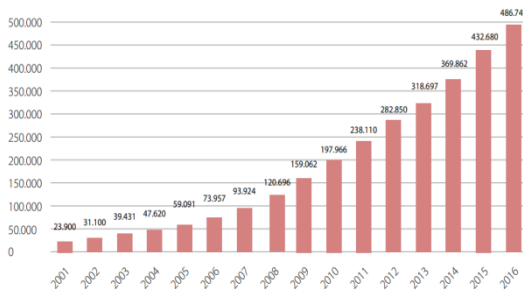
Com s'ha vist, les fonts d'energia no renovable mostren clars símptomes d'estar arribant, si no ho han fet ja, al seu zenit. Les fonts d'energia renovables en canvi, amb la fotovoltaica i la eòlica al capdavant, estan mostrant una evolució excel·lent i per tant és lògic dipositar-hi totes les esperances [11]:

- Durant els darrers anys, l'energia solar fotovoltaica s'ha convertit en una tecnologia creixent a escala mundial, fet que li ha permès continuar amb la reducció ininterrompuda de costos experimentada durant la darrera dècada (figures 7 i 8) [12].



Figures 7 i 8. A l'esquerra evolució anual i acumulada de la instal·lació de potència fotovoltaica (GW) [13]; a la dreta evolució i projecció del cost de la tecnologia fotovoltaica (USD/W) [12]

- La tendència per a l'energia eòlica segueix patrons similars, amb un creixement constant a nivell mundial durant els darrers anys i un abaratiment de costos progressiu (figures 9 i 10) [11].



Figures 9 i 10. A l'esquerra evolució anual i acumulada de la potència eòlica instal·lada al món (MW) [11]; a la dreta evolució i previsions sobre el cost de generació de l'eòlica al món (\$/MWh) [11].

En el context d'un sistema econòmic basat en el creixement, el consum energètic està augmentant a marxes forçades, al mateix temps que el petroli (principal font de producció energètica) s'està esgotant.

És aquí on les energies renovables poden generar oportunitats i utilitats per assolir la demanda energètica:

- Són inesgotables, netes i no contaminen: la generació d'electricitat a partir panells solars o de turbines eòliques no produeix gasos tòxics ni contribueix a l'efecte hivernacle. Tampoc no originen productes secundaris perillosos ni residus contaminants.
- Redueixen la dependència energètica d'altres fonts d'energia no renovables.
- L'abaratiment dels costos que estan experimentant i els avenços tecnològics que permeten el seu aprofitament fan que de cada vegada siguin més rendibles econòmicament.

1.1.5 Reducció de la demanda energètica global

El potencial de les energies renovables és enorme, però encara tenen un llarg camí per recórrer fins arribar a un nivell comparable al dels combustibles fòssils. El petroli convencional presenta unes característiques, en alguns casos presentava, que fan que, a dia d'avui, encara no hi hagi cap font d'energia alternativa, en solitari o combinada, que el pugui substituir [4]:

- Té una disponibilitat que no depèn dels ritmes naturals.
- Es pot emmagatzemar de manera senzilla.
- És fàcilment transportable.
- Té una alta densitat energètica².
- És molt versàtil amb els seus usos i aplicacions.
- Té una alta TRE³
- És barat, tot i l'augment progressiu del seu preu durant els darrers anys.

Per la seva part, les energies renovables presenten una sèrie de limitacions (intermitència, límit de recursos, impactes ambientals, densitat energètica, transportabilitat, emmagatzematge, versatilitat i cost). Tot això sense considerar les inversions per a una transició d'un sistema energètic basat en combustibles fòssils cap a un altre centrat en les renovables.

D'aquesta manera, l'evolució cap a les energies renovables només és realista en un escenari voluntarista de forta planificació, de forta consciència social o de fort descens del consum energètic, com a conseqüència d'algun col·lapse o fins que el preu del petroli sigui inassequible.

En definitiva, sense transició energètica (és a dir, sense la reorientació voluntarista de les nostres forces productives i dels nostres models de consum cap a una economia menys dependent de les energies fòssils), no podrem aconseguir un creixement sostenible [14].

1.2 Eficiència energètica en habitatges

Si bé aconseguir una casa energèticament eficient és un objectiu que s'ha de plantejar qualsevol ciutadà conscient (sigui per motius d'estalvi econòmic, d'estalvi d'una energia escassa, o per reduir els efectes contaminants de la generació i el consum d'energia), l'usuari de sistemes renovables, paradoxalment, ho ha de tenir com a fita prioritària. [15]

L'eficiència energètica es defineix com la relació entre la quantitat d'energia consumida i els productes i serveis finals obtinguts. Per aconseguir un estalvi energètic a l'habitatge es pot actuar sobre els següents aspectes [16] (figura 11):

- Reduir la demanda energètica de l'habitatge (mesures passives).
- Reduir el consum (mesures actives).
- Recórrer a fonts d'energies renovables.

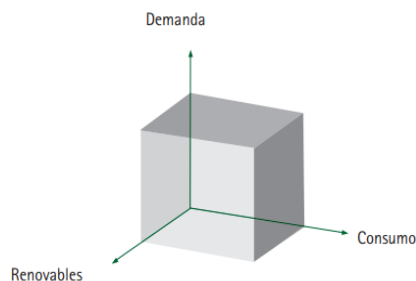


Figura 11. Cub indicador del consum d'energia. Es pot dur a terme l'estalvi energètic incidint en qualsevol dels tres eixos, o combinant-los [16].

² En aquest context, la densitat energètica fa referència a la quantitat d'energia acumulada per unitat de volum o de massa.

³ La taxa de retorn energètic (TRE) és la relació entre l'energia generada per un procés i l'energia invertida a dur a terme el mateix procés.

2. OBJECTIVES

The present protocol aims to convert a detached house that is energetically dependent on fossil fuels, in a more energy-efficient housing, in order to:

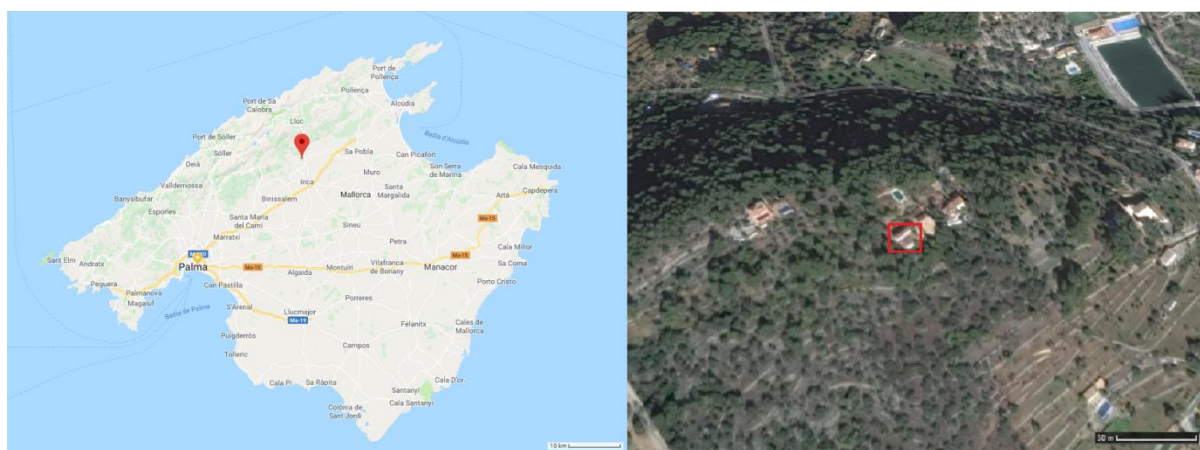
- Make a more rational and sustainable use of the energy used.
- Reduce the energetic demand of the house.
- Reduce the ecological footprint of the house.
- Reduce the economic cost of energy.
- Promote the use of renewable energies.
- Demonstrate the viability of a self-sufficiency model of energy in the Balearic Islands, which could be used as an example to other users.

The specific objectives are:

- 1- To perform an energetic efficiency study of the house: monitoring electric consumption will allow quantifying the electrical cost, and describing patterns and design measures to minimize and displace electrical consumption.
- 2- To design systems adapted to the house demand and to the house characteristics, which allow the use of sources of renewable energies.
- 3- To ascertain the economic viability of the alternatives proposed.
- 4- To carry out a sustainability study, according to the environmental improvements achieved with the application of the project.

3. LOCALITZACIÓ I DESCRIPCIÓ DE L'HABITATGE

L'edifici sobre el que es realitzarà aquest estudi és un habitatge unifamiliar de 191 m² situat a uns 290 m a l'oest de Selva, un poble i municipi del raiguer de Mallorca (figura 12) (coordenades 39°45'17.5" N 2°53'44.5"E). L'habitatge està ubicat a la vessant sud d'un turó, a 245 m d'altura respecte el nivell del mar (figures 12 i 13).



Figures 12 i 13. A l'esquerra Ubicació de l'habitatge sobre un mapa de Mallorca (escala 1:666666,6); a la dreta Ubicació de l'habitatge sobre un ortofotomapa (escala 1:2500) [17]

És un habitatge relativament nou i ben aïllat tèrmicament, ja que els fonaments són de maons d'argila (un aïllant natural), i les finestres, portes i cobertes instal·lades són eficients. L'habitatge consta de les següents seccions:

- Habitació 1 (amb lavabo propi).
- Habitació 2.
- Sala d'estudi.
- Sala d'estar.
- Cuina.
- Bany.
- Passadís rebedor.
- Terrassa exterior.

Disposa d'electrodomèstics eficients (A+ o superior) amb il·luminació LED de baix consum.

Es tracta d'una primera residència on hi viuen dues persones de 57 i 61 anys que treballen els matins entre setmana. També és el punt de reunió dels cinc membres de la família durant les temporades festives.

Actualment s'utilitza electricitat provinent de la xarxa elèctrica per cobrir les necessitats energètiques de la casa, exceptuant els fogons de la cuina, que funcionen amb gas butà.

L'aigua sanitària prové d'un aljub que s'omple amb l'aigua de la pluja i, excepcionalment, mitjançant la xarxa municipal de subministrament d'aigua.

4. METODOLOGIA

4.1 Estudi d'eficiència energètica.

Abans de fer una instal·lació d'energies renovables i fins i tot durant el seu aprofitament, és important tenir en tot moment una idea clara de les necessitats energètiques de l'habitatge i de l'evolució de la demanda. Això permetrà fer una bona gestió de l'energia, prenent les mesures necessàries per reduir el consum o desplaçar-lo en el temps, i fer un dimensionament òptim dels equips instal·lats. En aquest sentit, s'ha fet un anàlisi de les instal·lacions, aparells i accions que poden afavorir aquesta eficiència

4.1.1 Monitorització i caracterització de la demanda energètica

Abans de fer una proposta de les possibles instal·lacions, s'ha realitzat un estudi de la demanda energètica de l'habitatge. S'ha monitoritzat el consum elèctric de tots els aparells de l'habitatge i s'ha estimat el consum dels electrodomèstics.

Per a la monitorització dels consums elèctrics s'ha fet servir el mòdul *Gateway Professional* (figura 14). Aquest mòdul ha recollit la informació sobre la despesa elèctrica de l'habitatge durant quatre mesos (de desembre a març) i l'ha enviada a una plataforma digital online des d'on s'ha analitzat.



Figura 14. Mòdul Gateway Professional utilitzat per a la monitorització del consum elèctric de l'habitatge [18]

Paral·lelament s'ha quantificat el consum elèctric de cada un dels electrodomèstics de la casa, multiplicant la seva potència pel temps d'ús diari estimat. Això ha permès desglossar la despesa elèctrica segons l'aparell, identificar consums puntuals i fer prediccions dels mesos que no s'han pogut monitoritzar.

4.1.2 Mesures d'eficiència energètica

Com que el millor dels estalvis és aquella energia que directament no es consumeix, s'han proposat una sèrie de mesures encaminades a reduir el consum i la demanda energètica de l'habitatge.

4.2 Disponibilitat de recursos

Abans del disseny de les instal·lacions s'ha estudiat la radiació solar disponible i el potencial eòlic de la zona:

4.2.1 Radiació solar disponible

S'han consultat les dades meteorològiques de l'agència estatal de meteorologia [19] i la base de dades del *PVGis* [20]. Això ha permès determinar la radiació incident segons les coordenades de la ubicació de la instal·lació, la orientació i la inclinació de la teulada on s'instal·laran les plaques fotovoltaïques i solars-tèrmiques.

Com que els fabricants dels panells fotovoltaïcs expressen la potència dels seus productes en Watts pic en unes condicions de radiació solar 1.000 W/m^2 , també s'han calculat les hores pic equivalents "hsp" corresponents a cada mes, valor que vindria a expressar les hores de llum solar al dia amb una intensitat fixa de 1.000 W/m^2 .

4.2.2 Potencial eòlic

Per utilitzar el vent com a font auxiliar d'una instal·lació fotovoltaïca, no solament s'han de saber les velocitats mitjanes, és imprescindible conèixer els règims dels vents dominants. El vent complementari ideal seria de predomini hivernal (o de tardor a primavera), en forma de vents regulars i no excessivament forts. [15]

Per avaluar la viabilitat de la instal·lació s'ha determinat el potencial eòlic de la zona mitjançant les dades obtingudes de l'*IDAE* [21] i de l'estació meteorològica de l'Ajuntament de Selva [22].

4.3 Instal·lacions d'energies renovables

Per assolir els objectius del projecte s'han dissenyat una sèrie d'instal·lacions d'energies renovables adaptades a les necessitats energètiques de l'habitatge i a la disponibilitat de recursos de la zona:

4.3.1 Instal·lació d'energia solar-tèrmica

S'ha dissenyat una instal·lació solar tèrmica per poder disposar d'un subministrament continuat i abundant d'aigua calenta sanitària (ACS) sense necessitat d'intervenció de l'usuari.

Es captarà la radiació solar mitjançant uns col·lectors solars, es conduirà l'aigua que es vol escalfar mitjançant un tub i, una vegada escalfada, s'acumularà dins un dipòsit ben aïllat tèrmicament.

Aquesta mesura, sumada als airejadors instal·lats a les aixetes i a unes estratègies de consum eficients (consumir durant les hores de més sol o durant al vespre enlloc del matí) permetrà reduir el consum d'aigua i la despesa elèctrica de l'habitatge.

4.3.2 Instal·lació d'energia fotovoltaica

Un sistema de subministrament elèctric autònom basat en energia fotovoltaica permet la transformació directa de l'energia lumínica procedent del sol en energia elèctrica. [15]

S'ha calculat l'equip necessari pel disseny de la instal·lació de tres sistemes diferents:

- **Instal·lació fotovoltaica d'autoconsum instantani:** Consisteix en la producció individual a petita escala d'electricitat per al propi consum a través de panells fotovoltaics, en paral·lel amb la xarxa elèctrica. D'aquesta manera l'usuari disposa d'un suport addicional que li permet obtenir energia quan no hi ha sol per alimentar la instal·lació.
Una instal·lació d'autoconsum amb *balanç net* permet al consumidor que disposa d'una petita instal·lació d'energies renovables, abocar a la xarxa l'electricitat que no es pot consumir de forma instantània i recuperar aquest excedent d'electricitat en un altre moment del dia. A Espanya però, a diferència de la resta de països del món, el *balanç net* no està regulat i no es pot dur a terme. A més, la regulació actual imposa un peatge (impost al sol) als kWh produïts per la instal·lació.
- **Instal·lació fotovoltaica d'autoconsum amb acumulació:** Una alternativa a l'autoconsum instantani és l'autoconsum amb bateries. Com que no existeix un balanç net i els excedents produïts es perden si no es fan servir, s'emmagatzemen els excedents en bateries. Aquest sistema es situaria enmig de les instal·lacions d'autoconsum instantani i les instal·lacions aïllades.
- **Instal·lació fotovoltaica aïllada:** En aquest cas l'equipament no està connectat a la xarxa elèctrica i l'energia elèctrica es genera i es consumeix en el mateix punt. S'ha de garantir l'energia necessària en qualsevol moment de l'any a més de poder disposar de dies d'autonomia en el cas que la irradiació solar sigui insuficient. Per això el sistema d'emmagatzematge haurà de tenir més capacitat que en el cas anterior.

4.3.3 Instal·lació d'energia eòlica

Paral·lelament a la instal·lació fotovoltaica s'ha estudiat la possibilitat d'instal·lar un petit aerogenerador per aprofitar una altra forma renovable i gratuïta d'energia: el vent. Tanmateix, la quantitat d'energia generada per aquest sistema serà insuficient per abastir la totalitat del consum elèctric de la casa. Per això es planteja com un sistema auxiliar que, juntament amb la instal·lació fotovoltaica i la solar-tèrmica, servirà per fer front als pics de demanda de l'habitatge.

4.3. 4 Legislació aplicable

Per al disseny de les instal·lacions s'ha tingut en compte la següent normativa:

- Instruccions tècniques complementàries del reglament electrotècnic de baixa tensió.
- Real decret 1699/2011, de 18 de novembre, que regula la connexió a la xarxa d'instal·lacions de producció d'energia de baixa potència.
- Llei 15/2012, de 27 de desembre, de mesures fiscals per a la sostenibilitat energètica.
- Real decret 413/2014, de 6 de juny, pel qual es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus.
- El Reial decret 900/2015, de 9 d'octubre, regula les condicions administratives, tècniques i econòmiques de les modalitats de subministrament d'energia elèctrica amb autoconsum i de producció amb autoconsum.
- Plec de condicions tècniques de l'IDAE.
- Recomanacions CENSOLAR.
- Quaderns pràctics de l'Institut Català de l'Energia (ICAEN) [23], [24].

4.4 Dimensionament de la instal·lació solar-tèrmica

Pel dimensionament de la instal·lació s'ha pres com a referència el *Quadern pràctic d'instal·lacions solars tèrmiques* de l'Institut Català de L'energia [24].

4.4.1 Energia necessària

El procediment per a dimensionar una instal·lació d'aquestes característiques, s'inicia amb l'avaluació energètica del consum requerit. Es calcula mitjançant l'expressió:

$$Q = v \times \delta \times c_p \times \Delta t \quad (1)$$

On:

- Q, és la quantitat de calor necessària
- V, és el volum diari de consum d'aigua sanitària⁴ (100 L)
- δ , és la densitat de l'aigua (1Kg /L)
- C_p , és la calor específica de l'aigua (1 kcal/kg °C)
- Δt , és l'increment de temperatura⁵ (32°C)

4.4.2 Avaluació de l'energia solar disponible

A partir de les dades de radiació solar de la zona d'estudi es calcula l'energia solar disponible considerant unes pèrdues del 16% per reflexió en el vidre captador:

$$E_{disponible} = R_s \times C_r \quad (2)$$

On:

- $E_{disponible}$, és l'energia solar disponible, valor que servirà de referència per dimensionar els captadors solars
- R_s , és la radiació solar mitjana anual a una inclinació de 30°
- C_r , és el coeficient d'aprofitament de pèrdues per reflexió (0,84)

⁴ Es pren com a valor de referència uns 100 L diaris.

⁵ La temperatura mitjana anual de l'aigua sanitària al lloc de la instal·lació és de 13°C. La temperatura mitjana de l'aigua de consum és de 45°C.

4.4.3 energia que aprofita el sistema

La proporció de radiació que aprofita el captador respecte de la radiació aprofitable queda definida pel rendiment del captador i és calcula amb la següent expressió:

$$\eta = \eta_0 - [m (T_m - T_a) / I] \quad (3)$$

On:

- η_0 és el factor de guanys del captador, també anomenat rendiment òptic. És un valor adimensional que ha de ser subministrat per assaig del fabricant (0,764)
- m , és el pendent de la recta i representa el factor de pèrdues tèrmiques del captador. Cal que el fabricant el subministri per assaig (3,54 W/ m² °C).
- T_m , és la temperatura mitjana del captador (45 °C)
- T_a , és la temperatura ambient mitjana diürna anual (17,4°C)
- I , és la intensitat de radiació mitjana durant les hores de sol (505 W/m²) .

Amb aquest rendiment, es calcula la radiació aprofitable pel captador mitjançant l'expressió:

$$E_{\text{captador}} = E_{\text{disponible}} \times \eta \quad (4)$$

Del total de radiació que pot absorbir el captador l'usuari només n'aprofita una part en forma d'ACS, la resta es perd en forma de calor residual a través de les parets de l'acumulador, les canonades, les vàlvules i la resta d'accessoris del circuit.

El paràmetre de pèrdues generals (0,85) ens obliga a fer una darrera operació per tal de trobar l'energia que aprofita el sistema aplicant la reducció corresponent:

$$E_{\text{sistema}} = E_{\text{captador}} \times C_{\text{pèrdues generals}} \quad (5)$$

4.4.4 Càlcul de la superfície de captació

La superfície de captació per cobrir la demanda anual prevista es limita a realitzar un simple quocient:

$$N_{\text{captador}} = \frac{E_{\text{necessària}}}{E_{\text{que aprofita el sistema}}} \quad (6)$$

On:

- N_{captador} , és el nombre de captadors necessaris per a cobrir la fracció solar exigida (nombre de captadors).
- $E_{\text{necessària}}$, és l'energia que caldrà per a produir l'aigua calenta sanitària.
- $E_{\text{que aprofita el sistema}}$, és l'energia mitjana que genera el captador.

4.5 Dimensionament de les instal·lacions fotovoltaïques

Pel disseny de les instal·lacions s'ha pres de model el *Quadern pràctic d'instal·lacions solars fotovoltaïques* de l'Institut Català de l'Energia [23]

4.5.1 Instal·lació fotovoltaica d'autoconsum instantani

Pel dimensionament de la instal·lació fotovoltaica d'autoconsum instantani s'hauran de definir bàsicament dues coses: el nombre de mòduls fotovoltaics i la potència de l'inversor.

4.5.1.1 Energia necessària

Es tindrà en compte el consum mitjà diürn diari del pitjor mes de l'any. S'ha pres aquest valor de referència ja que és el requeriment energètic de l'habitatge durant les hores de sol, moment en què la instal·lació fotovoltaica produirà electricitat.

En habitatges de primera residència normalment es considera "el pitjor" mes de l'any el mes de desembre, doncs és el mes amb menys hores de sol. No obstant això, donat que en l'habitatge d'estudi el consum elèctric durant els mesos d'estiu creix molt, s'ha volgut valorar si aquests mesos poden considerar-se els "pitjors" mesos de l'any en tant en quant pot ser que el quocient $HPS / \text{Consum elèctric diürn}$ sigui més desfavorable ("pitjor") en els mesos d'estiu que al desembre:

$$HSP \text{ hivern} / \text{Consum diürn hivern} \Leftrightarrow HPS \text{ estiu} / \text{Consum diürn estiu} \quad (7)$$

On:

- HSP hivern són les hores pic equivalents el mes de desembre
- HSP estiu són les hores pic equivalents el mes d'agost
- Consum diürn hivern és el consum diürn mitjà diari monitoritzat el mes de desembre.
- Consum diürn estiu és el consum diürn mitjà diari estimat al mes d'agost. Com que no es disposen dades monitoritzades del consum per aquest mes, al consum diürn mitjà monitoritzat dels quatre mesos d'hivern se li han sumat els consums puntuals dels mesos d'estiu (depuradora, aire condicionat i ventilador sòtil) i se li ha restat el consum del termo elèctric, doncs s'utilitzarà la instal·lació solar tèrmica.

Una vegada determinat el mes més desfavorable, al valor de referència obtingut se li aplica un factor global de rendiment de la instal·lació fotovoltaica. El càlcul ve determinat per la següent expressió:

$$Energia \text{ necessària} = \frac{\text{Consum diari previst}}{\text{Rendiment global}} \quad (8)$$

On:

- Consum diari previst és el valor de consum calculat anteriorment.
- Rendiment global té en compte les pèrdues associades a l'inversor (0,05)
- Energia necessària és l'energia bruta que cal produir als mòduls per a satisfer amb efectivitat els consums nets previstos

4.5.1.2 Nombre de mòduls fotovoltaics

El nombre de mòduls necessaris és la dada més important a calcular ja que servirà com a referència a l'hora de calcular altres components del sistema, fins i tot per fer una aproximació del cost econòmic de la instal·lació.

El càlcul del nombre de mòduls ve determinat per la següent expressió:

$$\text{Nombre de mòduls} = \frac{E \text{ necessària [Wh/dia]}}{\text{Potència pic mòdul [Wp]} \times \eta_{\text{camp}} \times \text{Radiació solar [HSP/dia]}} \quad (9)$$

On:

- Potència pic del mòdul és una dada que acompanya la referència de model dels fabricants. Es faran servir panells de 275 Wp.
- El rendiment de camp (η_{camp}) inclou les pèrdues degudes a la brutícia, la temperatura, el cablejat, i la tolerància de potència dels mòduls (0,8)
- La radiació solar és la corresponent a les HSP del mes de referència
- L'energia necessària és el valor de consum brut del mes de referència.

4.5.1.3 Potència de l'inversor

L'inversor és l'element encarregat de transformar la corrent contínua provinent dels panells fotovoltaics en corrent alterna, que és la que utilitzen els electrodomèstics de la casa per a funcionar.

A partir de la potència del camp fotovoltaic, per trobar la potència del convertidor caldrà aplicar simplement el factor de relació indicat pels fabricants i que és aproximadament el següent:

$$\text{Potència del convertidor} = \text{potència pic del camp} / 1,25 \quad (10)$$

4.5.2 Instal·lació fotovoltaica d'autoconsum amb acumulació

Aquesta instal·lació haurà de garantir una producció energètica suficient per satisfer la demanda energètica tant diürna com nocturna i en les condicions més desfavorables: quan la relació entre irradiació i consum sigui més baixa. A més, la instal·lació ha de permetre l'acumulació dels excedents energètics, mitjançant bateries, en moments de sobreproducció.

4.5.2.1 Energia necessària

Es pren com a valor de referència el consum diari mitjà estimat del mes més desfavorable, i se li resta el consum estalviat amb la instal·lació solar tèrmica.

El rendiment global del sistema fotovoltaic serà inferior ja que s'han de sumar les pèrdues associades al regulador i a les bateries:

$$\text{Energia necessària} = \frac{\text{Consum diari previst}}{\text{Factor global de rendiment (0,75)}} \quad (11)$$

4.5.2.2 Nombre de mòduls fotovoltaics

Es fa servir la mateixa expressió utilitzada anteriorment (equació 9). En aquest cas el nombre de mòduls serà superior ja que també es requereix més potència de placa per satisfer els requeriments energètics.

4.5.2.3 Capacitat de l'acumulador

La bateria és el magatzem d'energia de la instal·lació fotovoltaica i, per tant, la seva capacitat estarà determinada pel consum diari i pel nivell d'autonomia que vulguem obtenir, variable en funció del tipus d'instal·lació.

En el cas d'una instal·lació d'autoconsum amb acumulació es requereix una bateria amb un dia d'autonomia. En cas que hi hagi més d'un dia seguit ennuvolat, l'electricitat necessària pel segon dia s'obindrà de la xarxa elèctrica. La capacitat de la bateria es calcula mitjançant la següent expressió:

$$\text{Capacitat de la bateria} = \frac{\text{Energia necessària} \times \text{dies d'autonomia (1)}}{\text{Voltatge (V)} \times \text{Profunditat de descàrrega de la bateria (0,8)}} \quad (12)$$

On:

- Energia necessària és l'energia bruta que cal produir als mòduls per a satisfer amb efectivitat els consums nets previstos
- Dies d'autonomia (1 dia). En el cas d'una instal·lació d'autoconsum amb acumulació es requereix una bateria amb un dia d'autonomia
- El voltatge de l'acumulador haurà d'ésser escollit de manera que sigui prou elevat com per a obtenir uns corrents de càrrega/descàrrega raonables (24 V).
- La Profunditat de descàrrega serà de 0,8 ja que es faran servir bateries de darrera generació.

4.5.2.4 Potència de l'inversor

Es fa servir la mateixa expressió que en el cas de la instal·lació d'autoconsum instantani (equació 10). En aquest cas l'inversor haurà de ser més potent ja que la potència pic del camp fotovoltaic serà major.

4.5.3 Instal·lació fotovoltaica aïllada

El dimensionament de la instal·lació serà similar al d'autoconsum amb acumulació ja que l'energia necessària pel sistema serà la mateixa. Ara bé, l'acumulador haurà de garantir dos dies d'autonomia. Això és degut a que en aquest cas l'equipament no estarà connectat a la xarxa elèctrica i s'ha de poder fer front a dos dies seguits amb núvols.

4.5.3.1 Nombre de mòduls fotovoltaics

Com que els requeriments energètics són els mateixos que en la instal·lació d'autoconsum amb acumulació, s'utilitzarà la mateixa configuració de mòduls fotovoltaics (apartat 3.3.3.2).

4.5.3.2 Capacitat de l'acumulador

Partint de l'expressió utilitzada anteriorment (equació 12), i sabent que en lloc d'un dia d'autonomia en necessitem dos, es calcula la capacitat que haurà de tenir la bateria.

4.5.3.3 Reguladors de càrrega

Els reguladors de càrrega es caracteritzen per la intensitat màxima que poden suportar, així com pel voltatge nominal de treball. El model de regulador necessari en cada instal·lació quedarà determinat per el nombre i la potència màxima dels diferents camps de mòduls (*strings*).

4.5.3.4 Potència de l'inversor

La potència nominal del convertidor adient, en el cas d'una instal·lació aïllada, serà la resultant de la suma de totes les potències nominals dels equips consumidors multiplicat per un coeficient de simultaneïtat entre 0,5 a 0,75

4.6 Dimensionament de la instal·lació eòlica

Com que l'estructura de suport de l'aerogenerador ja està instal·lada, només caldrà escollir un aerogenerador domèstic que compleixi amb els següents requisits:

- Que s'adeqüi al potencial eòlic de la zona. La velocitat d'arrancada de l'aerogenerador ha d'estar, com a mínim, per sobre de velocitat mitjana anual.
- Que es complementi amb la instal·lació fotovoltaica. Alguns aerogeneradors domèstics utilitzen sistemes híbrids que permeten carregar les bateries quan hi ha poc vent.
- Que sigui assequible i fàcilment instal·lable.

4.6.1 Càlcul de l'energia produïda

Per al càlcul de l'electricitat produïda es relaciona la velocitat del vent de la zona amb la potència de l'aerogenerador: s'han obtingut dades de les velocitats mitjanes de l'estació meteorològica de l'Ajuntament de Selva [22] de tots els dies de l'any 2017. Aquestes dades s'han agrupat amb intervals de velocitats i s'ha calculat la producció estimada segons la corba de potència de l'aerogenerador (figura 15).

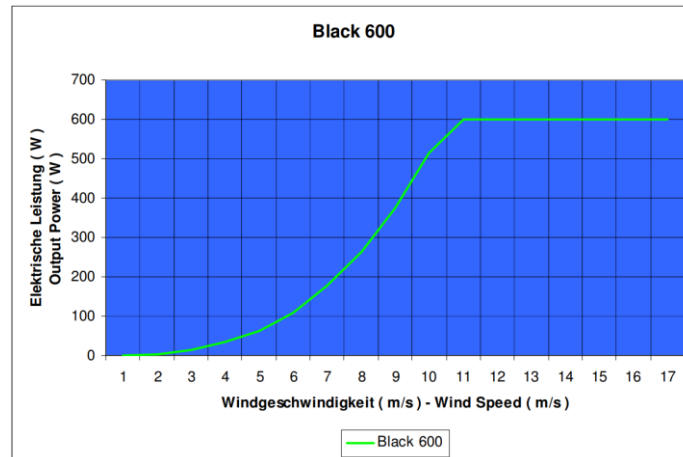


Figura 15. Corba de potència de l'aerogenerador "Black 600 12/24 V". (Descarregat de la fitxa tècnica de l'aerogenerador).

4.7 Estudi econòmic

S'ha determinat la viabilitat econòmica del conjunt de les instal·lacions. L'estudi consta de 3 apartats:

- Costos d'inversió: diners necessaris per a dur a terme les instal·lacions.
- Beneficis generats: l'estalvi de diners que suposaria produir la nostra pròpia electricitat.
- Balanç global: valoració de la rendibilitat del projecte i comparació de les diferents alternatives proposades.

4.7.1 Costos d'inversió

Per al càlcul de la inversió econòmica que suposaria l'execució del projecte s'ha tingut en compte el preu en el mercat dels components necessaris en cada tipus d'instal·lació. La mà d'obra serà pròpia (família), així com els petits materials elèctrics, i per tant els seus costos no s'han comptabilitzat.

4.7.2 Estalvi generat

Pel càlcul de l'estalvi anual que suposaria cada tipus d'instal·lació s'ha tingut en compte:

- El preu del kWh extret de les últimes factures de la llum, sense tenir en compte la potència contractada (0,17292159 €/kWh), pel cas de les instal·lacions d'autoconsum instantani i amb acumulació ja que hauran de seguir connectades a la xarxa.
- El preu del kWh tenint en compte la potència contractada (0,22450766 €/kWh), pel cas de la instal·lació aïllada, ja que no necessita connexió a la xarxa.
- Que tota l'energia que es produeix en la instal·lació d'autoconsum instantani es consumeix.
- L'estalvi generat pels col·lectors solars i l'estufa de llenya és el dels consums elèctrics del termo elèctric per escalfar l'aigua sanitària i de la bomba de calor per escalfar la casa, respectivament.

4.7.3 Rendibilitat

El període de retorn (anys) de cada alternativa proposada s'ha calculat dividint la inversió (€) pels beneficis anuals (€/any). Com que el dimensionat de les instal·lacions fotovoltaïques s'ha fet tenint en compte l'estalvi energètic que suposaria la instal·lació solar tèrmica i l'estufa de llenya, s'han valorat conjuntament. La instal·lació eòlica es contempla apart.

4.8 Estudi de sostenibilitat

El cost econòmic que suposen els impactes mediambientals i socials provocats per les energies convencionals són sistemàticament externalitzats. L'externalització d'aquests costos ambientals i socials penalitza les fonts energètiques de menor impacte (les renovables) i bonifica les més important (les dependents dels combustibles fòssils) [25]

L'execució d'aquest projecte tindrà com a resultat la reducció de la petjada de carboni de l'habitatge. Es calcularà l'estalvi en emissions de CO₂ equivalents que suposaria l'aplicació del projecte

S'han determinat les emissions que s'evitarien per cada tipus d'instal·lació. Per als càlculs s'ha consultat la "guia pràctica per al càlcul d'emissions de gasos amb efecte hivernacle" publicada per la oficina catalana del canvi climàtic [26] i s'han tingut en compte les següents consideracions:

- Consumir 1 kWh a la xarxa elèctrica espanyola suposa l'emissió de 392 g de CO₂.
- La generació d'electricitat mitjançant energies renovables no produeix gasos d'efecte hivernacle. No obstant això, genera emissions associades a altres parts del cicle de vida com ara la fabricació i el transport dels equips necessaris per produir l'electricitat.
- Les emissions difuses associades a la producció fotovoltaïca, solar tèrmica, eòlica i de biomassa són de 39, 6, 14 i 46g CO₂-eq/kWh respectivament [27]
- A les emissions de l'autoconsum instantani se li han sumat les emissions corresponents al consum nocturn, les quals provenen de la xarxa elèctrica.
- Les emissions evitades són la diferència entre les emissions actuals i les posteriors a l'execució del projecte.

5. RESULTATS

5.1 Estudi d'eficiència energètica

5.1.1 Monitorització i caracterització de la demanda energètica

L'estimació teòrica de la demanda energètica ha permès caracteritzar la despesa elèctrica de l'habitatge i desglossar els consums segons el tipus d'aparell (figura 16) i el mes de l'any (taula 1).

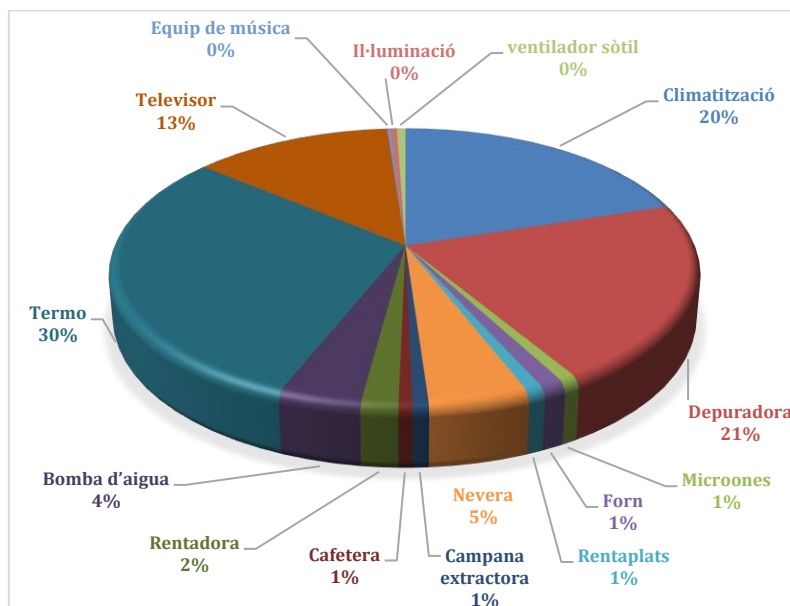


Figura 16. Contribució de cada electrodomèstic (%) al consum total de l'habitatge.

Taula 1. Estimació del consum total (kwh) i mitjà diari (kwh/dia) per mesos i anual.

Mes	Consum (kWh)	Consum mitjà diari (kWh/dia)
Gener	487,95	15,74
Febrer	444,09	15,86
Març	336,05	10,84
Abril	295,81	9,86
Maig	480,04	15,48
Juny	562,21	18,74
Juliol	681,85	21,2
Agost	681,85	21,2
Setembre	430,06	14,33
Octubre	305,67	9,86
Novembre	295,81	9,86
Desembre	487,95	15,74
Anual	5.489,32	15,03

Com es pot observar, els consums més destacables són el del termo elèctric, el de la depuradora, el de la climatització i el de la televisió. Tots 4 junts sumen el 84% de la despesa energètica total de l'habitatge i dos d'ells, els de la depuradora i la climatització, es fan servir en èpoques concretes de l'any, fet que explica les diferències de consum elèctric entre els diferents mesos:

- Durant el juliol i l'agost augmenta l'ús de la depuradora (6,75 kWh/dia) i de l'aire condicionat (6,18 kWh/dia), incrementant notablement el consum elèctric respecte els altres mesos.
- Durant els mesos d'hivern (desembre gener i febrer), el consum no és tant elevat ja que disminueix l'ús de la depuradora, però així i tot es manté elevat degut a la utilització de la bomba de calor (5,92 kWh/dia).
- Maig, juny i setembre segueixen presentant un consum elèctric elevat ja que tot i que en menor mesura, encara es fan servir la depuradora i l'aire condicionat.
- La resta de mesos presenten un consum bastant més baix i no es fan servir cap d'aquests dos equips.

Per altra banda, la monitorització de la despesa elèctrica ha permès fer un seguiment real i més exhaustiu del consum de l'habitatge.

- S'han calculat els consums diaris, diürns i nocturns, mitjans i mensuals (taula 2). Aquests valors ens informen sobre les necessitats energètiques durant les hores de sol, que és quan els panells fotovoltaics podran generar electricitat i, durant les hores de fosca, quan l'electricitat s'haurà d'obtenir d'una altra font o de les bateries.

Taula 2. Consum elèctric (diari, diürn i nocturn) per mesos i mitjana dels quatre mesos.

Mes	Consum (kWh)	Consum Diürn (kWh)	Consum nocturn (kWh)	Consum mitjà diari (kWh/dia)	Consum mitjà diari diürn (kWh/dia)	Consum mitjà diari nocturn (kWh/dia)
Desembre	562,89	213,95	348,94	18,16	6,90	11,25
Gener	411,75	161,43	250,32	13,28	5,21	8,07
Febrer	509,20	188,91	320,29	18,18	6,75	11,43
Març	268,59	84,74	183,85	8,66	2,73	5,93
Mitjana	438,11	162,26	275,85	14,57	5,4	9,17

- L'anàlisi de la corba de consum d'un dia tipus, com ara del divendres 9 de març, ha permès identificar patrons que es repeteixen periòdicament i que poden resultar útils a l'hora de desplaçar consums cap a una altra hora del dia (Figura 17):

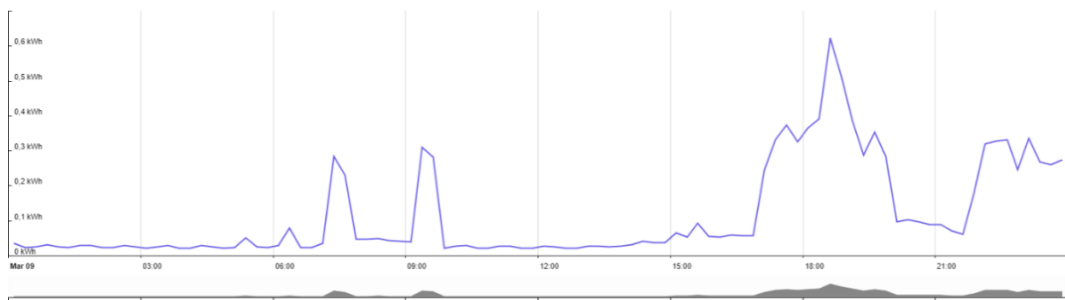


Figura 17. Evolució del consum (kWh) del 9 de març [28]

- Entre les 12 del vespre i les 6 del matí despesa elèctrica roman constant, sense fluctuacions considerables.
- Durant el matí es produeixen dos pics de consum elèctric, que coincideixen amb el moment en què els habitants s'aixequen per anar a treballar, un entre les 6 i les 7 i l'altre entre les 9 i les 10.

- Quan la casa queda buida el consum davalla i es manté estable fins a les tres del migdia, moment en què el matrimoni torna de treballar i torna a augmentar.
- Entre les 17 i 18h la demanda baixa una mica i torna a pujar l'hora de sopar.

Finalment, s'han comparat els consums reals amb els teòrics i s'ha demostrat que la despesa energètica és similar en ambdós casos (figura 18) i l'evolució de la despesa energètica respon a les estimacions teòriques, amb un consum més elevat els mesos de desembre, gener i febrer i un descens considerable el mes de març (figures 19 i 20).

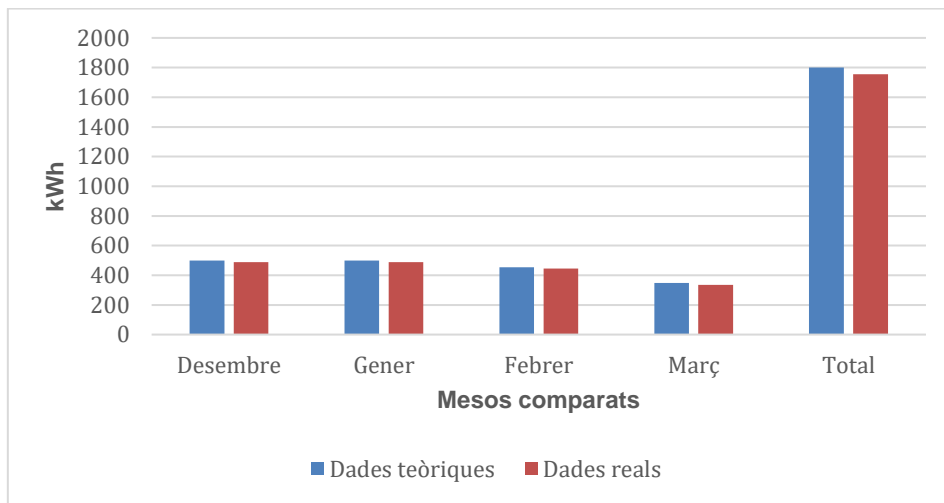


Figura 18. Comparació entre els valors de consum estimats i els monitoritzats (kWh).

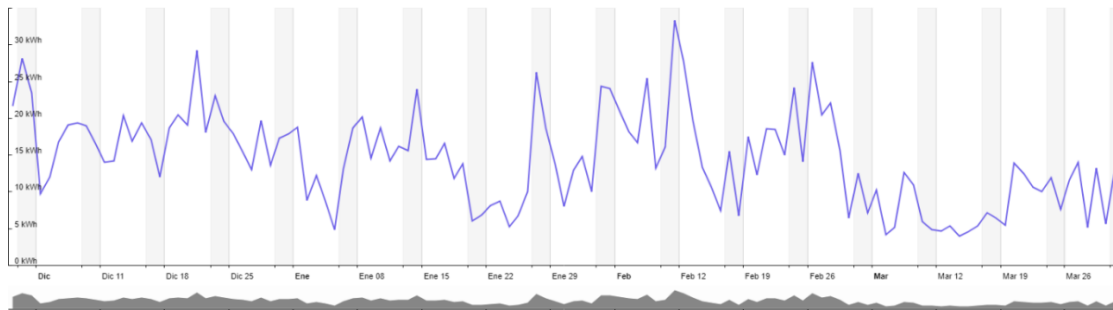


Figura 19. Evolució del consum elèctric (kWh) de març fins a desembre [28]

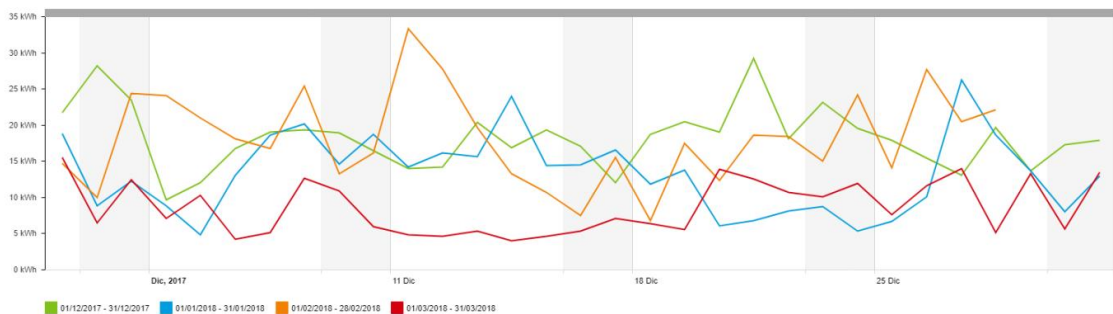


Figura 19. Comparació entre els consums energètics(kWh) dels 4 mesos [28].

5.1.2 Mesures d'eficiència energètica

A continuació es descriuen les mesures aplicades:

- **Manteniment de la temperatura a l'interior de la casa:** La coberta és el tancament per on es perd més energia per m^2 i també és el més exposat a la radiació solar. Per això es proposa incorporar aïllant tèrmic per reduir les pèrdues tèrmiques per conducció i radiació, i també, la demanda de refrigeració durant l'estiu.
- **Sistemes de mesura i de control:** els propietaris de la casa han adquirit un mediador de costos energètics. L'aparell es connecta via wifi a l'smartphone i permet monitoritzar, a través del mòbil, en temps real, el consum energètic dels electrodomèstics. Amb aquesta solució s'han reduït els consums innecessaris, abaratint costos econòmics i ambientals.
- **Millora d'usos i costums en il·luminació:** com que l'aparell consumidor més eficient és el que apaguem, s'han de reduir els temps d'encesa de les fonts de llum artificial. L'entrada de la casa és un saló tancat que comunica amb el terrat i la sala d'estar de l'habitatge. Molt sovint la llum del saló queda encesa consumint electricitat innecessàriament. Per evitar-ho s'instal·larà un dispositiu temporitzador que apagui la llum automàticament passat un temps.
- **Climatització amb biomassa.** la ubicació de l'habitatge és òptima per la instal·lació d'una estufa de llenya ja que el bosc dels voltants disposa de biomassa per cremar. D'aquesta manera s'eliminarà el consum de la bomba de calor a l'hivern (5,92 kWh/dia) i s'estalviarà un 10% de la despesa elèctrica total de l'habitatge, fent servir una font d'energia renovable.
- **Eliminar l'Stand-by:** La majoria dels aparells electrònics continuen consumint energia quan els apaguem per l'interruptor i segueixen endollats al corrent. Per eliminar aquest consum "fantasma", s'endollaran els electrodomèstics a regletes amb interruptor i s'apagaran quan no es facin servir.
- **Desplaçament dels consums:** es canviaran els hàbits d'ús d'alguns electrodomèstics, adaptant-los als moments de més producció solar. Posar la rentadora i el rentaplats el migdia enlloc de a les 7 del matí o a les vuit de l'horabaixa permetrà dur a terme un consum energètic més sostenible.

5.2 Disponibilitat de recursos

5.2.1 Radiació solar disponible

Mallorca presenta unes condicions climàtiques privilegiades pel que fa a energia solar disponible:

- Disposa d'una radiació mitjana anual de $4,9 \text{ kWh/m}^2$, amb mínimes de $2,5 \text{ kWh/m}^2$ els mesos d'hivern i de $7,5 \text{ kWh/m}^2$ els mesos d'estiu [29].
- Presenta una mitjana anual de 7,5 hores de llum per dia, amb màximes de 11,4 hores al dia el juliol i mínimes de 5 hores al dia el desembre [19].
- Hi ha uns 300 dies de sol a l'any i és inusual trobar més de tres dies seguits ennuvolats [19].

La taula 3 mostra la radiació incident, les HSP i la temperatura mitjana mensuals, segons les coordenades de la ubicació de la instal·lació, la orientació i la inclinació de la teulada:

Taula 3. Radiació solar mitjana anual i mensual, HSP i temperatura a la ubicació de l'habitatge i inclinació de la teulada (30°) [20]

Mes	Irradiació a 30° (Wh/m ²)	Temperatura mitjana (°C)	HSP
Gener	3500	10,9	3,5
Febrer	4280	10	4,28
Març	5790	12,2	5,79
Abril	6040	15,1	6,04
Maig	6610	18	6,61
Juny	7030	21,9	7,03
Juliol	7160	25,1	7,17
Agost	6720	25,5	6,72
Setembre	5750	23,1	5,75
Octubre	4800	19,8	4,8
Novembre	3530	15,2	3,53
Desembre	3320	12,2	3,32
Mitjana anual	5380	17,4	5,38

5.2.1 Potencial eòlic

La velocitat mitjana anual del vent, durant el 2017, a una altura de 10 m d'alçada respecte el nivell del terra és de 1,83 m/s.

El predomini és majoritàriament hivernal: s'observa un increment de la velocitat mitjana del vent durant els mesos de desembre, gener, febrer i març (figura 21).

La direcció del vent predominant és oest – est, vent de ponent.

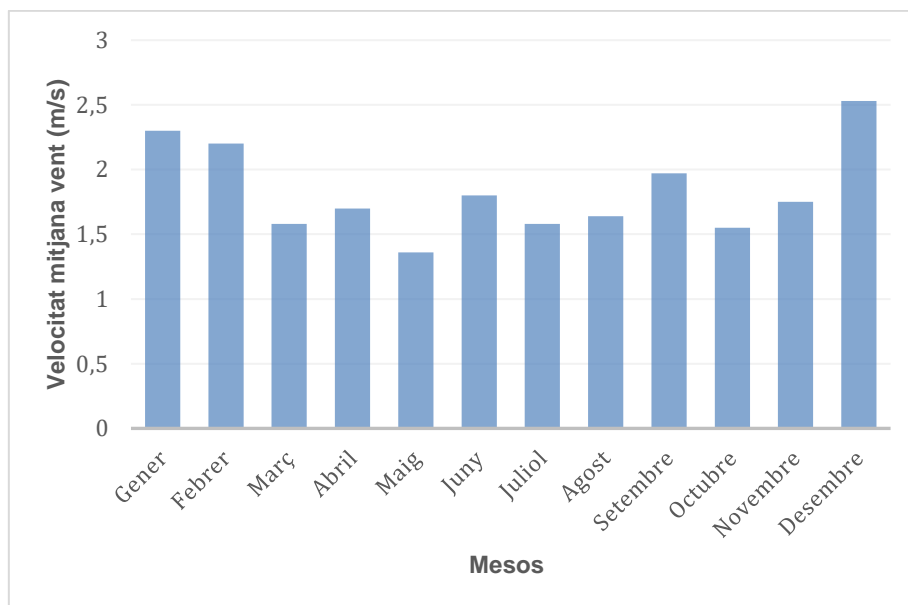


Figura 20. Velocitat mitjana mensual del vent durant el 2017 (m/s) al lloc de la instal·lació. (Elaboració pròpia amb dades de l'estació meteorològica de l'Ajuntament de Selva [22]).

5.3 Dimensionament de la instal·lació solar tèrmica

Segons els càlculs descrits (apartat 3.4) , es necessitaran instal·lar 1,7 captadors *Unisol 60 basic*, de 2m² cadascun per escalfar els 100L diaris d'aigua sanitària. S'arrodoneix a 2 per garantir els requisits energètics de l'habitatge.

Gràcies al la instal·lació solar tèrmica s'eliminarà el consum elèctric més elevat de l'habitatge, corresponent al termo elèctric. S'estalviaran així 4,5 kWh diaris i es reduirà la despesa elèctrica de l'habitatge un 30 %.

5.4 Dimensionament de les instal·lacions fotovoltaïques

La taula 4 mostra la capacitat i quantitat d'equips necessaris per a cada tipus d'instal·lació proposat, segons els càlculs descrits (apartat 3.5):

Taula 4. Capacitat i quantitat d'equips necessaris per a cada tipus d'instal·lació fotovoltaïca

	Autoconsum instantani	Autoconsum amb acumulació	Aïllada
Energia necessària	14,9 kWh/dia	23,3 kWh/dia	23,3 kWh/dia
Nº panells (275Wp)	10	16	16
Capacitat bateries	No es requereix	1214,9 Ah (24V)	2429,9 Ah (24V)
Regulador de càrrega	No es requereix	Incorporat en Inversor	140,64 A
Potència inversor	2,2 kW	3,5kW	6,3 kW

5.5.1 Selecció dels equips

Amb els resultats exposats es selecciona el següent equipament:

Instal·lació fotovoltaïca d'autoconsum instantani:

- 10 panells fotovoltaïcs de 275 Wp de la marca *Amerisolar*, model *AS-6P30* amb una potència instal·lada total del camp fotovoltaïc de 2.750 Wp.
- 1 inversor de la marca *Fornius*, model *Galvo 2.5-1* amb una potència nominal de sortida de 2,5 kW.

Instal·lació fotovoltaïca d'autoconsum amb acumulació:

- 16 panells fotovoltaïcs de 275 Wp de la marca *Amerisolar*, model *AS-6P30* amb una potència instal·lada total del camp fotovoltaïc de 4.400 Wp.
- 3 armaris de bateries d'ió liti, de 10 kW (48V) cadascuna, de la marca *BYD 2*. Es disposaran els 3 armaris en paral·lel i la capacitat instal·lada serà de 30 kWh. S'han escollit bateries d'Ío Liti ja que tot i ser bastant més cares que les de plom àcid, duren més temps i tenen temps de càrrega i descàrrega ultra ràpids.
- 1 inversor de la marca *Fornius*, model *Symo Hybrid 4.0-3-S* amb una potència nominal de sortida de 4 kW. S'ha escollit aquest inversor perquè permet carregar les bateries directament sense necessitat d'un regulador de càrrega. A més, utilitza una tecnologia híbrida d'alta freqüència reduint la dependència energètica de la xarxa elèctrica.

Instal·lació fotovoltaica aïllada:

- 16 panells fotovoltaics de 275 Wp de la marca *Amerisolar*, model *AS-6P30* amb una potència instal·lada total del camp fotovoltaic de 4.400 Wp.
- 12 gots de bateries (2V) de plom àcid de la marca *Hoppecke*, model *12 OPzS 1500* de 2232 Ah (C100)⁶ formant una branca de bateries a 24 V i amb una capacitat instal·lada de 57 kWh.
- 1 Inversor de la marca *Victron*, model *Quattro 24-8000;200* amb una potència nominal de sortida de 6,5 kW.
- 3 reguladors de càrrega de la marca *Morningstar*, model *TriStar TS60*, amb una capacitat instal·lada de 180 A.

5.6 Dimensionament de la instal·lació eòlica

Segons les consideracions descrites (apartat 3.6), es selecciona un aerogenerador domèstic de 600 W de potència, de la marca *Black*, model 600 12/24 V.

5.6.1 Càlcul de l'energia produïda

La figura 22 permet visualitzar la producció energètica per mesos:

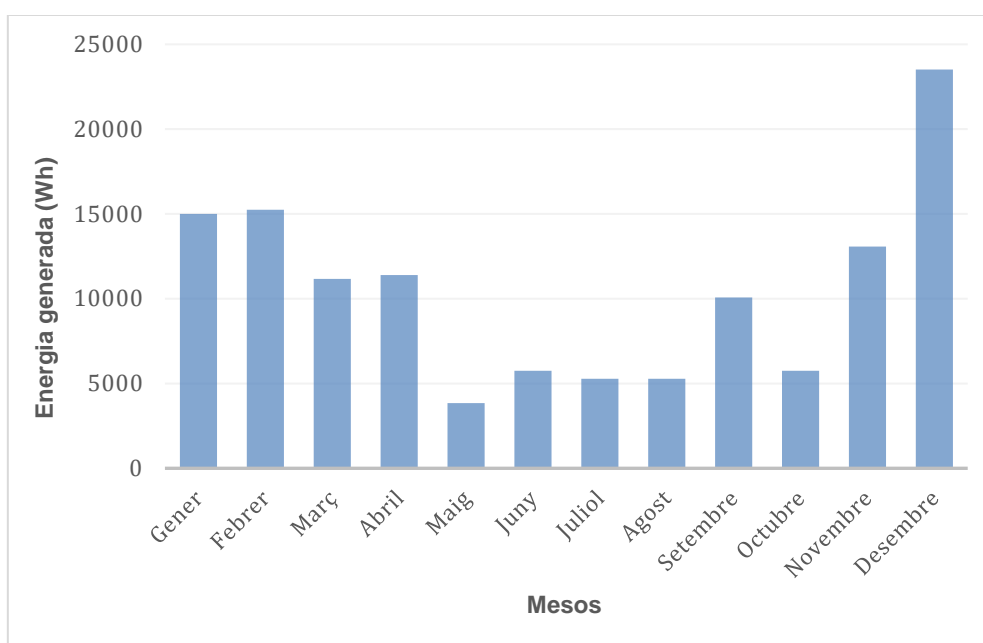


Figura 21. Producció energètica mensual de l'aerogenerador (Wh). (Elaboració pròpia amb dades de l'estació meteorològica de l'Ajuntament de Selva [22]).

⁶ El subíndex C₁₀₀ indica que aquesta capacitat de bateria serà la subministrada en cicles de descàrrega de 100 hores de durada que és el valor més emprat per a instal·lacions d'electrificació rural.

5.7 Estudi econòmic

5.7.1 Costos d'inversió

Les taules 5 i 6 mostren la inversió econòmica que suposaria l'execució del projecte en funció del tipus d'instal·lació:

Taula 5. Inversió requerida (€) pels diferents equips segons els tipus d'instal·lacions fotovoltaïques proposades:

		Tipus d'instal·lació		
Inversió (€)		Instal·lació d'autoconsum instantani	Instal·lació d'autoconsum amb acumulació	Instal·lació aïllada
	Panells fotovoltaïcs	1.850 € (10 x 180 €)	2.880 € (16 x 180 €)	2.880 € (16 x 180 €)
	Inversor	1.215 €	2550 €	3.700 €
	Bateries	-	19.500 € (3 x 6.500 €)	9.048 € (12 x 754 €)
	Regulador de càrrega	-	-	687 € (3 x 229 €)
	Total	3.065 €	24.930 €	16.315 €

Taula 6. Inversió requerida (€) per les instal·lacions eòlica, solar-tèrmica i de biomassa.

		Tipus d'instal·lació		
Inversió (€)	Eòlica	Solar-Tèrmica	Biomassa	
		1.225 € (aerogenerador)	800 € (2 x 400 €)	1.350 € (estufa de llenya)

5.7.2 Estalvi generat

Les taules 7 i 8 mostren l'estalvi anual, en kWh/any i €, que suposaria cada tipus d'instal·lació.

Taula 7. Estalvi elèctric (kWh/any) i econòmic (€/any) generat segons el tipus d'instal·lació fotovoltaïca. L'estalvi econòmic de les dues instal·lacions connectades a la xarxa no tenen en compte el cost per potència contractada.

		Tipus d'instal·lació		
Estalvi		Autoconsum instantani	Autoconsum amb acumulació	Aïllada
	Energètic (kWh/any)	4.104,13	5.184,17	5.184,17
	Econòmic (€/any)	709,69	896,45	1.163,88

Taula 8. Estalvi elèctric (kWh/any) i econòmic (€/any) generat per les instal·lacions eòlica, solar-tèrmica i de biomassa segons si el conjunt de la instal·lació està connectat o no a la xarxa elèctrica.

Tipus d'instal·lació							
		Eòlica (xarxa)	Solar tèrmica (xarxa)	Biomassa (xarxa)	Eòlica (no xarxa)	Solar tèrmica (no xarxa)	Biomassa (no xarxa)
Estalvi	Energètic (kWh/any)	125,4	1642,5	562,94	125,4	1642,5	562,94
	Econòmic (€/any)	21,68	284,02	97,34	28,15	368,75	126,38

5.7.3 Rendibilitat

La taula 9 mostra els costos (€), els beneficis (€/any) i el període de retorn (anys) per les diferents alternatives proposades:

Taula 9. Resum de la inversió (€), l'estalvi (€/any) i del període de retorn (anys) de les alternatives proposades.

Tipus d'instal·lació				
	Autoconsum instantani	Autoconsum amb acumulació	Aïllada	Eòlica
Inversió (€)	5.215	27.080	18.465	1.225
Estalvi (€/any)	1.091,05	1.277,81	1.659,01	28,15
Període de retorn (anys)	4,78	21,19	11,13	43,52

5.8 Estudi de sostenibilitat

La taula 10 compara les emissions que suposa la producció energètica segons la font de producció (renovables o de la xarxa) i les emissions que s'evitarien per cada tipus d'instal·lació.

Taula 10. Emissions evitades (Kg CO₂-eq) segons el tipus d'instal·lació.

Tipus d'instal·lació						
	Autoconsum instantani	Autoconsum amb acumulació	Aïllada	Eòlica	Biomassa	Solar tèrmica
Producció energètica (kwh/any)	4.104,13	5.184,17	5.184,17	125,4	562,94	1.642,5
Emissions consumint a la xarxa (Kg CO ₂)	1.608,82	2.032,19	2.032,19	49,16	220,67	643,86
Emissions fent servir renovables (KgCO ₂ -eq)	160,06 + 836,77	202,18	202,18	1,75	25,89	9,85
Emissions evitades (Kg CO ₂)	611,99	1830,01	1830,01	47,41	342,27	634,01

6. CONCLUSIONS AND DISCUSSIONS

From the results obtained it can be concluded that:

- 40% of the electrical house demand can be supplied by using solar thermal (30%) and biomass energy (10%). The rest of the energy demand (60%) will come from a photovoltaic installation.
- The most economically profitable photovoltaic installation, despite the restrictions of Spanish laws, is instantaneous self-consumption, with a return period of almost five years. This is how the forecasts announced in the latest report by the International Energy Agency [30], on the increase in the competitiveness of the photovoltaic sector experienced during the last year, agree with the results of the present protocol.
- The isolated photovoltaic installation has a return period of approximately 11 years.
- Self-consumption with accumulation presents a return period of 21 years, a time interval greater than the useful life time guaranteed by the manufacturers. Therefore, it is considered economically unfeasible.
- Wind power installation is also economically unfeasible, but with a return period of 43 years and a half.
- The use of any source of energy from the ones proposed supposes a significant reduction in CO₂ emissions, compared to the current situation.

Therefore, the feasibility of the project is demonstrated, and two economically profitable alternatives are presented:

1. An instant self-consumption photovoltaic installation combined with a solar thermal installation and a biomass heating.
2. An isolated photovoltaic installation combined with a solar thermal installation and a biomass heating.

The choice between alternatives will depend on user's preferences: if economic profitability is prioritized, they will opt for the first option; otherwise, if environmental criteria are ranked above economic efficiency, wanting to end energetic dependence of the electricity grid, they will opt for the second option.

7.BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Turiel, "The Oil Crash: Entrevista a Gaël Giraud," *Entrevista a Gaël Giraud*, 2014. [Online]. Available: <http://crashoil.blogspot.com.es/2014/05/entrevista-gael-giraud.html>. [Accessed: 09-Apr-2018].
- [2] A. Barrero, "La dependencia energética de España, casi 20 puntos por encima de la media UE28," *Energías Renov. El Periodis. las energías limpias*, no. Energías renovables; Dependencia energética, 2017.
- [3] I. Energy Agency, "World Energy Outlook 2017," 2017.
- [4] R. Fernández Durán and L. González Reyes, *En la espiral de la energía: colapso del capitalismo global y civilizatorio volumen 2*, Vol. 2. Madrid, 2018.
- [5] R. Bermejo, *Un futuro sin petróleo: colapsos y transformaciones socioeconómicas / Roberto Bermejo*. Los Libros de la Catarata, CIP-Ecosocial. Madrid, 2008.
- [6] J. Laherre, "Previsiones resumidas de la producción mundial de petróleo y gas entre 1900 y 2100," *Crisis Energética. Respuestas a los retos energéticos del SXXI*, 2013. [Online]. Available: <https://lacrisisenergetica.wordpress.com/2013/07/13/previsiones-resumidas-de-la-produccion-mundial-de-petroleo-y-gas-entre-1900-y-2100/>. [Accessed: 09-Apr-2018].
- [7] M. Li, "World Energy 2017-2050: Annual Report," 2017.
- [8] E. Giordano, *Las guerras del petróleo: geopolítica, economía y conflicto*, (Vol. 185). Icaria Editorial, 2003.
- [9] P. Uc, "El discurso geopolítico del petróleo como representación espacial dominante de la economía política internacional," *Argumentos (México, D.F.)*, vol. 21, no. 58, División de Ciencias Sociales y Humanidades, UAM-Unidad Xochimilco, pp. 109–133, 2008.
- [10] A. Acosta, *La maldición de la abundancia*, Ediciones Abya-Yala. Quito, Ecuador, 2009.
- [11] Asociación Empresarial Eólica, "Eólica 2017." Madrid, 2017.
- [12] International Energy Agency IEA, "Solar Photovoltaic Energy," *Technol. Roadmap*, p. 60, 2014.
- [13] UNEF, "El auge mundial de la fotovoltaica," *Informe anual 2017*. UNEF, Madrid, 2017.
- [14] L. Leonard and J. Barry, *The Transition to Sustainable Living and Practice*, Emerald Gr., vol. 4. UK, 2009.
- [15] J. Serrasolses and J. Serrano, *Manual de l'usuari d'instal·lacions fotovoltaiques autònomes*, 3rd ed. Barcelona: Associació Serveis Energètics Bàsics Autònoms, 2002.
- [16] S. C. de P. del G. Vasco, *Guía de edificación sostenible para la vivienda en la comunidad autónoma del país vasco*, Segunda ed. Donostia, San Sebastián, 2008.
- [17] Google, "Google Maps." [Online]. Available: <https://www.google.com/maps/@39.7549848,2.8964546,421m/data=!3m1!1e3>. [Accessed: 14-May-2018].
- [18] "gateway profesional - Cerca amb Google." [Online]. Available: https://www.google.es/search?q=gateway+profesional&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwidhoTM8JHbAhXJFZoKHR4TCPcQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1920&bih=974#imgrc=BVPNc1tDt68IzM. [Accessed: 19-May-2018].
- [19] AEMET, "Valors climatològics normals: Mallorca." [Online]. Available: <http://www.aemet.es/ca/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=B278&k=bal>. [Accessed: 10-Apr-2018].
- [20] E. C. Joint Research Centre, "Photovoltaic Geographical Information System." [Online]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>. [Accessed: 12-May-2018].

- [21] IDAE, "Atlas eólico." [Online]. Available: <http://atlaseolico.idae.es/meteosim/>. [Accessed: 10-Apr-2018].
- [22] Ajuntament de Selva, "Balearsmeteo - Informes i Comparatives de l'estació de Selva." [Online]. Available: http://www.balearsmeteo.com/selva/informes_comparativas.php. [Accessed: 12-May-2018].
- [23] M. Tudel, *Energia solar fotovoltaica*, 1st ed. Barcelona: ICAEN, 2011.
- [24] C. P. Mundet Anna, *Energia solar tèrmica*, 1st ed. Barcelona: ICAEN, 2009.
- [25] APPA, IDAE, and Ministerio de ciencia y tecnología, "Impactos ambientales de la producción de electricidad. Estudio comparativo de ocho tecnologías de generación eléctrica," 2014.
- [26] Oficina Catalana del Canvi Climàtic, "Guia pràctica per al càlcul d'emissions de gasos amb efecte hivernacle." 2018.
- [27] P. David, Á. Díaz, J. Luis, and D. Quesada, "Huella ecológica energética corporativa: un indicador de la sostenibilidad empresarial," *Obs. Iberoam. del desarrollo local y la Econ. Soc.*, vol. 4, 2008.
- [28] "DEXCell Energy Manager 3.7.2." [Online]. Available: <https://www.dexcell.com/login.htm;jsessionid=0BDD912FCDCB5B743B634A7F7C5ABD01>. [Accessed: 14-May-2018].
- [29] ADRASE, "Acceso a datos de radiación solar de España." [Online]. Available: <http://www.adrase.com/>. [Accessed: 10-Apr-2018].
- [30] I. Renewable Energy Agency, "Renewable Power Generation Costs in 2017," 2018.