



UNIVERSITAT_{DE}
BARCELONA

Estudi del potencial fotovoltaic d'autoconsum dels edificis municipals de la Granada

Autor: Adrià Galimany Palau

Tutor: Josep Verdaguer Espauella

Jordi Andreu Batallé

Curs acadèmic: 2016 - 2017

Màster en Energies Renovables i
Sostenibilitat Energètica

Dos Campus d'Excel·lència Internacional:



Health Universitat
de Barcelona
Campus

Índex

1	Introducció	7
1.1	Panorama energètic actual	7
1.2	Canvi de paradigma: l'energia del futur	8
1.3	Objectius del treball	9
1.3.1	Potencial fotovoltaic d'autoconsum dels edificis municipals de Mollet del Vallès	9
1.3.2	Projecte d'instal·lació de plaques fotovoltaïques per a autoconsum en els edificis municipals de la Granada	10
2	La radiació solar	11
3	Estat de l'art de l'energia fotovoltaica a Espanya	12
4	Fonaments de l'energia solar fotovoltaica	13
4.1	L'efecte fotoelèctric	13
4.1.1	L'explicació del fenomen	14
4.2	Els materials semiconductors	14
4.2.1	El dopatge	15
4.3	La cel·la fotovoltaica	16
4.4	Components d'una instal·lació fotovoltaica	16
4.4.1	Generador fotovoltaic	17
4.4.2	Inversor	17
4.4.3	Bateries d'acumulació	17
4.4.4	Sistema d'ancoratge	17
4.4.5	Sistemes auxiliars	17
5	El marc normatiu de l'autoconsum	17
6	Dimensionament d'una instal·lació d'autoconsum	19
6.1	Càlcul de la superfície de coberta útil disponible	20
6.2	Optimització de la potència per a autoconsum	21
7	Estudi del potencial fotovoltaic d'autoconsum de Mollet del Vallès	22
7.1	Metodologia	23
7.2	Resultats	23
8	Estudi d'implantació d'instal·lacions d'autoconsum a la Granada	24
8.1	Edificis estudiats	24
8.2	Estudi de la coberta dels edificis	26
8.3	Consums elèctrics dels edificis	27

8.4	Potència a instal·lar i producció estimada	28
8.5	Instal·lacions proposades	29
8.5.1	Ajuntament	29
8.5.2	Casa de cultura	30
8.5.3	Escola	31
8.5.4	Centre cívic	31
8.5.5	Llar d'infants	32
8.6	Corbes de demanda cobertes	32
8.7	Pressupost aproximat	34
9	Conclusions	36
A	Patrons estàndard de consum	37
B	Exemple de càlcul d'una instal·lació fotovoltaica d'autoconsum	38
B.1	Càlcul de l'estalvi energètic (mètode simple)	40
B.2	Càlcul de l'estalvi energètic (mètode complex)	42
B.3	Instal·lació amb bateries	43
C	Factures dels edificis	43
D	Corbes de consum	45
E	Fitxes tècniques dels elements de la instal·lació fotovoltaica proposada per a la Granada	47
F	Taula resum: estudi de Mollet	47

Agraïments

M'agradaria fer una menció i un agraïment molt especial a en Josep Verdager, company de feina durant la meva estada en pràctiques a la Diputació de Barcelona i ara, tutor del Treball Final de Màster. Els seus consells i coneixements del sector de l'energia solar fotovoltaica m'han estat de molt gran ajuda en tot moment. Moltes gràcies per la paciència que has tingut sempre a l'hora de resoldre els meus dubtes.

També vull fer un agraïment molt sincer a la Sílvia Llimós, qui durant la meva estada a la Diputació m'ha donat suport en tot moment i ajudat en tot el que necessitava. Tampoc em vull oblidar de la resta de companys de l'oficina: en Fran, l'Albert i la Carme, que m'han aportat el seu coneixement sempre que l'he necessitat.

Una menció especial també al Jordi Andreu, el meu tutor del Treball Final de Màster de la Universitat de Barcelona, pels consells que m'ha donat sobre com estructurar el treball i els continguts a incloure-hi.

Per acabar, vull tenir un record per a tothom qui m'ha acompanyat durant la meva vida acadèmica, des dels professors que he tingut fins als companys de classe, passant pels amics, avis i, per damunt de tot, els meus pares. Sense ells, avui no estaria redactant aquestes línies.

A tots ells, el meu agraïment més sincer.

Resum

Durant més d'un segle, els humans residents als països desenvolupats hem estat fent servir els recursos que proporciona el planeta de forma totalment descontrolada. Tant és així que, actualment, tota la comunitat científica internacional afirma que l'acció antròpica està modificant el clima terrestre de forma substancial. A més, la previsió a mitjà termini, amb la creixent demanda dels països en vies de desenvolupament i la dificultat per accedir als combustibles fòssils, fa que sigui més necessari que mai un canvi en el model de consum energètic.

L'energia solar fotovoltaica està cridada a formar part de del nucli del sistema energètic del futur. El fet de poder generar energia des de la teulada del mateix edifici on es consumeix no només suposa un important estalvi energètic amb els anys, sinó que també evita les pèrdues en el transport de l'electricitat i emissions de CO₂ a l'atmosfera provinents de l'ús de combustibles fòssils.

L'objectiu d'aquest treball és estudiar el potencial fotovoltaic d'autoconsum dels edificis municipals d'una població, amb el consegüent estalvi econòmic i d'emissions que aquesta instal·lació genera.

En primer lloc, es fa aquest estudi pels edificis municipals d'una localitat gran, com és Mollet del Vallès. D'aquesta manera es mostra com, amb un pressupost relativament assequible per a una localitat d'aquesta magnitud (menys d'un milió d'euros per a 33 instal·lacions que totalitzen 398 kWp), es pot produir un estalvi molt considerable, de fins a un 20,6% en el consum elèctric de la xarxa.

El nucli central del treball, però, consta d'un avantprojecte d'instal·lació de plaques fotovoltaïques en cinc edificis municipals de la Granada (Alt Penedès). Amb la metodologia desenvolupada, es calcula quina és la potència òptima a instal·lar, la conveniència d'instal·lar bateries o no, l'energia autoconsumida hora a hora durant tot l'any i l'estalvi que això comporta. El resum de l'estudi es mostra en la taula 0.1.

Potència total	19,5 kWp
Cobertura solar mitjana	22,2%
Estalvi energètic anual	23.442 kWh
Estalvi econòmic anual	2.054,71 €
Estalvi CO ₂ anual	7,22 tones
Cost aproximat	80.322 €

Taula 0.1: Resum de la proposta d'instal·lacions d'autoconsum a la Granada.

D'aquesta manera, les instal·lacions fotovoltaïques no només suposen evitar l'ús de combustibles fòssils en la generació d'electricitat, sinó que també impliquen un estalvi econòmic anual en forma de disminució del consum de la xarxa elèctrica, cosa que repercuteix directament i de forma clara als ciutadans.

Abstract

For more than one century, people living in developed countries have been using the resources provided by our planet without control. This has happened in such a magnitude that, nowadays, the whole international scientific community states that the antropic action is substantially modifying the Earth's climate. In addition, in a medium-term forecast, with the increasing energy demand of the developing countries and the difficulty to access to fossil fuels, makes a change in the model of energetic consumption more necessary than ever.

The photovoltaic solar power is called to be part of the core of the energetic system in the near future. Being able to generate energy in the roof of the same building where electricity is consumed not only supposes an important energetic saving with the years, but also avoids important losses in the transport of the electricity and CO₂ emissions to the atmosphere from the use of fossil fuels.

The main aim of this project is to study the photovoltaic potential of self-consumption in those public buildings that belong to the town council, with the consequent economic and emission savings that this installation generates.

First, of all, we analyse the photovoltaic potential of the public buildings in a big city as Mollet del Vallès. This way, it is shown that, with a relatively attainable budget for a city of this magnitude (less than one million euros for 33 installations that totalize 398 kWp), the savings (or the decrease in the network electrical consumption) can rise up to the 20,6%.

The core of the project consists of a preliminary design of self-consumption photovoltaic installations in five municipal buildings of a village called la Granada (Alt Penedès).

With the developed methodology, we calculate the ideal power for every building, the convenience of installing batteries or not, the self-consumed energy every hour for all the year and the savings produced. A summary of the project can be found in table 0.2.

Total power	19,5 kWp
Mean solar coverage	22,2%
Annual energetic savings	23.442 kWh
Annual economic savings	2.054,71 €
Annual CO ₂ savings	7,22 tones
Approximate budget	80.322 €

Taula 0.2: Summary of the proposed self-consume installations in la Granada.

This way, a photovoltaic power plant not only implies not using fossil fuels when generating electricity, but also an economic annual saving by decreasing the use of electricity from the network, a fact that reverberates directly to the citizens.

1 Introducció

Conceptes com *canvi climàtic* i *escalfament global* han entrat a l'ordre del dia mundial des de fa relativament poc temps. De fet, no es comença a tenir consciència real que l'acció antròpica afecta de forma determinant l'equilibri dinàmic de la Terra fins la segona meitat del segle XX.

Des de llavors, diferents estudis han demostrat que, d'ençà de finals del segle XIX (quan es comença a fer un ús intensiu i a gran escala dels combustibles fòssils), la temperatura mitjana superficial de la Terra ha augmentat uns $0,85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[1]. Un altre fet preocupant és que aquest augment no és lineal sinó que, cada any, la temperatura planetària creix més que no pas ho va fer l'any anterior. En la figura 1.1, es mostra la variació de la temperatura superficial mundial cada dècada des de l'any 1950.

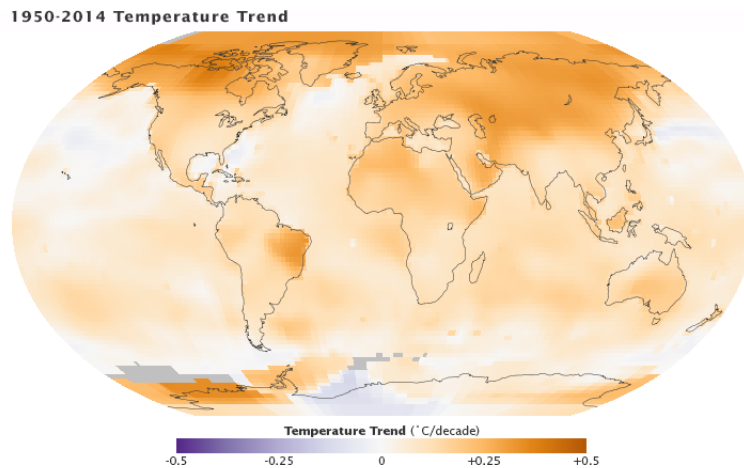


Figura 1.1: Variació mundial de la temperatura superficial de la Terra cada dècada, entre 1950 i 2014. Font: [2].

L'augment de la temperatura mundial duu associat una llarga llista de riscos que, en major o menor mesura, caldrà afrontar en els propers anys: el desgel dels casquets polars, l'augment del nivell del mar, la inundació de zones costaneres, les emigracions climàtiques, la falta d'aliments i d'accés a l'aigua, etc. són conseqüències directes del canvi climàtic. És essencial, doncs, començar a actuar com abans millor per mitigar els efectes adversos que comporta l'escalfament global.

1.1 Panorama energètic actual

L'energia és essencial per al desenvolupament econòmic d'una societat. Així, els grans consumidors d'energia mundials en el darrer segle van ser els països europeus, nord-americans i alguns d'asiàtics, com el Japó.

L'accés a l'energia de països que fins ara estaven en vies de desenvolupament suposa un repte de dimensions colossals per al sector energètic, ja que aquests països són els que, alhora, concentren la major part de la població mundial. De fet, només l'any 2016, la demanda d'energia primària va créixer en un 1% respecte la de l'any anterior [3].

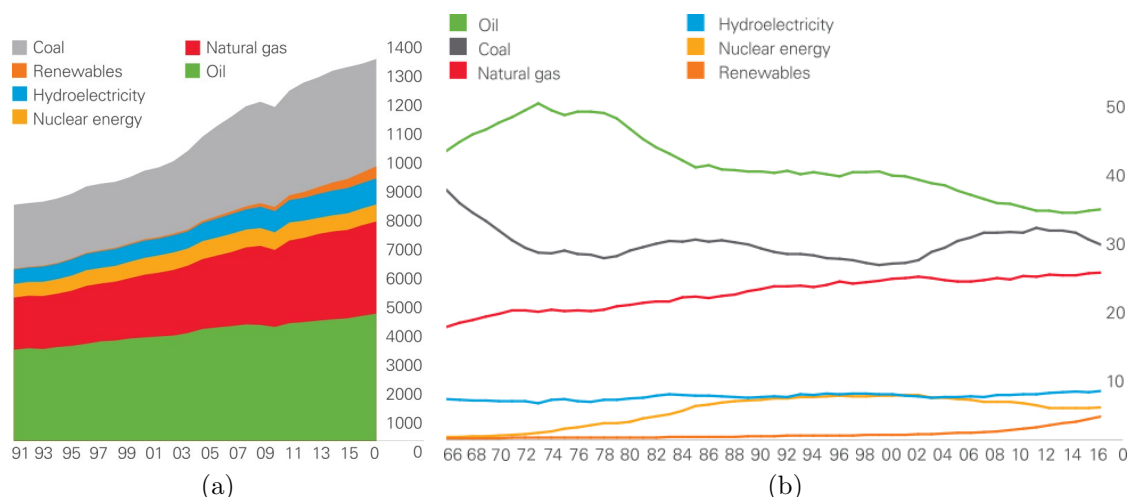


Figura 1.2: Consum d'energia primària mundial, any 2016: (1.2a) en tonelades equivalents en petroli, i (1.2b) en percentatge. Font: [3].

Aquesta energia primària, després d'uns processos de transformació, es converteix en energia final que va destinada, principalment, a tres sectors: la generació d'electricitat, la generació de calor i el transport. Mentre que, actualment, el paper de les energies renovables en el transport és gairebé menyspreable (la dependència dels combustibles fòssils és pràcticament total), en la generació d'electricitat ja juguen un paper més important (figura 1.3).

1.2 Canvi de paradigma: l'energia del futur

L'energia elèctrica és generada, cada cop més, a partir de fonts d'energia renovables. No en va, són una tecnologia que permet generar electricitat de manera neta –sense emissions de gasos d'efecte hivernacle– i així lluitar contra l'escalfament global. A més, són un objectiu estratègic, tant des del punt de vista energètic com climàtic, de les diferents directives de la Unió Europea i de l'Acord de París.

Fins a dia d'avui, el sector elèctric s'ha caracteritzat pel fet que l'electricitat es genera en grans centrals. Un cop produïda, es transporta a través de les línies d'alta tensió cap a les centrals transformadores, on se'n rebaixa la tensió i es distribueix cap als diferents punts de consum.

La introducció de les energies renovables en el sistema elèctric suposa un canvi

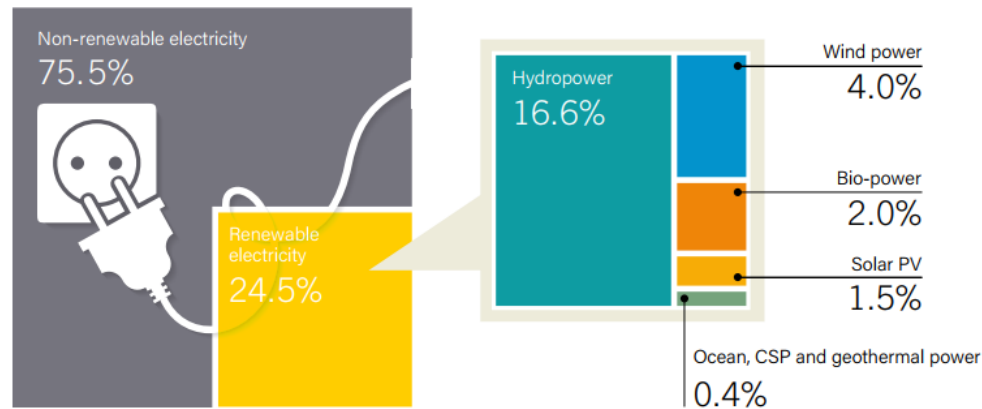


Figura 1.3: Origen de l'electricitat mundial generada l'any 2016. Font: [4].

de paradigma que és cada cop més present i que, quan aquestes tecnologies suposin la pràctica totalitat de la generació elèctrica, comportarà grans canvis en el sector elèctric.

D'una banda, la falta de predictibilitat de les condicions meteorològiques farà que sigui necessari un complex sistema de gestió del sector elèctric i que se segueixin investigant sistemes d'emmagatzematge d'electricitat, per així reduir la dependència que es té de les centrals fòssils que funcionen com a *backup* de les renovables.

D'altra banda, el fet de situar la generació elèctrica molt més a prop dels punts de consum fa que les pèrdues en el transport (actualment del 7% a Espanya [5]), es redueixin dràsticament.

Aquesta transició energètica és tot un canvi de sistema, en el qual les energies renovables –i molt en particular, l'energia solar fotovoltaica– hi jugaran un paper molt destacat: en un futur cada cop més proper, tothom tindrà la possibilitat de generar la pròpia energia que autoconsumirà en el seu mateix edifici.

1.3 Objectius del treball

Aquest treball està dividit en dos blocs, però amb un nexe en comú: l'anàlisi i estudi del potencial fotovoltaic d'autoconsum en diferents edificis municipals i l'estalvi energètic i econòmic que comporta.

1.3.1 Potencial fotovoltaic d'autoconsum dels edificis municipals de Mollet del Vallès

En primer lloc, es fa un càlcul del potencial fotovoltaic d'autoconsum dels edificis de propietat municipal d'una localitat de la província de Barcelona. A l'hora de decidir quin municipi considerar per fer l'estudi, s'han tingut en compte diferents factors:

- La facilitat d'accés a la informació dels consums elèctrics dels edificis.

- La predisposició de l'Ajuntament a donar una utilitat en el treball i que, un cop presentat l'estudi, hi hagi la possibilitat d'engegar projectes a partir de la informació obtinguda.
- Que el municipi escollit fos suficientment representatiu de la província (és a dir, que fos suficientment gran per evitar errors estadístics derivats de considerar pocs edificis en l'estudi).

Un cop tingudes en compte totes les condicions, dels 311 municipis de la província s'ha escollit la ciutat de Mollet del Vallès, amb 51.491 habitants censats l'any 2016. Aquesta ciutat és el 19è municipi més poblat de la província de Barcelona, d'un total de 311 municipis.

La ciutat té registrats un total de 68 equipaments municipals, dels quals 35 són hàbils per considerar la instal·lació de plaques fotovoltaïques.

D'aquesta manera, es pretén mostrar que:

- La instal·lació de plaques fotovoltaïques en edificis municipals redueix substancialment el consum elèctric del municipi.
- El dimensionament correcte d'una instal·lació fotovoltaica d'autoconsum fa que l'energia generada que no es consumeix sigui mínima.
- Les instal·lacions fotovoltaïques contribueixen d'una manera molt clara a reduir les emissions de CO₂ a l'atmosfera.

1.3.2 Projecte d'instal·lació de plaques fotovoltaïques per a autoconsum en els edificis municipals de la Granada

La segona part del treball consisteix en una proposta d'avantprojecte per dotar d'instal·lacions fotovoltaïques d'autoconsum els diferents edificis municipals del poble de la Granada, a l'Alt Penedès.

Els edificis que s'han estudiat són l'ajuntament, la casa de cultura, l'escola, el centre cívic i la llar d'infants. S'han descartat equipaments les característiques dels quals els fan inhàbils per dotar-se d'una instal·lació fotovoltaica.

Per tal de disposar dels consums elèctrics dels edificis, o bé s'ha realitzat una descàrrega de dades del comptador (en aquells edificis les característiques dels quals ho permetessin) o bé s'han instal·lat mesuradors de consums als comptadors, per tal de disposar de les corbes de càrrega i poder calcular quin percentatge del consum de l'edifici cobriria la instal·lació fotovoltaica.

D'aquesta manera, l'objectiu del treball és, no només estudiar quin tipus d'instal·lació caldria col·locar en cada edifici, quina potència instal·lar en funció del consum i quin cost tindria, sinó analitzar també quin estalvi pot comportar en la factura elèctrica, de manera que això repercuteixi favorablement a l'economia de l'ajuntament i, per tant, dels seus habitants.

2 La radiació solar

La radiació solar és el conjunt de radiacions de tot l'espectre electromagnètic emeses pel Sol, l'estrella més propera a la Terra i que conforma el nucli del Sistema Solar.

L'energia emesa pel Sol (que es troba a una temperatura d'uns 6000 K) prové de les reaccions nuclears de fissió que tenen lloc al seu interior. L'energia que s'allibera en forma de radiació és la que arriba a la Terra i és la causa última de la gran majoria de fenòmens meteorològics que hi tenen lloc, com el vent i la precipitació.

La quantitat d'energia que arriba al cim de l'atmosfera terrestre provinent del Sol és enorme: a la distància mitjana Terra-Sol, el flux mitjà d'energia és de 1367 W/m^2 , amb una variació al llarg de l'any des d'uns 1321 W/m^2 (quan la Terra està situada a l'afeli) fins a 1412 W/m^2 (quan està situada al periheli). Tanmateix, l'energia que arriba a la superfície de la Terra és menor a causa de la reflexió dels núvols i les partícules, l'absorció de radiació per part d'alguns elements, etc., fent que l'energia que hi arriba sigui, de mitjana, d'uns 1000 W/m^2 [6].

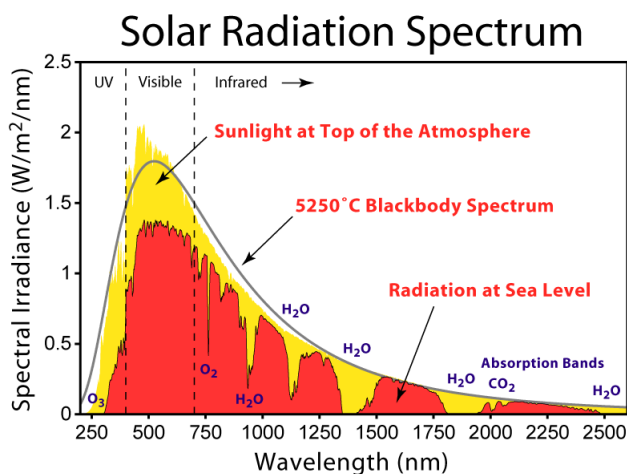


Figura 2.1: Distribució espectral de la radiació solar al cim de l'atmosfera i a nivell del mar.

Tanmateix, no tota la radiació emesa pel Sol és la mateixa, sinó que presenta un continu de longituds d'ona que es distribueixen des de l'infraroig fins a la radiació ultraviolada, com es pot veure en la figura 2.1. De la mateixa manera, no tota la radiació és útil per a generar electricitat mitjançant la tecnologia solar fotovoltaica, sinó que ha de tenir una energia mínima que ve determinada pel material de què està feta la cel·la (i que ha de proporcionar prou energia als fotons per tal que es produeixi l'efecte fotoelèctric, com s'explica en la secció 4).

3 Estat de l'art de l'energia fotovoltaica a Espanya

En les figures 3.1 es presenten els mapes de les irradiàncies solars globals horitzontals espanyola i europea. Cal recordar que la irradiació global és la suma de la irradiació directa (que arriba a la superfície procedent directament del disc solar) i de la difusa (que procedeix de la resta del cel a causa dels processos de dispersió atmosfèrics) [7].

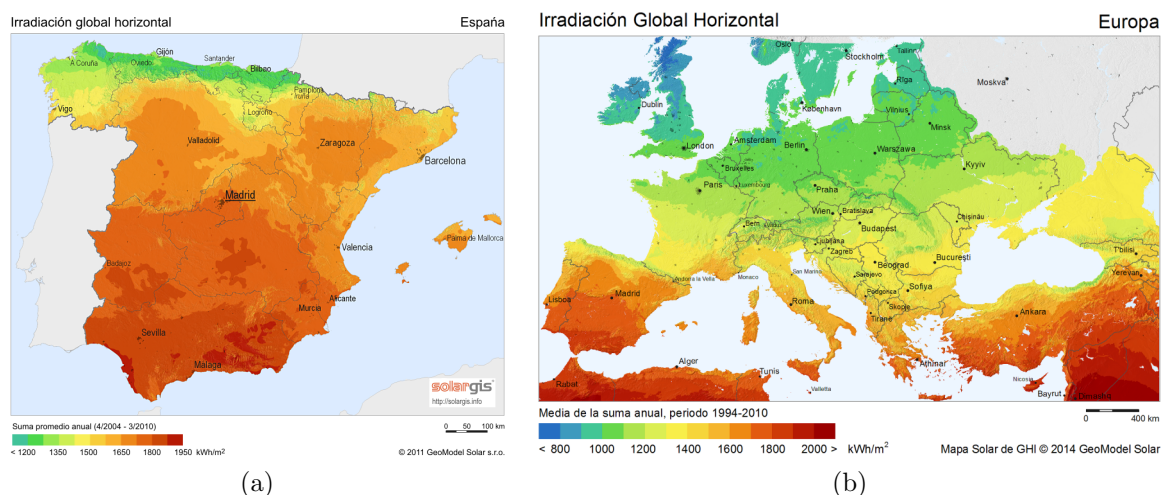


Figura 3.1: Mapes d'irradiància global horitzontal: (3.1a) a Espanya; i (3.1b) a Europa. Fonts: [7] [8].

D'aquesta manera, és fàcil comprovar com la irradiació mitjana anual a Espanya és, aproximadament, un 50 % superior a la mitjana europea, cosa que fa que sigui una zona idònia per a la instal·lació de la tecnologia fotovoltaica.

Tanmateix, la tecnologia fotovoltaica a Espanya està molt subdesenvolupada respecte a altres països europeus amb molta menys irradiació anual. Així, mentre que Espanya comptava l'any 2015 amb 5,4 GW instal·lats (116 W per capita), països com Alemanya (39,7 GW instal·lats; 473 W per capita) o Itàlia (18,9 GW instal·lats; 303 W per capita) la superen clarament [9] [10]. Fins i tot el Regne Unit, amb gairebé la meitat d'irradiació anual global, disposa de més potència instal·lada (8,8 GW) que Espanya.

Aquestes dades posen en evidència com, en un país com Espanya, l'energia fotovoltaica s'ha menyspreat fins al punt que ha deixat de ser un dels països punters a nivell mundial i ha estat sobrepasada per països amb molta menys irradiació anual disponible.

4 Fonaments de l'energia solar fotovoltaica

L'energia solar és la tecnologia renovable que aprofita la radiació del Sol per a la producció d'energia aprofitable per l'ésser humà, en forma de calor (energia solar tèrmica) o transformant-la en electricitat (energia solar fotovoltaica).

L'energia solar fotovoltaica es fonamenta en la transformació de la radiació solar en electricitat mitjançant panells fotovoltaics, cadascun dels quals està format per un conjunt de cel·les elèctricament interconnectades i formades per materials semiconductors.

4.1 L'efecte fotoelèctric

El fenomen físic elemental que permet generar electricitat mitjançant els panells fotovoltaics és l'efecte fotoelèctric, l'explicació del qual va servir perquè Albert Einstein fos guardonat amb el Premi Nobel de Física l'any 1921.

L'efecte fotoelèctric va ser observat per primer cop per Heinrich Rudolf Hertz, quan estudiava les descàrregues que es produïen entre dos elèctrodes metàl·lics connectats a una diferència de potencial. Els elèctrodes estaven separats i aïllats a l'interior d'un tub hermètic en el qual s'hi havia fet el buit. El muntatge experimental es mostra en la figura 4.1.

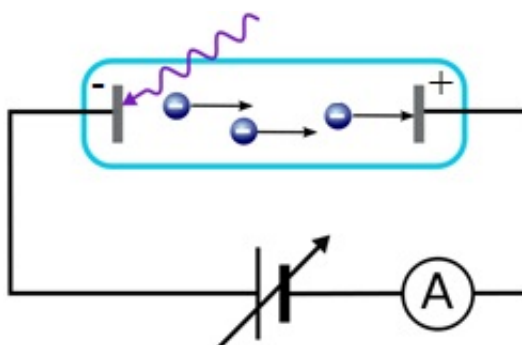


Figura 4.1: Muntatge experimental de l'experiment de l'efecte fotoelèctric.

Hertz va observar que, si s'il·luminava el càtode (elèctrode negatiu) amb radiació ultraviolada, l'amperímetre indicava el pas d'un corrent elèctric, encara que el potencial no fos suficientment alt per produir una descàrrega. Aquest fenomen, que contradeïa la física clàssica i és un dels precursors del desenvolupament de la física quàntica, és conegut amb el nom d'efecte fotoelèctric i és el que s'aprofita en la tecnologia solar fotovoltaica per produir electricitat.

4.1.1 L'explicació del fenomen

Einstein fou el primer científic que donà una explicació al fenomen de l'efecte fotoelèctric. En el seu raonament, recuperà la idea dels *quanta* de llum que havia formulat prèviament Max Planck i afirmà que qualsevol tipus de radiació electromagnètica consisteix en un feix de partícules (posteriorment anomenades fotons) que es transmeten a través del buit en forma d'ones i sempre a la mateixa velocitat.

Si s'admet que els fotons tenen una energia proporcional a la seva longitud d'ona, es pot interpretar fàcilment l'efecte fotoelèctric aplicant el principi de conservació de l'energia. D'aquesta manera, els electrons de l'elèctrode metàl·lic són capaços d'absorbir el fotó incident i fer servir aquesta energia, donada per l'expressió (4.1), per escapar del metall.

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda} \quad (4.1)$$

L'energia del fotó ha de ser suficientment gran com perquè pugui arrencar l'electró (en llenguatge físic, ha de ser més gran que el treball d'extracció del material). D'aquesta manera, coneixent la relació (4.1), hi haurà una longitud d'ona l·lindar, λ_f a partir de la qual només produiran efecte fotoelèctric els fotons amb $\lambda < \lambda_f$. Un fotó que no proporcioni l'energia suficient, no produirà efecte fotoelèctric. Quan l'energia sí que sigui suficient, una part anirà destinada a arrencar l'electró i l'excident es convertirà en energia cinètica.

4.2 Els materials semiconductors

Els sòlids tenen estats electrònics amb una energia ben definida. La física de l'estat sòlid ens permet obtenir, mitjançant equacions que excedeixen l'objectiu d'aquest treball, l'esquema de nivells electrònics del sòlid permesos. Cada conjunt de nivells electrònics (associats a un nombre quàntic) s'anomena banda d'energia.

Al zero absolut de temperatura, s'omplen els estats de menor energia, que conformen l'anomenada banda de valència. Si algun dels electrons adquireix prou energia, aquest pot saltar a l'anomenada banda de conducció, separada de la banda de valència per un rang energètic anomenat banda prohibida.

Segons l'estructura de les bandes, es poden classificar els materials en tres tipus: conductors, semiconductors o aïllants.

Les cel·les fotovoltaïques estan fetes de materials semiconductors. En aquests, quan una banda és plena d'electrons, no contribueix a la conducció del corrent en presència d'un camp elèctric, ja que la velocitat mitjana de tots els electrons és nul·la. En canvi, si una banda no està totalment plena (o totalment buida) el material adquireix propietats conductores.

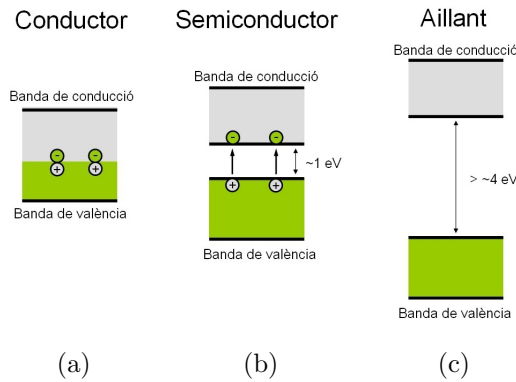


Figura 4.2: Estructura de banda dels diferents materials: (4.2a) conductor: quan la banda de valència se solapa amb la banda de conducció; (4.2b) semiconductor: quan la banda de valència és propera a la banda de conducció; i (4.2c) aïllant: quan la banda de valència i la de conducció estan molt allunyades entre si.

4.2.1 El dopatge

Per tal d'augmentar les propietats conductores, podem considerar un semiconductor en el qual hi introduïm impureses (en llenguatge físic, el dopem), que fan que tingui més electrons del compte (o menys). D'aquesta manera, tindrem materials en els quals l'excés d'electrons fa que aquests hagin d'ocupar estats lliures de la banda de conducció (o el defecte d'electrons, que genera espais buits en la banda de valència). Així, tant en un cas com en l'altre, la presència d'electrons i de forats contribueix a la conducció.

Quan un semiconductor es dopa amb impureses amb excés d'electrons (impureses donadores), parlem de semiconductors de tipus N; en canvi, si es dopa amb impureses amb defecte d'electrons (impureses acceptadores), el semiconductor és de tipus P.

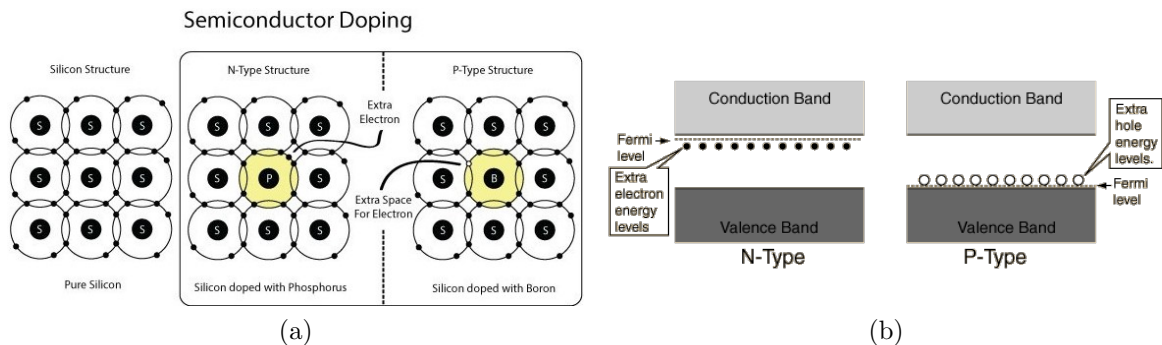


Figura 4.3: (4.3a) Efecte del dopatge sobre l'estructura electrònica dels semiconductors; i (4.3b) efecte del dopatge sobre les bandes d'energia dels semiconductors.

4.3 La cel·la fotovoltaica

Com s'ha explicat anteriorment, quan la llum incideix sobre un material metàl·lic, en certs casos, es pot produir l'efecte fotoelèctric i que s'arrenquin electrons capaços de generar corrent.

Una cel·la fotovoltaica és una junció PN (unió de dos semiconductors dopats, un amb impureses acceptadores i un amb impureses donadores) i creada de tal manera que aprofiti al màxim l'espectre de la radiació solar. Quan un electró absorbeix un fotó, el fotoelectró que absorbeix la radiació accedeix a un nivell energètic superior, deixant lliure un forat (creació d'una parella electró-forat).

Seguidament, per difusió, els parells electró-forat se separen gràcies a l'acció del camp elèctric. Aquest flux d'electrons i de forats és el que origina la diferència de potencial que pot ser aprofitada per generar electricitat.

La cel·la fotovoltaica és, doncs, l'element bàsic per a la conversió fotovoltaica de la radiació solar en energia elèctrica. Aquestes cel·les s'acoblen en sèrie mitjançant fils conductors, permetent replegar el corrent produït en cada una i generar un corrent continu aprofitable. Aquest conjunt de cel·les fotovoltaiques interconnectades forma el que s'anomena panell o mòdul fotovoltaic.

El gran desenvolupament de l'energia solar fotovoltaica ha fet que, en els darrers anys, al mateix temps que hi ha hagut una gran expansió d'aquesta tecnologia, els preus dels mòduls han caigut dràsticament, com es mostra en la figura 4.4 ^[11].

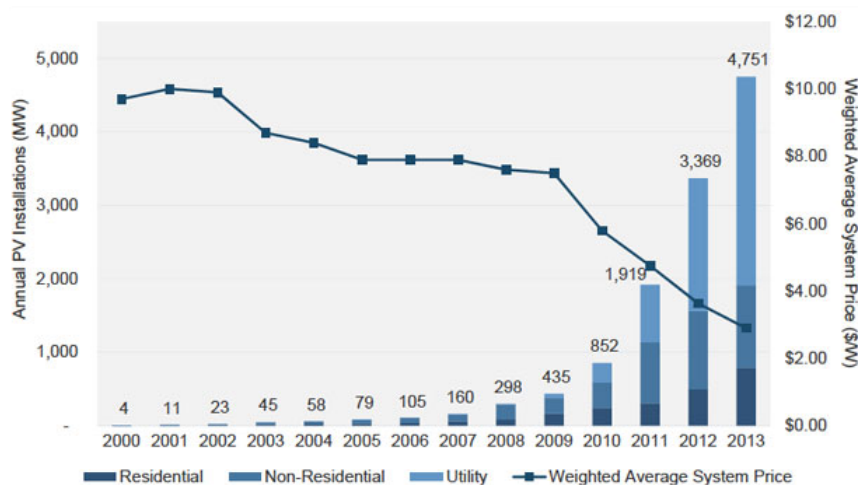


Figura 4.4: Evolució del preu dels mòduls fotovoltaics amb els anys. Font: [11].

4.4 Components d'una instal·lació fotovoltaica

Una instal·lació fotovoltaica està composta per un seguit d'aparells bàsics, dels quals se'n fa una breu descripció a continuació.

4.4.1 Generador fotovoltaic

El generador fotovoltaic consisteix en la interconnexió en sèrie i en paral·lel dels diferents mòduls fotovoltaics instal·lats en la coberta de l'edifici. Les cel·les fotovoltaiques dels panells són les encarregades de transformar l'energia provinent de la radiació solar en energia elèctrica, en forma de corrent continu.

4.4.2 Inversor

Per poder injectar el corrent continu creat pels mòduls fotovoltaics a la xarxa elèctrica (ja sigui interna o externa), cal transformar-lo en corrent altern amb les mateixes característiques (tensió, intensitat, freqüència) que el de la xarxa. Per realitzar aquesta transformació, es fan servir uns aparells anomenats inversors, que s'encarreguen d'ondular el corrent i adaptar-lo a la tensió i a la freqüència necessàries.

4.4.3 Bateries d'acumulació

En cas que es desitgi, es pot dotar la instal·lació de bateries per emmagatzemar l'excedent d'energia i, així, poder-lo revertir a la instal·lació per dotar-lo d'una certa autonomia en hores o dies on la producció elèctrica sigui baixa o nul·la. Caldrà instal·lar també un inversor carregador per abocar l'energia de la bateria a la xarxa.

4.4.4 Sistema d'ancoratge

És necessari fixar els panells a la coberta per tal que aquests quedin ben subjectes i, si és el cas, dotar-los d'una inclinació i una orientació adequades (quan la de la coberta no és la idònia). Sovint, el material utilitzat en aquest tipus d'estructures és l'alumini, ja que és resistent en condicions meteorològiques molt adverses.

4.4.5 Sistemes auxiliars

A part de tots els sistemes mencionats en els anteriors apartats, cal que la instal·lació disposi d'una xarxa de distribució, que comprèn els conductors que transporten l'energia elèctrica generada als mòduls fins al quadre de distribució (en corrent continu fins a l'inversor i en corrent altern a partir de llavors); els sistemes de protecció contra sobreintensitats i sobretensions, els fusibles, els interruptors magnetotèrmics, els interruptors diferencials, els sistemes de mesura, etc.

5 El marc normatiu de l'autoconsum

Tot i que les energies renovables no són res nou –fa més de 30 anys que, amb major o menor exhaustivitat, són presents en la regulació–, el fet que hom sigui capaç de generar

la pròpia energia que consumirà en el mateix edifici és quelcom que, recentment, ha entrat fortament a l'ordre del dia.

Fins fa pocs anys, l'autoconsum no estava extensament regulat. En els darrers anys, però, s'ha dotat aquesta activitat d'un marc regulatori que ha generat molta controvèrsia en el cas espanyol ja que, a la pràctica, ha posat moltes traves al seu desenvolupament, fent que Espanya hagi passat de ser un dels països capdavaners a nivell mundial en energia solar fotovoltaica a que la superin molts països (com Alemanya i el Regne Unit) amb moltes menys hores solars útils per a la producció d'electricitat.

L'Administració Central de l'Estat és la responsable desenvolupar la normativa bàsica en matèria d'energies renovables, com estableix la Constitució Espanyola ^[12] en l'article 149.1.13, on se li atorga la competència exclusiva en la matèria de bases i coordinació de la planificació general de l'activitat econòmica i, en el 149.1.25, la de les bases del règim energètic.

En els darrers anys, hi ha hagut molts canvis normatius en el sector. En la dècada que va, aproximadament, des del 1998 fins al 2008, el sector de les energies renovables (i en particular, de la fotovoltaica) tenia un tractament específic per la presència d'externalitats. D'aquesta manera, tal i com establia la Llei 54/1997, del sector elèctric, i desenvolupava el Reial Decret 2818/1998, l'electricitat produïda mitjançant aquestes tecnologies es retribuïa mitjançant sistemes de primes del tipus *feed-in tariff* i disposava de prioritat de despatx. Posteriorment, mitjançant els Reial Decrets 436/2004 i 661/2007, es modificà el sistema de primes, introduint sistemes de *feed-in premium* i *cap & floor* per tal d'evitar que el sistema de primes es desbordés.

En aquest marc regulatori, aquells qui disposaven de panells fotovoltaics a la llar els sortia més a compte injectar l'energia que produïen a la xarxa que consumir-la en el mateix edifici, ja que la venda els suposava un benefici econòmic molt més elevat.

Amb la irrupció del dèficit de tarifa i la moratòria per a noves instal·lacions d'energia renovable, es va anar derivant cap a un nou model retributiu, que és el que existeix actualment. Les bases d'aquest nou model vénen establertes en la Llei 24/2013, del sector elèctric ^[13], on es passa de retribuir l'energia produïda, com passava anteriorment, a la potència instal·lada.

En l'article 9 d'aquesta llei, es defineix l'autoconsum com «el consum d'energia elèctrica provinent d'instal·lacions de generació connectades a l'interior d'una xarxa d'un consumidor o a través d'una línia directa d'energia elèctrica associades a un consumidor». D'aquesta manera, l'autoconsum queda totalment regulat i subjecte a aquesta llei i la normativa de desenvolupament.

En l'article 9.3., s'estableix que «tots els consumidors subjectes a qualsevol modalitat d'autoconsum tindran l'obligació de contribuir als costos i serveis del sistema per l'energia autoconsumida, quan la instal·lació de generació o de consum estigui connectada total o parcialment al sistema elèctric». D'aquesta manera, tot i que no es consumeixi energia de la xarxa, l'autoconsumidor ha de contribuir als costos del sistema elèctric.

El desenvolupament d'aquesta llei en matèria d'autoconsum es fa en el Reial Decret 900/2015, pel qual es regulen les condicions administratives, tècniques i econòmiques de les modalitats de subministrament d'energia elèctrica amb autoconsum i de producció amb autoconsum ^[14]. En aquesta normativa, es descriuen les diferents modalitats d'autoconsum (se'n distingeix dues) i les condicions de cada una (resumides en la taula 5.1).

Modalitat	Tipus 1		Tipus 2	
Potència contractada	Menor de 10 kW		Entre 10 i 100 kW	Sense limitació
Abocament a xarxa	No aboca	Pot abocar	Pot abocar	Pot abocar
Retribució abocament	-	No	Sí	Sí ¹

Taula 5.1: Modalitats d'autoconsum segons el Reial Decret 900/2015.

A grans trets, la principal diferència entre les instal·lacions d'autoconsum de tipus 1 i les de tipus 2 és que les primeres no reben una retribució econòmica en cas que aboquin electricitat a la xarxa, mentre que les segones sí.

Com es descriu en la Llei 24/2013, les instal·lacions d'autoconsum han de pagar uns peatges d'accés (del qual queden exemptes les instal·lacions de menys de 10 kW). Aquests peatges vénen explicitats en la disposició transitòria primera del Reial Decret 900/2015.

Cal fer menció que, en l'article 4.3 del Reial Decret 900/2015, es prohibia taxativament que un generador es connectés a la xarxa interior de diversos consumidors. No obstant això, la Sentència 68/2017 del Tribunal Constitucional va anul·lar aquest precepte, de manera que s'obren noves possibilitats en aquesta matèria.

6 Dimensionament d'una instal·lació d'autoconsum

Com s'ha comentat en la secció 5, la legislació distingeix entre dues modalitats d'autoconsum. Sovint, tant des del punt de vista pràctic com econòmic, als consumidors –especialment, els més petits– els surt més a compte optar per la modalitat d'autoconsum de tipus 1, és a dir, sense obtenir cap benefici econòmic per l'excedent d'energia que s'injecta a la xarxa.

En aquest cas, és important dimensionar la instal·lació fotovoltaica correctament, de tal manera que l'aprofitament en el propi edifici de l'energia generada sigui màxima i, per tant, es minimitzi l'excedent d'energia generada que no s'autoconsumeix i pel qual no se n'obté cap benefici.

No és sobrer comentar que l'aprofitament total i absolut de l'energia generada és gairebé impossible per les variacions instantànies tant de la demanda com de la produc-

¹Si hi ha un contracte amb un comercialitzador.

ció de les plaques. Per tant, cal fer un estudi en el qual analitzar quina és la potència òptima a instal·lar. El valor òptim serà diferent en cada edifici. L'usual en les instal·lacions d'autoconsum és que els percentatges d'autoconsum de l'energia generada superin el 90 %.

Hi ha dos factors claus a l'hora de dimensionar una instal·lació fotovoltaica d'autoconsum:

- La superfície de coberta útil disponible.
- El consum elèctric de l'edifici.

En les instal·lacions d'autoconsum, el factor limitant de la potència a instal·lar serà sovint el consum de l'edifici, ja que la potència a instal·lar serà menor que la que es podria col·locar ocupant tota la coberta disponible.

6.1 Càlcul de la superfície de coberta útil disponible

A l'hora de calcular quina és la superfície disponible en la coberta d'una edifici per instal·lar panells fotovoltaics cal tenir diferents factors en compte, com la inclinació i l'orientació de la teulada, la presència d'obstacles físics, d'ombres, etc. Alguns paràmetres a destacar són:

- Orientació de la coberta. Les orientacions útils de les cobertes són aquelles encarades a punts entre el sud-est i el sud-oest, per tal de maximitzar les hores de sol aprofitables. També són útils les cobertes planes.
- Inclinació de la coberta. La inclinació de la teulada determinarà el tipus d'instal·lació metàl·lica de suport dels panells necessària per orientar-los de forma òptima. El fet d'haver de donar una inclinació als panells suplementària a la de la coberta n'inutilitzarà una part per la presència d'ombres.
- Presència d'ombres. La presència d'obstacles de la pròpia teulada, o bé d'edificis i arbres del voltant, pot inutilitzar parcialment o total la coberta, fent inviable la instal·lació de mòduls fotovoltaics.

Per fer un càlcul previ de si les dimensions de la coberta són suficients o no per col·locar-hi una instal·lació fotovoltaica, es poden fer servir les eines que proporciona l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). A partir de l'ortofoto d'aquest sistema cartogràfic, es pot fer una primera estimació de la superfície útil disponible en la qual seria possible la instal·lació de plaques fotovoltaiques.

6.2 Optimització de la potència per a autoconsum

Per calcular la potència a instal·lar en funció del consum de l'edifici, de manera que es maximitzi l'autoconsum i es minimitzin les injeccions a la xarxa de l'energia sobrant (per la qual no se n'obté cap benefici) cal conèixer, en primer lloc, el consum elèctric de l'edifici i com aquest està distribuït al llarg de l'any.

Arribats a aquest punt, es poden donar tres situacions:

1. Que l'edifici disposi d'una tarifa 3.0 o similar i que, per tant, es conegui el consum elèctric en els diferents períodes de facturació, i hora a hora.
2. Que es conegui el consum elèctric diari de l'edifici, però no el consum horari.
3. Que només es conegui el consum mensual.

Per als edificis que disposen de tarifa 3.0, el preu de l'electricitat és diferent segons si aquesta es consumeix en hores punta (període P1), pla (P2) o vall (P3). Cada un d'aquests períodes correspon a un cert nombre d'hores i són diferents a l'hivern (octubre a març) i a l'estiu (abril a setembre) (veure taula 6.1).

Modalitat	Hivern	Estiu
Punta (P1)	18–22	11–15
Pla (P2)	08–18 i 22–24	08–11 i 15–24
Vall (P3)	00–08	00–08

Taula 6.1: Hores corresponents a cada període de facturació.

Les hores de sol on la tecnologia fotovoltaica és hàbil per produir energia elèctrica estan compreses en els períodes de facturació P1 i P2, de manera que caldrà dimensionar la instal·lació d'autoconsum en funció del consum elèctric en aquests dos períodes.

Tanmateix, és possible que no es disposi dels consums horaris al no disposar de mòdem al comptador, no es pugui fer una descàrrega directa de les dades o la informació al canal web no la proporcioni. En aquest cas, es fa necessari fer una estimació de quin és el consum elèctric en les hores solars útils, ja sigui mitjançant patrons de consums d'edificis similars (com els patrons de consum que es detallen en l'annex A) o mitjançant la instal·lació d'aparells temporals que en mesuren el consum instantani.

El criteri que s'ha seguit a l'hora de calcular la potència a instal·lar és el que es presenta en l'annex B i que, a tall de resum, consisteix en calcular la potència necessària d'una instal·lació en base als consums elèctrics en els períodes P1 i P2, i la producció hora a hora i per períodes generada en base a l'Atles de Radiació de Catalunya ^[15].

En tots els casos, es pren com a referència una inclinació de 30° (60° per a escoles) i una orientació de 0°. El motiu pel qual es pren una inclinació diferent per a les escoles que per a la resta d'edificis és perquè mentre que tots els edificis tenen un ús, més

o menys constant, al llarg de tot l'any, les escoles a l'estiu no funcionen. D'aquesta manera, el període de funcionament de l'edifici és tardor-hivern-primavera, just quan el Sol està més baix (és més proper a l'horitzó). D'aquesta manera, per optimitzar el rendiment de la placa, cal que aquesta tingui una inclinació més gran.

Coneixent els preus de l'electricitat, també es pot calcular l'estalvi econòmic i, utilitzant el factor d'emissió del mix elèctric de l'any 2016 ^[16] (308 g CO₂/kWh), també es pot obtenir l'estalvi d'emissions de diòxid de carboni a l'atmosfera.

7 Estudi del potencial fotovoltaic d'autoconsum de Mollet del Vallès

Per tal de comprovar fins a quin punt és útil, per a un municipi, dotar els seus equipaments d'instal·lacions fotovoltaïques, s'ha fet un estudi per a un municipi concret: Mollet del Vallès (Vallès Occidental). Aquesta localitat té 51.491 habitants censats l'any 2016 i disposa de 68 equipaments de titularitat municipal, entre els quals s'hi inclouen escoles, centres cívics, casals d'avis, camps de futbol, locals d'associacions de veïns, etc.

El motiu pel qual s'ha escollit aquesta municipi és, entre d'altres, la facilitat que ens ha donat l'ajuntament per tal d'accedir a les dades dels consums elèctrics mensuals. A més a més, el fet de fer l'estudi per a una localitat amb tants edificis i de característiques tan diverses fa que s'obtingui una visió molt més general del que és el potencial real de l'autoconsum en edificis municipals, eliminant desviacions derivades del fet de considerar un nombre reduït d'edificis, amb la poca estadística que això comporta.

De tots aquests equipaments, els hàbils per instal·lar plaques fotovoltaïques per a autoconsum són un total de 35, quedant descartats aquells equipaments que no disposen de coberta o que és inhàbil per instal·lar mòduls fotovoltaïcs, els locals en plantes baixes d'edificis d'habitatges, els camps de futbol, etc.

En la taula 7.1 es mostren les dades principals dels 35 edificis estudiats.

	Total	Percentatge (sobre el total d'edificis municipals)
Edificis	35	51,5%
Consum elèctric (2016)	2.413.998 kWh	76,8%

Taula 7.1: Principals característiques dels edificis estudiats.

D'aquesta manera, tot i que els edificis estudiats només són la meitat dels totals, representen més de tres quartes parts de la factura elèctrica dels edificis municipals, de

manera que són una mostra molt representativa en la qual l'estalvi energètic potencial és molt gran.

7.1 Metodologia

Amb la metodologia que s'ha creat, per tal de calcular la potència òptima d'autoconsum a instal·lar cal disposar, en primer lloc, de les dades dels consums mensuals desglossades per períodes tarifaris (P1, P2, P3), ja sigui perquè la tarifa contractada és de tres períodes o bé perquè s'ha discriminat les tarifes d'un sol període mitjançant els patrons de consum estàndards de l'annex A.

Per calcular la potència, l'energia generada i els estalvis energètic i econòmic se segueix el procediment, automatitzat mitjançant un full de càlcul, descrit en l'annex B.

D'aquesta manera, i repetint el procediment per tots els edificis, es pot calcular l'energia autoconsumida en cada edifici o, el que és el mateix, l'estalvi d'energia elèctrica de la xarxa. Així, també podem calcular l'estalvi econòmic que representa en la factura elèctrica, així com l'estalvi en emissions de diòxid de carboni a l'atmosfera.

7.2 Resultats

Tot seguit, es mostren els resultats de l'estudi del potencial fotovoltaic d'autoconsum dels edificis municipals de Mollet del Vallès.

En tots els casos, s'ha optimitzat la potència a instal·lar per a autoconsum a les necessitats reals de l'edifici, tot minimitzant l'electricitat generada que no es consumeix en el mateix edifici i que, segons la modalitat d'autoconsum seleccionada, s'aboca a la xarxa sense possibilitat d'obtenir un benefici econòmic per ella.

D'aquesta manera, prenent un cost uniforme de 1.800 €/kWp instal·lat, els resum dels resultats que s'han obtingut es mostren en la taula 7.2. Els resultats es troben desglossats per edificis en l'annex F.

Potència a instal·lar	398 kWp
Energia produïda anual	497.500 kWh
Cobertura solar	20,6%
Estalvi d'emissions de CO ₂	153,2 tones
Cost aproximat	866.737 €

Taula 7.2: Resum de l'estudi sobre el potencial fotovoltaic d'autoconsum dels edificis municipals de Mollet del Vallès.

Com es pot comprovar, una inversió relativament assequible per part d'un municipi força gran comportaria un estalvi energètic molt important en els edificis municipals,

concretament de més d'un 20%. Sobre el consum elèctric total de tots edificis municipals (3.143.938 kWh l'any 2016), aquest percentatge representa un estalvi del 16,6 %. A més a més, això porta associat un estalvi d'emissions de CO₂ a l'atmosfera de 153,2 tones cada any.

És important destacar que l'estalvi del consum de 497.500 kWh de la xarxa elèctrica comporta un estalvi econòmic aproximat de més de 65.000 € anuals només pel que fa al terme de l'energia consumida de la factura elèctrica (deixant de banda altres possibles rebaixes amb la factura derivades, per exemple, de modificacions en la tarifa mitjançant rebaixes de la potència contractada). El període mitjà d'amortització simple per al conjunt de les 33 instal·lacions fotovoltaïques proposades és de 13,2 anys.

8 Estudi d'implantació d'instal·lacions d'autoconsum a la Granada

Una vegada s'ha vist el potencial estalvi que proporcionen les instal·lacions fotovoltaïques d'autoconsum per als edificis de caràcter municipal, entrem en una fase més específica.

Aquest darrer apartat del treball consisteix en l'avantprojecte d'instal·lació de plaques fotovoltaïques en els edificis municipals del poble de la Granada, a l'Alt Penedès. Com s'ha mencionat en els objectius del treball, els edificis que s'han estudiat són l'escola, la llar d'infants, l'ajuntament, la casa de cultura i el centre cívic. S'han descartat equipaments les característiques dels quals els fan inhàbils per dotar-se d'una instal·lació fotovoltaica.

L'objectiu en aquesta secció és doncs, no només avaluar quina és la potència que caldria instal·lar, sinó també estimar com es cobriria la demanda energètica hora a hora, l'estalvi econòmic que generaria, etc.

A més, també es fa una proposta d'instal·lació, elaborada conjuntament amb els tècnics de la Diputació de Barcelona, lloc on he realitzat les pràctiques en empresa del màster, seguint el patró del conjunt de memòries tècniques que es reben a la Diputació per tal de sol·licitar subvencions per a la instal·lació d'aquest tipus de tecnologies per part dels ajuntaments de la província.

Així, aquest estudi també es presentarà a l'Ajuntament de la Granada per tal que disposin d'una informació molt completa pel que fa al potencial d'autoconsum dels seus edificis municipals i encoratjar-los a dur a terme inversions en aquest aspecte.

8.1 Edificis estudiats

Les característiques dels edificis que s'han inclòs en l'estudi són:

Ajuntament Edifici de tres plantes on es desenvolupen les activitats del consistori municipal i d'atenció al ciutadà. El sistema de climatització de l'edifici és elèctric.

Ajuntament	
Tarifa i potència contractades	2.1DHA (15 kW)
Energia consumida (2016)	22.641 kWh
Factura elèctrica (2016)	4.084,72 €

Taula 8.1: Tarifa contractada, energia consumida i cost de la factura elèctrica per a l'ajuntament (any 2016).

Casa de cultura Edifici aïllat, d'orientació als quatre vents i de dues plantes, que inclou els equips de la casa de cultura, el casal dels avis i el dispensari mèdic municipal.

Casa de cultura	
Tarifa i potència contractades	2.1A (15 kW)
Energia consumida (2016)	24.651 kWh
Factura elèctrica (2016)	5.244,73 €

Taula 8.2: Tarifa contractada, energia consumida i cost de la factura elèctrica per a la casa de cultura (any 2016).

Escola Complex format per tres edificis aïllats i un mòdul prefabricat. Tot i disposar de tres contractes de subministrament d'electricitat, dos d'ells són menyspreables a efectes pràctics (donen subministrament a una antiga casa de professors on només hi ha una aula i un magatzem, amb un consum mínim).

Escola	
Tarifa i potència contractades	3.0A (55, 55 i 55 kW)
Energia consumida (2016)	35.284 kWh
Factura elèctrica (2016)	9.862,51 €

Taula 8.3: Tarifa contractada, energia consumida i cost de la factura elèctrica per a l'escola (any 2016).

Centre cívic Edifici aïllat de doble planta que acull l'escola de música, un auditori i despatxos de diferents entitats. Disposa de climatització mitjançant bombes de calor.

Centre cívic	
Tarifa i potència contractades	3.0A (69, 69 i 55 kW)
Energia consumida (2016)	12.778 kWh
Factura elèctrica (2016)	8.511,94 €

Taula 8.4: Tarifa contractada, energia consumida i cost de la factura elèctrica per al centre cívic (any 2016).

Llar d'infants Edifici situat entre parets mitgeres que inclou l'escola bressol del municipi. En l'actualitat, hi ha la previsió d'instal·lar-hi una instal·lació fotovoltaica.

Llar d'infants	
Tarifa i potència contractades	2.0A (10 kW)
Energia consumida (2016)	7.406 kWh
Factura elèctrica (2016)	1.729,76 €

Taula 8.5: Tarifa contractada, energia consumida i cost de la factura elèctrica per a la llar d'infants (any 2016).

8.2 Estudi de la coberta dels edificis

Mitjançant el web de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, podem fer una estimació de quina és la superfície de coberta disponible per instal·lar mòduls fotovoltaics per als cinc edificis municipals considerats.

Aquest mapa també ens permetrà conèixer la possible presència d'ombres d'edificis o arbres propers, o d'obstacles en la mateixa coberta, limitant l'espai disponible, així com també l'orientació de la coberta.



Figura 8.1: Fotografies aèries dels diferents edificis estudiats: (8.1a) ajuntament; (8.1b) casa de cultura; (8.1c) escola; (8.1d) centre cívic i (8.1e) llar d'infants. S'ha remarcat la coberta útil disponible per instal·lar panells fotovoltaics.

En la taula 8.6 es detallen, de forma aproximada mitjançant el càlcul amb el web de l'Institut Cartogràfic, les superfícies de coberta útil disponibles per als cinc edificis de les figures 8.1.

Edifici	Superfície de coberta útil	Tipus de coberta
Ajuntament	84 m ²	Lleugerament inclinada
Casa de cultura	63 m ²	Inclinada
Escola	225 m ²	Inclinada
Centre cívic	681 m ²	Plana
Llar d'infants	161 m ²	Plana

Taula 8.6: Superfícies de coberta útil disponibles dels edificis estudiats.

Com que caldrà dimensionar les instal·lacions al consum elèctric, és molt probable que no calgui ocupar la totalitat de la superfície de coberta disponible, de tal manera que els errors provinents d'haver fet aquest càlcul aproximat mitjançant una ortofoto web queden menyspreats. Tanmateix, caldrà comprovar que aquesta hipòtesi és correcta un cop escollida la potència a instal·lar en cada edifici.

8.3 Consums elèctrics dels edificis

El següent pas per dimensionar correctament les instal·lacions d'autoconsum és disposar dels consums elèctrics dels edificis.

D'una banda, l'Ajuntament de la Granada ens ha proporcionat les factures elèctriques corresponents a l'any 2016 per als cinc edificis. D'aquesta manera, disposem dels consums mensuals (o bimensuals) i el preu que s'ha pagat per aquesta electricitat. A més, per als edificis que tenen contractada una tarifa del tipus 3.0, es disposa dels consums desglossats en períodes tarifaris. Les dades de les factures dels cinc edificis es poden trobar en l'annex C.

Per conèixer quin és el cobriment de la demanda elèctrica per part de la instal·lació fotovoltaica, ens fan falta també els consums horaris d'electricitat. La situació ideal seria disposar de les corbes de demanda anuals per a cadascun dels edificis, ja que podríem disposar dels consums hora a hora per a cadascun dels dies de l'any.

Com que aquest procediment no ha estat possible, s'han seguit dues vies diferents:

- Per als edificis amb potències contractades superiors als 15 kW (escola i centre cívic), s'ha realitzat la descàrrega de dades del comptador dels darrers sis mesos (aproximadament, de gener a juny de 2017).
- Per a l'ajuntament, s'ha utilitzat un monitoritzador del consum que ja hi havia instal·lat en l'edifici prèviament. D'aquest, s'han pogut recuperar dades corresponents a quatre mesos (d'octubre de 2016 a gener de 2017).
- Per a la casa de cultura, no s'ha pogut obtenir una corba de demanda recent. D'aquesta manera, s'ha sol·licitat a l'empresa que va realitzar les visites d'avaluació energètica al municipi (integrades en el Pla d'Acció d'Energia Sostenible de

la Granada) la corba de càrrega corresponent a aquest edifici. S'han aconseguit els consums horaris durant dues setmanes de la primavera de l'any 2014.

- Per a la llar d'infants, es va instal·lar un monitoritzador del consum el dia 3 de juliol de 2017, de manera que s'han recollit unes dues setmanes de dades.

En les figures D.1-D.5 de l'annex D es presenten les corbes de consum dels edificis estudiats, on es poden observar les següents particularitats per a cada un:

- **Ajuntament.** Consum molt estables al llarg de l'any amb puntes en els períodes on es necessita climatització. El període de màxim consum coincideix amb les hores d'obertura al públic de l'edifici: els matins.
- **Casa de cultura.** Presenta un patró de consum bastant estable, amb màxims que coincideixen amb els períodes d'obertura del dispensari mèdic (als matins) i del casal d'avis (a les tardes). El cap de setmana només presenta activitat els dissabtes, quan obre el casal d'avis. El consum dels diumenges és només de base.
- **Escola.** Presenta el típic patró de consum en un centre escolar, on l'activitat és màxima en períodes on hi ha classe i disminueix de forma gradual a mesura que s'apropen els períodes vacacionals, quan el consum és mínim. En la figura D.3 també es poden apreciar clarament els períodes de vacances de Nadal (primers dies de gener) i de Setmana Santa (a mitjans d'abril).
- **Centre cívic.** El consum és generalment baix durant tot el dia excepte a les tardes, quan hi ha més activitat (escola de música, despatxos d'entitats, etc.). Es pot apreciar la fi de curs a l'escola de música a finals de maig, quan desapareixen les puntes de consum que tenien lloc cada tarda. L'edifici presenta uns màxims molt destacats en dies molt puntuals, que coincideixen amb els dies en què es realitzen activitats extraordinàries a l'auditori.
- **Llar d'infants.** Té un patró de consum molt característic, amb activitat màxima de 9 a 16 i un repunt a mitja tarda. La resta del dia, el consum és estable i baix.

8.4 Potència a instal·lar i producció estimada

Per tal de determinar la potència fotovoltaica que caldrà instal·lar, cal analitzar els consums elèctrics en horari solar, de manera que es minimitzi la generació d'excedents que tenen una valorització nul·la si no es consumeixen en el propi edifici (en les instal·lacions d'autoconsum de tipus 1 segons el Reial Decret 900/2015).

Per calcular la potència pic a instal·lar, doncs, es fan servir les dades obtingudes per a la facturació elèctrica de l'any 2016 (annex C).

Per tal de fer el càlcul de la producció estimada, se segueixen els passos de l'annex B. Aquest cas es pot estudiar més amb detall que el de Mollet ja que, com que es disposa

dels consums horaris dels edificis, es pot fer un càlcul més detallat de la quantitat d'energia generada que realment s'autoconsumeix i la que s'aboca a la xarxa. D'aquesta manera, es fa ús d'un full de càlcul en el qual es calcula, hora a hora i per a cada dia de l'any (si es disposa de les dades) de l'energia autoconsumida i de l'excedent.

Per a aquelles instal·lacions que es consideri necessària la instal·lació de bateries, s'ha creat un full de càlcul similar a l'anterior en el qual, de 8 a 20h, la bateria es carrega amb els excedents d'energia, que allibera de 20h a 8h, quan la bateria –estigui parcialment carregada o no– es buida completament i es reinicia el cicle.

Un cop s'han obtingut aquestes dades, és possible calcular quin és el percentatge de cobertura solar (definit com el percentatge de l'energia generada que es consumeix en el propi edifici sobre el total del consum elèctric de l'edifici) i el percentatge d'autoconsum (definit com la raó entre l'energia generada consumida en el propi edifici i l'energia generada total, que inclou els excedents).

Amb l'estalvi energètic, és immediat calcular l'estalvi econòmic (ja que es disposa del barem de preus al qual l'ajuntament compra l'electricitat ^[17]) i l'estalvi d'emissions de diòxid de carboni.

8.5 Instal·lacions proposades

Un cop feta l'anàlisi per a tots cinc equipaments, tot seguit es presenten els resultats que s'han obtingut, desglossats edifici per edifici.

8.5.1 Ajuntament

L'edifici de l'ajuntament, tot i tenir un consum elèctric diari variable (màxim als matins) té un consum base constant al llarg de tot l'any (tot i que disminueix substancialment a l'estiu). La instal·lació fotovoltaica s'encarregarà de cobrir, precisament, aquest consum. Com que la calefacció és elèctrica, tot el consum (base i punta) serà superior els mesos d'hivern de manera que, en aquests mesos, el percentatge de cobertura solar de l'edifici serà menor que a l'estiu, quan aquest percentatge serà màxim (i també es generaran més excedents). Per calcular els consums horaris dels mesos de què no tenim dades, s'ha elaborat un mes tipus (amb uns consums horaris estandaritzats) i s'ha adaptat al consum elèctric que obtenim de les factures del 2016 (annex C).

Com que la teulada de l'ajuntament és lleugerament inclinada però és pràcticament plana, s'ha considerat que els panells s'encaren cap al sud, maximitzant la producció, amb una inclinació de 30°. Al ser un edifici pràcticament aïllat, no hi ha presència d'ombres.

El resum de la proposta d'instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per a l'ajuntament es mostra en la taula 8.7.

La cobertura de la demanda per a una setmana d'abril ve donada per la figura 8.2.

Ajuntament	
Potència	4 kWp
Inclinació	30°
Cobertura solar	18%
Percentatge autoconsum	73%
Estalvi energètic anual	4.368 kWh
Estalvi econòmic anual	457,45 €
Estalvi CO ₂ anual	1,35 tones

Taula 8.7: Proposta d'instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per a l'ajuntament.

8.5.2 Casa de cultura

L'edifici de la casa de cultura, que acull el casal d'avis i el dispensari mèdic (a més d'altres equipaments d'ús puntual) té dos màxims de consum: un de curt al matí i un màxim més sostingut en el temps a partir de mitja tarda (el factor estacional és molt lleuger, ja que els equipaments estan oberts tot l'any). Com que el moment de màxim consum diari es té quan la producció fotovoltaica és molt baixa, s'ha considerat que la instal·lació inclou bateries.

El consum elèctric de la casa de cultura és relativament estable al llarg de l'any. Així, s'ha elaborat una setmana tipus amb les dades horàries disponibles i s'ha fet servir aquesta corba per a totes les setmanes de l'any, adaptant-la al consum facturat.

En aquest cas, la inclinació de la teulada és d'uns 15° i l'orientació lleugerament desplaçada cap a l'est (uns 30°). A efectes de simplicitat en els càlculs, i per tenir una idea del potencial real fotovoltaic de l'edifici, s'ha considerat una inclinació dels panells lleugerament superior (30°) per tal de maximitzar la producció.

El resum de la proposta d'instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per a la casa de cultura es mostra en la taula 8.8.

Casa de cultura	
Potència	4 kWp (amb bateries)
Inclinació	30°
Cobertura solar	21%
Percentatge autoconsum	99%
Estalvi energètic anual	5.256 kWh
Estalvi econòmic anual	507,57 €
Estalvi CO ₂ anual	1,62 tones

Taula 8.8: Proposta d'instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per a la casa de cultura.

La cobertura de la demanda per a una setmana d'abril ve donada per la figura 8.3.

8.5.3 Escola

L'escola té el funcionament típic d'un centre educatiu, amb consum màxim en període escolar i mínim en períodes vacacionals. D'aquesta manera, mentre que durant el curs l'energia produïda es consumirà pràcticament tota, durant l'estiu es generaran excedents. Per calcular els consums horaris dels mesos de què no tenim dades, s'ha elaborat un mes tipus (amb uns consums horaris estandaritzats) i s'ha adaptat al consum elèctric que obtenim de les factures del 2016 (annex C).

Com que la coberta on es podrien instal·lar és molt gran, els mòduls es poden instal·lar amb la inclinació adequada (en aquest edifici, uns 60°). L'edifici està encarat cap al sud, lleugerament desplaçat cap a l'est.

El resum de la proposta d'instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per a l'escola es mostra en la taula 8.9.

Escola	
Potència	6 kWp
Inclinació	60°
Cobertura solar	21%
Percentatge autoconsum	84%
Estalvi energètic anual	7.565 kWh
Estalvi econòmic anual	657,16 €
Estalvi CO ₂ anual	2,33 tones

Taula 8.9: Proposta d'instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per a l'escola.

La cobertura de la demanda per a una setmana d'abril ve donada per la figura 8.4.

8.5.4 Centre cívic

El consum elèctric es de base la major part de l'any, amb màxims a partir de mitja tarda, que és quan hi ha activitat. També presenta puntes els dies que es fa servir l'auditori. Per tal de cobrir el consum de tardes i generar els mínims excedents, cal que la instal·lació fotovoltaica sigui amb bateries.

Com que l'edifici disposa d'una coberta plana important, els mòduls s'instal·laran orientats cap al sud amb una inclinació de 30°. Per calcular els consums horaris dels mesos de què no tenim dades, s'ha elaborat un mes tipus (amb uns consums horaris estandaritzats) i s'ha adaptat al consum elèctric que obtenim de les factures del 2016 (annex C).

El resum de la proposta d'instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per al centre cívic es mostra en la taula 8.10.

La cobertura de la demanda per a una setmana d'abril ve donada per la figura 8.5.

Centre cívic	
Potència	4 kWp (amb bateries)
Inclinació	30°
Cobertura solar	27%
Percentatge autoconsum	80%
Estalvi energètic anual	4.259 kWh
Estalvi econòmic anual	246,59 €
Estalvi CO ₂ anual	1,31 tones

Taula 8.10: Proposta d'instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per al centre cívic.

8.5.5 Llar d'infants

Com que el consum elèctric de la llar d'infants és molt estable, amb les dades de què es disposava s'ha elaborat una setmana tipus (figura D.5). D'aquesta manera, s'ha fet servir aquesta corba per a totes les setmanes lectives de l'any (setembre–juliol). Per a l'agost i els períodes de vacances, s'ha considerat que el consum és igual al dels caps de setmana. Per tal de minimitzar els excedents del cap de setmana, s'ha considerat una instal·lació amb bateries. D'altra banda, al ser la teulada plana, els panells s'encaren cap al sud, maximitzant la producció. No hi ha presència d'ombres.

El resum de la proposta d'instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per a la llar d'infants es mostra en la taula 8.11.

Llar d'infants	
Potència	1,5 kWp (amb bateries)
Inclinació	30°
Cobertura solar	24%
Percentatge autoconsum	82%
Estalvi energètic	1.994 kWh
Estalvi econòmic	185,94 €
Estalvi CO ₂	0,61 tones

Taula 8.11: Proposta d'instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per a la llar d'infants.

La cobertura de la demanda per a una setmana d'abril ve donada per la figura 8.6.

8.6 Corbes de demanda cobertes

En les figures 8.2–8.6 es presenten, en una mateixa gràfica i per a una mateixa setmana del mes d'abril, les corbes de consum dels cinc edificis estudiats, la producció de les respectives instal·lacions fotovoltaïques i la corba d'autoconsum.

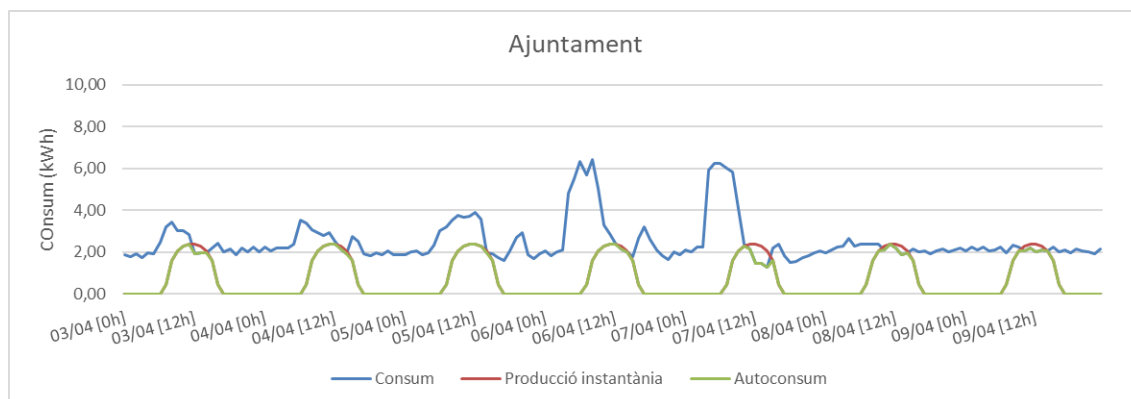


Figura 8.2: Consum i producció a l'ajuntament per una setmana d'abril.

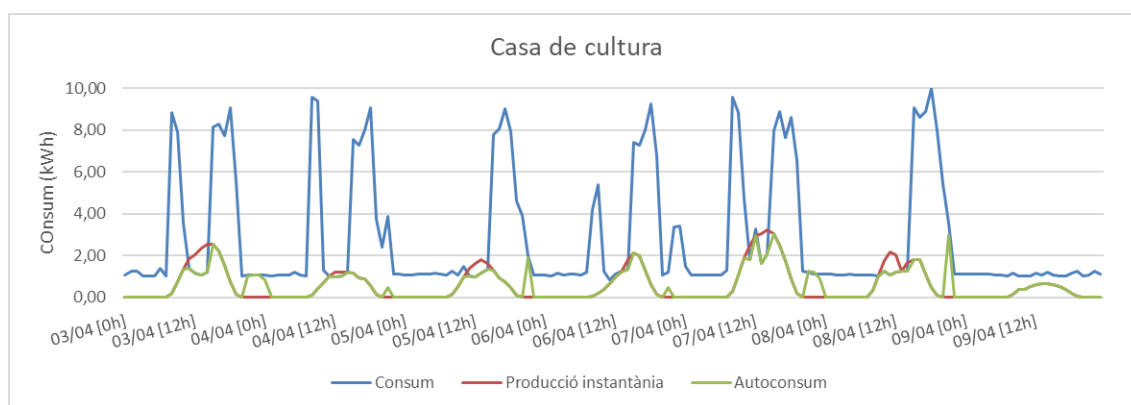


Figura 8.3: Consum i producció a la casa de cultura per una setmana d'abril.

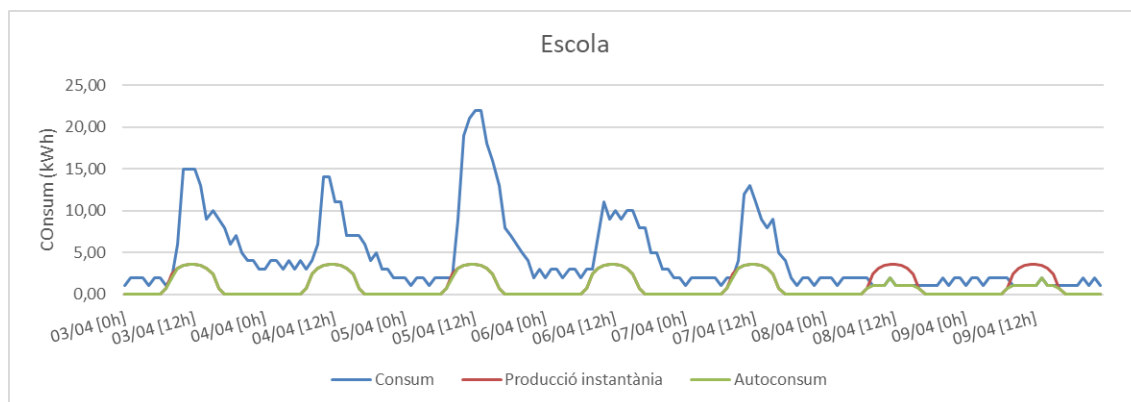


Figura 8.4: Consum i producció a l'escola per una setmana d'abril.

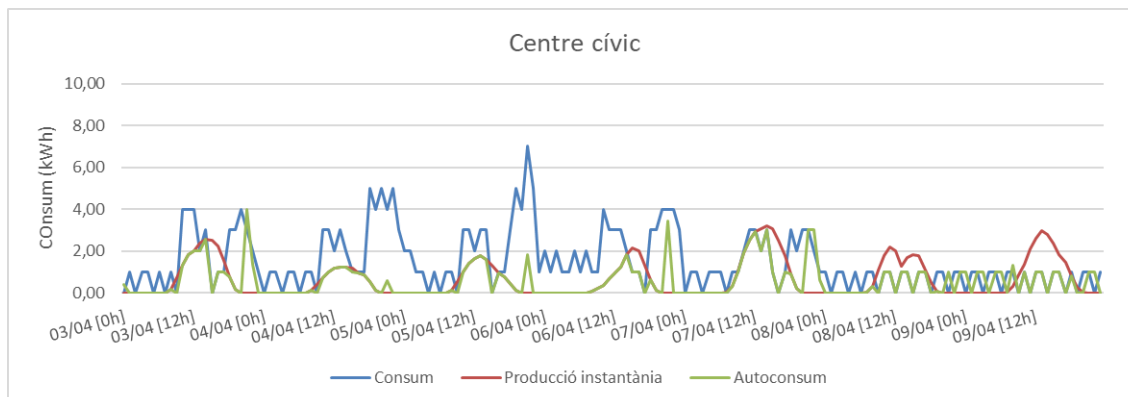


Figura 8.5: Consum i producció al centre cívic per una setmana d'abril.

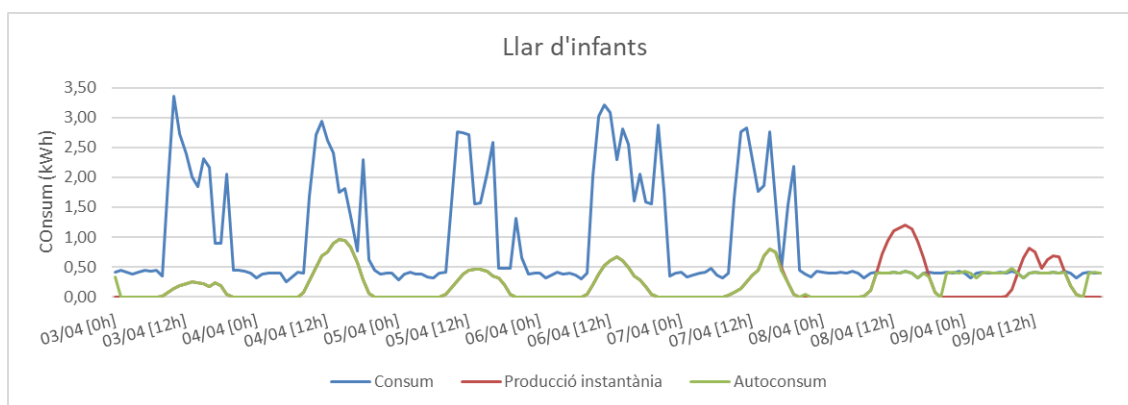


Figura 8.6: Consum i producció a la llar d'infants per una setmana d'abril.

8.7 Pressupost aproximat

Els costos d'una instal·lació fotovoltaica van destinats a factors molt diversos: mòduls, inversors, estructura, cablejat, proteccions, monitoratge, etc. El fet que alguns costos siguin fixes i independents de la potència –amb lleugeres variacions en funció de la instal·lació– (com el cablejat i el monitoratge) fa que el cost unitari d'una instal·lació fotovoltaica (és a dir, el cost €/kW_p) sigui major com menys potència instal·lada hi hagi.

A partir d'una vintena de projectes recents rebuts per part de la Diputació de Barcelona, s'han elaborat unes gràfiques en les quals es mostra el pressupost de la instal·lació i el cost unitari del kWp en funció de la potència instal·lada (figures 8.7).

Com es pot veure a la figura 8.7a, es pot estimar d'una forma molt correcta el pressupost d'una instal·lació sense bateries mitjançant una recta de regressió lineal.

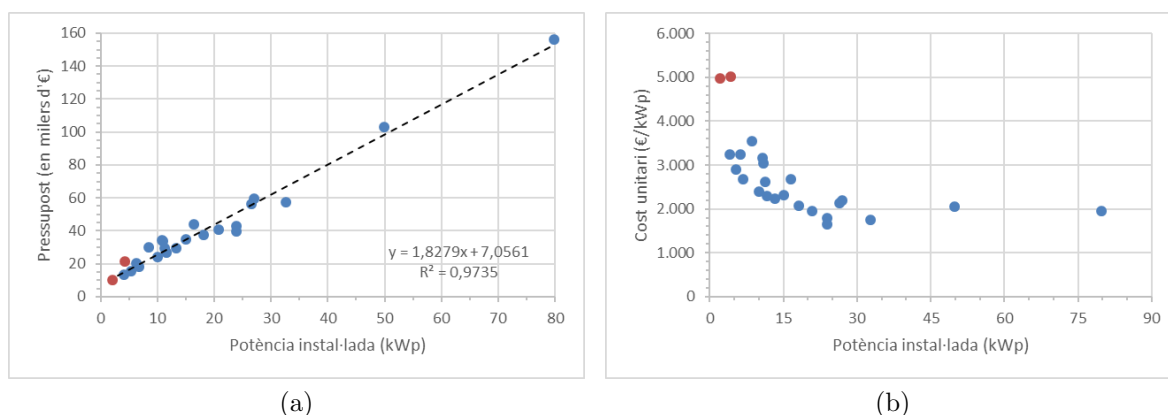


Figura 8.7: (8.7a) Pressupost del projecte en funció de la potència a instal·lar; i (8.7b) cost unitari del kW pic en funció de la potència a instal·lar. En vermell, els projectes que inclouen bateries.

A causa de la presència de l'element extra que suponen les bateries en les instal·lacions que en disposen, el cost unitari s'enfila sovint fins als 5.000 €/kWp, com es veu a la figura 8.7b. Assumirem aquest cost per a les instal·lacions proposades que n'inclouen.

La proposta que es realitza en aquest estudi és la instal·lació de panells fotovoltaics del model **REC 250PE**, d'inversors dels models **SMA SB** i **SMA STP** de potències diverses segons la instal·lació i de bateries **Fronius Solar Battery**, també amb capacitats diverses, en les instal·lacions que ho requereixin. Les fitxes tècniques d'aquests productes es troben a l'annex E.

Les propostes d'instal·lació que es fan, juntament amb el cost aproximat de cadascuna es mostren a la taula 8.12.

Edifici	Potència	Mòduls	Inversor	Bateries	Cost (€)	€/kWp
Ajuntament	4 kWp	16	SB 4000	—	14.798	3.699
Casa de cultura	4 kWp	16	SB 4000	Fronius 10.5	20.000	5.000
Escola	6 kWp	24	STP 6000	—	18.024	3.004
Centre cívic	4 kWp	16	SB 4000	Fronius 10.5	20.000	5.000
Llar d'infants	1,5 kWp	6	SB 1500	Fronius 6.0	7.500	5.000

Taula 8.12: Propostes d'instal·lació, pressupost aproximat i cost unitari del kW pic instal·lat.

9 Conclusions

El present estudi ha permès comprovar de forma clara com petites instal·lacions d'autoconsum en els edificis municipals d'una població poden arribar a suposar percentatges de cobertura solar –el percentatge d'energia que es consumeix a l'edifici provinent de la instal·lació d'autoconsum, sobre el consum total d'energia– superiors al 20%.

En l'estudi que s'ha realitzat a Mollet del Vallès, s'ha conclòs que, per una inversió propera al milió d'euros, s'estalviarien gairebé 500 MWh anuals, cosa que implica una cobertura solar del 20,6% i que suposa un estalvi econòmic de més de 65.000 € anuals. És notori comentar que aquest estudi s'ha fet sobre només 35 dels 68 equipaments municipals de Mollet, però que, si es consideren tots els equipaments, el percentatge de cobertura solar només disminueix 4 punts, fins al 16,6%.

D'aquesta manera, es conclou que dotar equipaments amb plaques fotovoltaïques per a autoconsum no només és possible, sinó que és rendible i que suposa un estalvi anual econòmic important, però també d'emissions de CO₂ a l'atmosfera.

Pel que fa al projecte d'instal·lacions fotovoltaïques als edificis municipals de la Granada, l'estudi ha permès concloure amb només 19,5 kWp instal·lats, l'estalvi energètic anual supera els 23.000 kWh, mentre que l'estalvi econòmic en la factura de l'electricitat és de 2.000 € anuals que, a tall d'exemple, seria com deixar de pagar la factura elèctrica anual de la llar d'infants (que el 2016 va sumar 1.729,76 €).

Sovint, una despesa d'aquesta magnitud és difícilment assumible per part d'un ajuntament petit com el de la Granada, si no disposa de subvencions per part d'altres administracions. Per aquest motiu, és convenient establir una prioritat d'actuació. D'aquesta manera, la instal·lació que més estalvi genera i que, alhora, presenta un preu per al kW pic instal·lat més baix és la de l'escola.

Com és lògic, les instal·lacions que inclouen bateries presenten un cost substancialment més elevat que els que no n'inclouen; en canvi, el percentatge d'aprofitament és molt més elevat, ja que s'acumula l'energia sobrant en les puntes de producció per fer-la servir posteriorment.

Les instal·lacions d'autoconsum del futur van, inevitablement, en aquesta direcció ja que, si no es disposa de bateries, únicament es pot cobrir el consum diürn. Un bon desenvolupament de l'emmagatzematge d'electricitat permetria que les energies renovables –no només a l'energia fotovoltaica sinó també, per exemple, l'eòlica– substituir per fi, i definitivament, els combustibles fòssils en la generació d'electricitat.

La baixada dràstica de preus dels darrers anys ja està fent que, arreu del món, els consumidors assumeixin un rol cada cop més actiu generant, parcialment o total, l'electricitat que consumeixen. És qüestió de temps que tots els edificis es dotin d'aquesta tecnologia neta, barata i lliure de CO₂.

L'energia solar fotovoltaica ha vingut per quedar-se.

Annexes

A Patrons estàndard de consum

A continuació es mostren els patrons de consum que es fan servir quan un edifici no té contractada una tarifa amb discriminació horària, segons la tipologia d'edifici, per tal d'obtenir el consum per períodes (taula 6.1).

P1	Escola	Escola bressol	Oficina	Museu teatre, etc.	Biblioteca	Centre cívic esportiu, etc.
Gener	16%	17%	12%	40%	28%	21%
Febrer	15%	17%	12%	34%	32%	23%
Març	16%	20%	25%	26%	24%	21%
Abril	25%	23%	27%	26%	19%	22%
Maig	27%	24%	28%	25%	18%	25%
Juny	26%	27%	28%	25%	14%	25%
Juliol	19%	25%	27%	34%	28%	21%
Agost	19%	22%	27%	27%	22%	19%
Setembre	26%	25%	27%	29%	17%	21%
Octubre	24%	18%	14%	33%	18%	21%
Novembre	16%	18%	12%	31%	29%	22%
Desembre	16%	17%	12%	39%	39%	22%

Taula A.1: Patrons estàndard de consum segons la tipologia d'edifici pel període P1.

P2	Escola	Escola bressol	Oficina	Museu teatre, etc.	Biblioteca	Centre cívic esportiu, etc.
Gener	68%	64%	68%	50%	68%	63%
Febrer	68%	70%	69%	27%	64%	61%
Març	68%	60%	55%	35%	58%	62%
Abril	58%	58%	55%	40%	69%	61%
Maig	58%	55%	53%	36%	77%	54%
Juny	56%	55%	54%	36%	82%	57%
Juliol	55%	56%	53%	33%	66%	59%
Agost	48%	57%	53%	36%	71%	62%
Setembre	57%	59%	55%	35%	81%	62%
Octubre	61%	62%	66%	49%	69%	64%
Novembre	70%	64%	68%	52%	57%	63%
Desembre	67%	69%	69%	48%	58%	64%

Taula A.2: Patrons estàndard de consum segons la tipologia d'edifici pel període P2.

P3	Escola	Escola bressol	Oficina	Museu teatre, etc.	Biblioteca	Centre cívic esportiu, etc.
Gener	16%	19%	20%	11%	4%	16%
Febrer	16%	13%	19%	39%	4%	16%
Març	16%	19%	20%	39%	19%	17%
Abril	17%	20%	18%	34%	12%	17%
Maig	15%	20%	19%	38%	5%	21%
Juny	18%	18%	18%	39%	4%	18%
Juliol	25%	18%	20%	33%	6%	20%
Agost	33%	21%	20%	37%	7%	20%
Setembre	16%	16%	18%	37%	2%	17%
Octubre	15%	20%	21%	18%	13%	15%
Novembre	14%	19%	20%	17%	13%	15%
Desembre	17%	14%	19%	12%	4%	14%

Taula A.3: Patrons estàndard de consum segons la tipologia d'edifici pel període P3.

B Exemple de càlcul d'una instal·lació fotovoltaica d'autoconsum

Per tal de fer els càlculs de la potència d'autoconsum necessària a instal·lar, la producció dels mòduls, l'estalvi d'energia de la xarxa, els excedents d'energia i l'estalvi econòmic,

s'ha creat un full de càlcul amb la metodologia que es descriu a continuació. Cal comentar que el criteri que s'ha fet servir en aquest estudi no és universal, i que la metodologia que s'ha fet servir que no necessàriament ha de coincidir amb altres estudis que es puguin haver realitzat en aquest camp.

En primer lloc, per calcular la potència a instal·lar, cal disposar dels consums elèctrics de l'edifici desglossats per períodes tarifaris (veure taula 6.1). En cas que el contracte no inclogui la discriminació horària, o bé que no es pugui disposar dels consums horaris via descàrrega de dades del comptador o plataforma web, es fan servir uns patrons estàndard de consum per tal de determinar quin és el consum en cada període, segons el tipus d'edifici (annex A).

Un cop es disposa dels consums per períodes, es calcula la potència que caldria instal·lar (mitjançant la fórmula $P = E/t$), mes a mes i per cada període, per tal de cobrir la demanda, segons el nombre d'hores solars útils en els períodes P1 i P2 (no s'inclou P3 ja que correspon a hores no útils per a la producció d'energia fotovoltaica). Seguidament, es fa la mitjana per a cadascun dels períodes, i es pren, com a potència a instal·lar, la màxima potència de les dues.

Un exemple d'això es mostra en la taula B.1.

	Hores punta (P1)			Hores pla (P2)		
Mes	Consum (kWh)	Hores útils	Potència mitjana	Consum (kWh)	Hores útils	Potència mitjana
Gener	411	0	0,00	2.278	300	7,59
Febrer	351	0	0,00	2.008	300	6,69
Març	697	0	0,00	1.551	300	5,17
Abril	465	120	3,88	934	360	2,59
Maig	205	120	1,71	391	360	1,08
Juny	155	120	1,29	302	360	0,84
Juliol	239	120	2,00	462	360	1,28
Agost	127	120	1,06	254	360	0,71
Setembre	167	120	1,39	347	360	0,96
Octubre	191	120	1,59	917	360	2,55
Novembre	380	0	0,00	2.056	300	6,85
Desembre	481	0	0,00	2.832	300	9,44
Mitjana kW			1,84	Mitjana kW		3,81
Potència instal·lació autoconsum				3,81 kW		

Taula B.1: Exemple de càlcul de la potència òptima per a autoconsum en un edifici.

Tot seguit, es presenten dues metodologies de càlcul segons el nivell d'exhaustivitat que permet o requereix l'estudi. S'ha seguit el procediment descrit a la secció B.1 per al càlcul del potencial fotovoltaic d'autoconsum dels edificis de Mollet del Vallès (secció

7) i el de les seccions B.2 i B.3, per al projecte de la Granada (secció 8).

En qualsevol cas, un cop s'han obtingut la producció anual de la instal·lació i l'energia autoconsumida, és possible calcular quin és el percentatge de cobertura solar (definit com el percentatge de l'energia generada que es consumeix en el propi edifici sobre el total del consum elèctric de l'edifici) i el percentatge d'autoconsum (definit com la raó entre l'energia generada consumida en el propi edifici i l'energia generada total, que inclou els excedents).

B.1 Càlcul de l'estalvi energètic (mètode simple)

Per fer un càlcul aproximat de la producció de la instal·lació, es fan servir les dades de la radiació solar global diària sobre superfícies inclinades que proporciona l'Atles de Radiació de Catalunya ^[15], d'on s'obté la quantitat d'energia per metre quadrat dipositada en una superfície inclinada cada dia, mes a mes.

Amb aquestes dades, i prenent una potència solar pic uniforme de 1000 W/m², és possible calcular el nombre d'hores solars pic, que és el nombre d'hores equivalents en les quals el mòdul treballa a màxima potència.

Per calcular la producció mensual de la instal·lació, es fa servir l'equació (B.1), amb valor estàndard del *Performance Ratio*, PR , detallat en la taula B.2.

$$E_{mensual} = PR \times P_{instal·lada} \times HSP \times n_{dies} \quad (B.1)$$

Generador fotovoltaic	0,91
Inversor	0,92
Cablejat i dispersió de paràmetres	0,95
Interrupcions de servei	0,93
PR_{total}	0,74

Taula B.2: Coeficient de rendiment (o *performance ratio*) de la instal·lació.

Per calcular l'estalvi energètic, però, és més útil obtenir la producció de la instal·lació desglossada per hores. Aquesta es pot calcular a partir de les dades de radiació solar global horària sobre superfícies inclinades que proporciona l'Atles de Radiació de Catalunya ^[15]. La metodologia per fer el càlcul és la mateixa que en el cas anterior, on es calcula la producció horària (un exemple d'això es mostra a la taula B.3 per les hores 9h-16h) i, posteriorment, es multiplica pel nombre de dies i se sumen els períodes (exemple a la taula B.4). Quan se sumen les produccions horàries de la instal·lació corresponents a cada període tarifari, s'obté la producció anual de la instal·lació desglossada per mesos i períodes.

Llavors, cal restar la producció fotovoltaica al consum elèctric en el període estipulat. D'aquesta manera, s'obtenen directament l'estalvi energètic i els excedents

Mes	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Gen	0,61	1,02	1,35	1,54	1,54	1,35	1,02
Feb	0,80	1,24	1,59	1,79	1,79	1,59	1,24
Mar	1,04	1,50	1,87	2,07	2,07	1,87	1,50
Abr	1,26	1,73	2,09	2,29	2,29	2,09	1,73
Mai	1,38	1,83	2,20	2,39	2,39	2,20	1,83
Jun	1,43	1,88	2,23	2,41	2,41	2,23	1,88
Jul	1,41	1,88	2,23	2,42	2,42	2,23	1,88
Ago	1,33	1,80	2,18	2,38	2,38	2,18	1,80
Set	1,16	1,64	2,01	2,22	2,22	2,01	1,64
Oct	0,92	1,38	1,75	1,96	1,96	1,75	1,38
Nov	0,68	1,10	1,45	1,64	1,64	1,45	1,10
Des	0,56	0,96	1,29	1,47	1,47	1,29	0,96

Taula B.3: Exemple de taula on s'obté la producció diària hora a hora, en kWh, d'una instal·lació fotovoltaica.

Mes	P1	P2	TOTAL
Gen	0,00	291,10	291,10
Feb	0,00	323,64	323,64
Mar	4,59	437,34	441,93
Abr	263,22	233,71	496,93
Mai	284,17	269,17	553,34
Jun	278,51	271,95	550,46
Jul	288,15	277,53	565,67
Ago	283,10	257,68	540,78
Set	253,90	213,66	467,57
Oct	229,81	170,95	400,76
Nov	0,00	307,45	307,45
Des	0,00	272,86	272,86
TOTAL	1.885,46	3.327,06	5.212,51

Taula B.4: Exemple de taula on s'obté la producció per períodes, en kWh, d'una instal·lació fotovoltaica.

d'energia (com es pot veure a la taula B.5). Es poden produir lleugers errors derivats del fet de no disposar de dades horàries del consum de l'edifici sinó només dels períodes tarifaris.

Mes	P1	P2	P3	Total	Energia aprofitada
Gen	411,12	1.986,44	666,33	3.063,90	291,10
Feb	351,18	1.684,49	562,69	2.598,36	323,64
Mar	692,61	1.113,25	577,22	2.383,07	441,93
Abr	201,93	700,31	306,83	1.209,07	496,93
Mai	-79,50	121,38	142,77	264,15	473,85
Jun	-123,37	29,74	101,17	130,91	427,09
Jul	-48,73	184,31	176,74	361,05	516,95
Ago	-156,16	-3,80	97,18	97,18	380,82
Set	-87,39	133,33	114,49	247,82	380,18
Oct	-38,49	746,35	291,38	1.037,73	362,27
Nov	380,23	1.748,15	608,16	2.736,55	307,45
Des	481,21	2.559,32	795,61	3.836,14	272,86
TOTAL	2.518,29	11.007,08	4.440,55	17.965,92	4.675,08

Taula B.5: Exemple de taula on s'obté l'estalvi energètic i els excedents d'electricitat d'una instal·lació, en kWh.

Com que es coneix el període i el mes en què s'ha generat l'energia que s'ha autoconsumit, si es coneix el preu al qual es compra l'electricitat és immediat calcular l'estalvi econòmic (es considerarà que el preu de l'electricitat és constant amb els anys). A més, amb el factor d'emissió del mix elèctric de l'any 2016 ^[16], es pot calcular l'estalvi d'emissions de CO₂ a l'atmosfera.

B.2 Càlcul de l'estalvi energètic (mètode complex)

És possible fer un càlcul més acurat de l'estalvi energètic real si es disposa de les dades anuals dels consums horaris de l'edifici, o bé se'n pot fer una extrapolació ja que l'edifici té uns patrons de consum clars.

Si es disposa d'aquestes dades, és possible conèixer quin és l'estalvi d'energia i l'excedent hora a hora, per tot l'any. Cal disposar, però, de la producció horària anual aproximada de la instal·lació.

A tal efecte, s'han utilitzat les dades de la producció fotovoltaica d'una instal·lació del municipi del Bruc (Anoia), amb unes característiques molt similars al present estudi. Adaptant la potència a cada edifici, es pot obtenir, en molt bona aproximació, la producció real, hora a hora, per a tot l'any, de les instal·lacions fotovoltaïques proposades pel municipi de la Granada.

Amb totes aquestes dades, s'obté una taula que inclou el consum energètic i la producció horària de la instal·lació per a totes les hores de l'any. D'aquesta manera, és immediat calcular quina és l'energia autoconsumida i quina l'excedent que cal abocar a la xarxa. Aquest càlcul hora per hora fa que el resultat obtingut sigui molt més proper a la realitat que en el de la secció B.1.

Un cop es coneix l'estalvi d'energia i en quina hora del dia es produeix, és immediat calcular l'estalvi econòmic i el d'emissions de CO₂ a l'atmosfera, de la mateixa manera que en la secció B.1.

B.3 Instal·lació amb bateries

Per aquelles instal·lacions on s'ha decidit col·locar-hi bateries, s'ha adaptat el full de càlcul de manera que:

- De 8 a 20, tota aquella energia que no s'autoconsumeix es fa servir per carregar les bateries (fins que arriba al límit de capacitat, si es dona el cas).
- De 20 a 8, es fa servir l'energia acumulada durant el dia a la bateria per consumir-la en el propi edifici. Quan s'exhaureix, es torna a consumir l'energia de la xarxa. En cas que no s'exhaureixi la càrrega de la bateria a les 8, la es buida totalment i es torna a iniciar el cicle.

En aquest cas, el càlcul de l'estalvi energètic es realitza de forma anàloga a la secció B.2, amb l'única particularitat que, a partir de les 20, l'energia acumulada durant el dia a la bateria s'allibera i, per tant, es produeix autoconsum.

C Factures dels edificis

A continuació es presenten les factures elèctriques dels edificis estudiats de la Granada, que s'han fet servir per calcular la potència òptima a instal·lar.

Casa de cultura	Consum (kWh)	Cost (€)
18/12/2015 a 17/02/2016	4381	931,22
17/02/2016 a 20/04/2016	4367	927,91
20/04/2016 a 20/06/2016	3586	777,28
20/06/2016 a 17/08/2016	4550	941,3
17/08/2016 a 19/10/2016	4278	904,64
19/10/2016 a 20/12/2016	3489	762,38
Total	24651	5244,73

Taula C.1: Facturació elèctrica de la casa de cultura, any 2016.

Escoles	Consum (kWh)				Cost (€)
	Total	P1	P2	P3	
31/12/2015 a 31/01/2016	4056	561	2598	897	957,39
31/01/2016 a 29/02/2016	4232	549	2826	857	957,09
29/02/2016 a 31/03/2016	3853	526	2502	825	926,88
31/03/2016 a 30/04/2016	3130	923	1658	549	864,23
30/04/2016 a 31/05/2016	2727	824	1416	487	813,89
31/05/2016 a 30/06/2016	2016	553	993	470	686,46
30/06/2016 a 31/07/2016	1123	203	520	400	579,05
31/07/2016 a 31/08/2016	743	116	280	347	544,94
31/08/2016 a 30/09/2016	2214	628	1138	448	730,99
30/09/2016 a 31/10/2016	3278	940	1833	505	903,02
31/10/2016 a 30/11/2016	4309	558	3193	558	1008,43
30/11/2016 a 31/12/2016	3603	375	2708	520	890,14
Total	35284	6756	21665	6863	9862,51

Taula C.2: Facturació elèctrica de l'escola, any 2016.

Centre cívic	Consum (kWh)				Cost (€)
	Total	P1	P2	P3	
31/12/2015 a 31/01/2016	891	334	415	142	1149,79
31/01/2016 a 29/02/2016	1010	348	493	169	1097,02
29/02/2016 a 31/03/2016	1447	399	819	229	674,1
31/03/2016 a 30/04/2016	510	75	294	141	536,88
30/04/2016 a 31/05/2016	926	124	598	204	615,91
31/05/2016 a 30/06/2016	694	102	416	176	570,88
30/06/2016 a 31/07/2016	911	261	523	127	620,49
31/07/2016 a 31/08/2016	337	56	169	112	532,79
31/08/2016 a 30/09/2016	374	65	193	116	521,9
30/09/2016 a 31/10/2016	572	91	309	172	561,68
31/10/2016 a 30/11/2016	1147	345	526	276	651,67
30/11/2016 a 31/12/2016	3959	785	2450	724	978,83
Total	12778	2985	7205	2588	8511,94

Taula C.3: Facturació elèctrica del centre cívic, any 2016.

Ajuntament	Consum (kWh)			Cost (€)
	Total	P1	P3	
08/01/2016 a 08/02/2016	3355	1061	2294	544,29
08/02/2016 a 07/03/2016	2922	1052	1870	488,94
07/03/2016 a 07/04/2016	2825	1055	1770	484,1
07/04/2016 a 08/05/2016	1706	627	1079	319,39
08/05/2016 a 08/06/2016	738	285	453	177,69
08/06/2016 a 08/07/2016	558	229	329	152,96
08/07/2016 a 17/08/2016	878	381	497	225,68
17/08/2016 a 09/09/2016	478	199	279	124,92
09/09/2016 a 11/10/2016	628	272	356	169,39
11/10/2016 a 09/11/2016	1400	518	882	268,91
09/11/2016 a 09/12/2016	3044	1117	1927	505,7
09/12/2016 a 09/01/2017	4109	1324	2785	622,75
Total	22641	8120	14521	4084,72

Taula C.4: Facturació elèctrica de l'ajuntament, any 2016.

Llar d'infants	Consum (kWh)	Cost (€)
17/12/2015 a 17/02/2016	1195	285,48
17/02/2016 a 20/04/2016	1399	317,83
20/04/2016 a 20/06/2016	1300	296,83
20/06/2016 a 25/08/2016	1038	263,33
25/08/2016 a 28/10/2016	1290	299,84
28/10/2016 a 20/12/2016	1184	266,45
Total	7406	1729,76

Taula C.5: Facturació elèctrica de la llar d'infants, any 2016.

D Corbes de consum

En les figures D.1–D.5 es presenten les corbes de consum dels edificis estudiats.

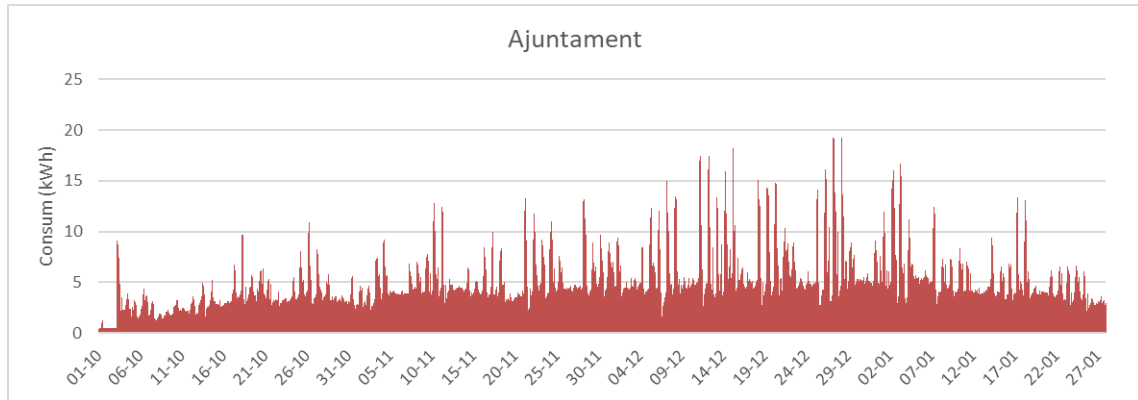


Figura D.1: Corba de consums horaris de l'ajuntament (01-10-2016 a 27-01-2017).

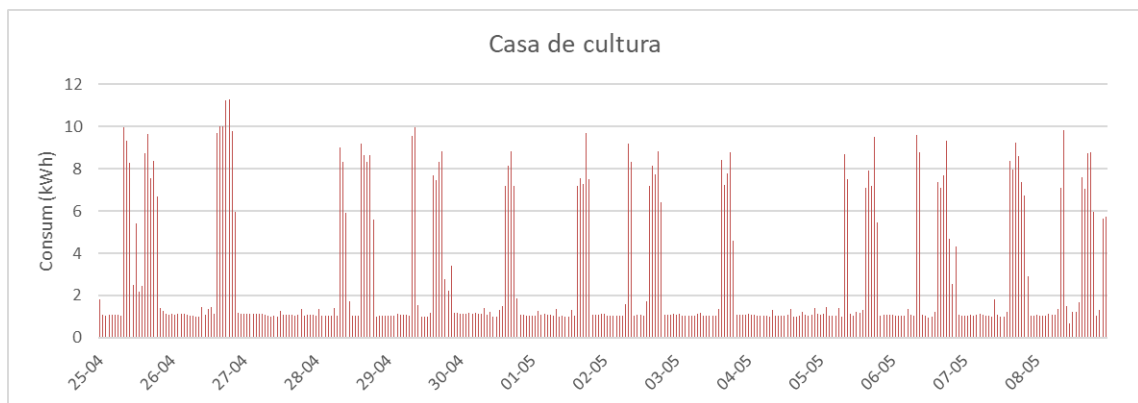


Figura D.2: Corba de consums horaris de la casa de cultura (25-04-2014 a 08-05-2014).

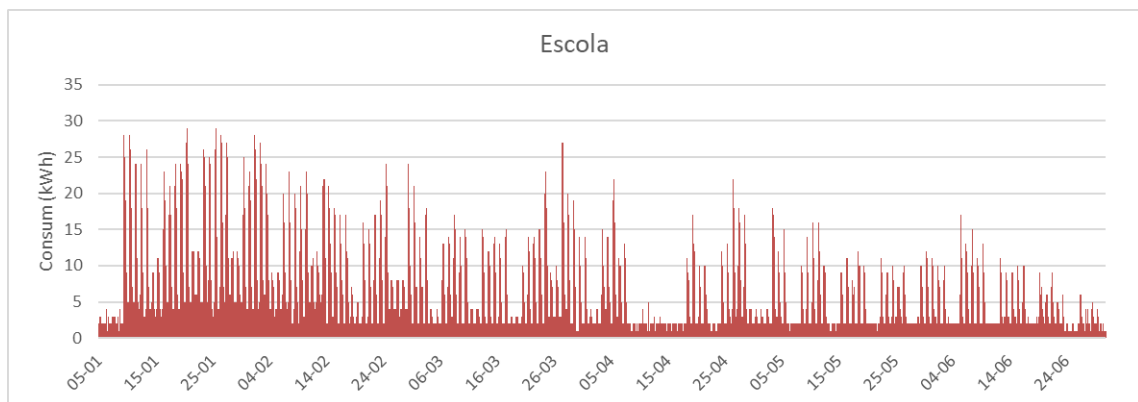


Figura D.3: Corba de consums horaris de l'escola (05-01-2017 a 30-06-2017).

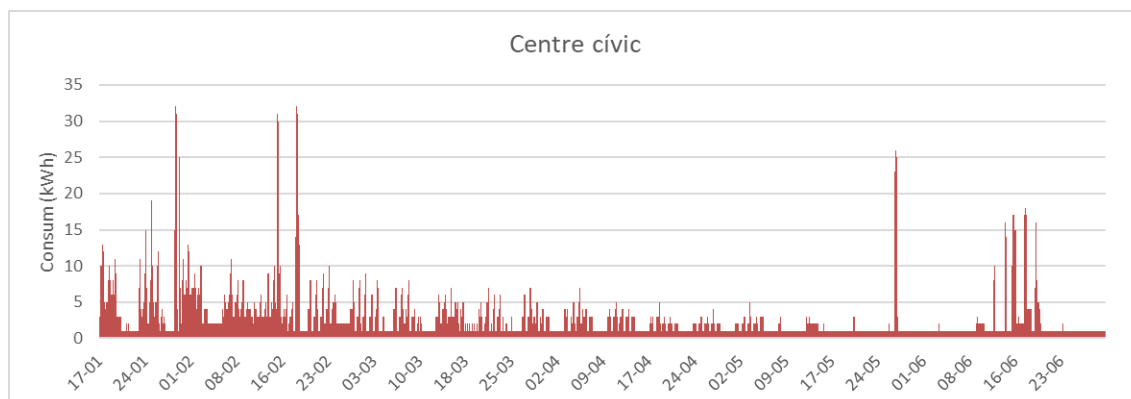


Figura D.4: Corba de consums horaris del centre cívic (17-01-2017 a 30-06-2017).

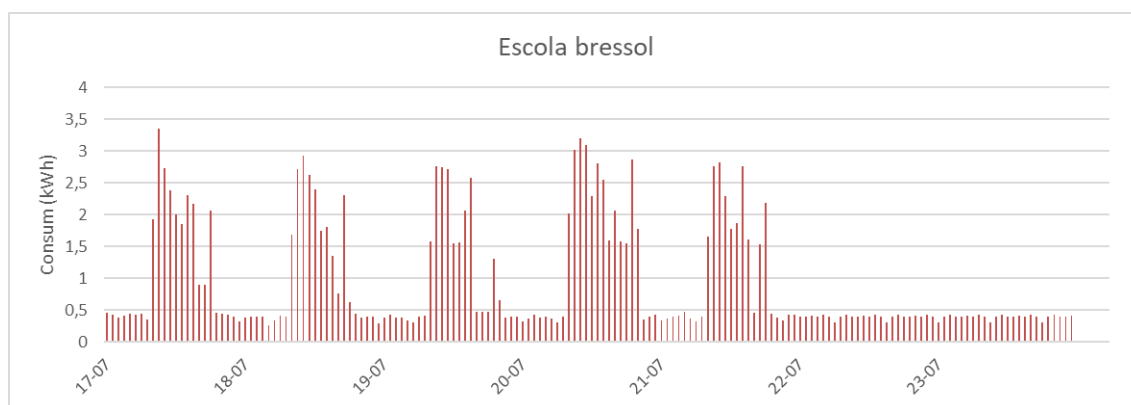


Figura D.5: Corba de consums horaris de la llar d'infants (17-07-2017 a 23-07-2017).

E Fitxes tècniques dels elements de la instal·lació fotovoltaica proposada per a la Granada

Les fitxes tècniques dels elements de la instal·lació fotovoltaica proposada per a la Granada es troben adjunts al final de tot d'aquest document.

F Taula resum: estudi de Mollet

En la taula F.1 es presenten els resultats de l'estudi de Mollet del Vallès.

Estudi del potencial fotovoltaic d'autoconsum
dels edificis municipals de la Granada

Edifici	Potència (kW)	Producció anual (kWh)	Cost (€)	Estalvi (kWh)	Estalvi (€)	Cobertura solar
Casa Consistorial	2,4	2.950	5.141	2.959	467	18%
Teatre Can Gomà	19	23.688	41.275	23.398	3.029	27%
Casa de la Vila	87,1	108.850	189.657	113.474	14.782	22%
Escola Montseny	17,4	21.688	37.779	20.439	2.641	17%
Escola Cal Músic	11	13.738	23.941	13.489	1.751	20%
Centre El Lledoner	37,7	47.150	82.155	49.154	6.403	21%
CC Can Pantiquet	6,3	7.813	13.607	8.141	1.061	19%
Escola J. S. Papasseit	10,1	12.675	22.094	12.448	1.616	23%
Escola Sant Vicenç	9,9	12.338	21.505	11.904	1.542	22%
Escola Can Besora	10,4	12.950	22.560	12.241	1.583	22%
Escola El Bosc	13,2	16.438	28.645	16.139	2.095	22%
Escola Col·legis Nous	13,2	16.488	28.728	16.186	2.102	25%
Escola Joan Abelló	16,5	20.588	35.869	19.027	2.453	20%
Escola Sant Jordi	12,3	15.388	26.804	15.102	1.961	20%
Pavelló Plana Lledó	6,1	7.675	13.381	7.933	1.032	15%
Sala de dansa	6,8	8.525	14.845	8.882	1.157	16%
E. Br. Els Pinetons	4,8	5.988	10.425	6.238	813	21%
Brigada d'obres	3,9	4.850	8.452	5.057	659	17%
E. Br. La Xerranca	6,9	8.650	15.078	9.022	1.175	21%
Biblioteca Can Mulà	17,6	21.938	38.213	21.458	2.784	19%
Edifici La Filadora	6,2	7.750	13.443	8.043	1.073	20%
E. Br. La Filadora	6,5	8.150	14.205	8.499	1.107	23%
Pavelló Riera Seca	9,6	11.963	20.841	12.243	1.592	16%
Escola d'Adults	2,8	3.550	6.182	3.483	550	18%
Escola F. G. Lorca	2,7	3.388	5.899	3.324	525	19%
CC l'Era	8,4	10.463	18.237	10.912	1.421	19%
Casal Obert Infantil	1,8	2.275	3.958	2.368	309	18%
CC Joana Barcala	3,7	4.563	7.942	4.752	619	22%
C. Avis de Lourdes	0,6	763	1.337	787	102	14%
C. Cultural Marineta	4,1	5.075	8.836	4.634	594	11%
Centre Ocup. El Bosc	10,4	12.988	22.630	11.804	1.538	24%
Casa Abelló	7	8.800	15.325	9.169	1.194	19%
Taller Alborada	9,6	12.038	20.967	11.813	1.534	28%
C. Cívica Can Borrell	8	9.938	17.307	10.292	1.341	24%
Museu Abelló	4,4	5.438	9.474	5.612	730	19%
TOTAL	398	497.500	866.738	500.426	65.337	20,6%

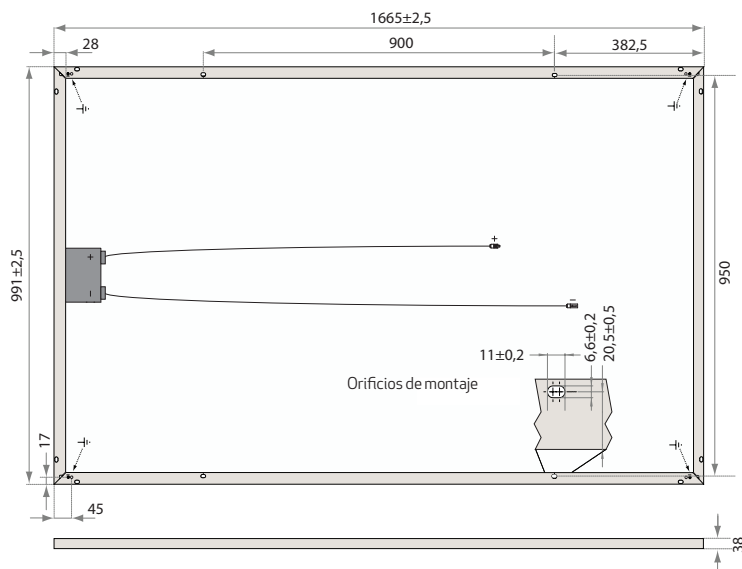
Taula F.1: Taula d'edificis estudiats i resultats per a Mollet del Vallès

Referències

- [1] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2013). *Climate change 2013: The Physical Science Basis* (pàg. 5). Cambridge: IPCC Fifth Assessment Report (Workgroup I). Cambridge: Cambridge University Press.
- [2] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. GODDARD INSTITUTE FOR SPACE STUDIES (2015). *NASA, NOAA Find 2014 Warmest Year in Modern Record*. Recuperat 30 de maig de 2017, de <https://www.giss.nasa.gov/research/news/20150116/>.
- [3] BP (2017). *Statistical Review of World Energy 2017*. Recuperat 2 de juny de 2017, de <http://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>.
- [4] RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY (2016). *Annual Report 2016*. Recuperat 2 de juny de 2017, de <http://www.ren21.net/about-ren21/annual-reports/>.
- [5] RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA. *Coeficientes de pérdidas peninsulares*. Recuperat 4 de juny de 2017, de <http://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/coeficientes-de-perdidas>.
- [6] ESPEJO MARÍN, C. (2004). *La energía solar fotovoltaica en España*. Murcia: Nimbus.
- [7] SANCHO ÁVILA, JM. ET AL. *Atlas de Radiación Solar en España*. Agencia Estatal de Meteorología.
- [8] SOLARGIS. *Solar Resource Map*. Recuperat 10 de juny de 2017 de <http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/overview/>.
- [9] SOLARSUPERSTATE ASSOCIATION. *Annual Report 2015*. Recuperat 10 de juny de 2017, de <https://www.solarsuperstate.org/webroot/index.php/pages/other-13>.
- [10] DEL AMO, J. (2016). *El tiempo de la energía solar fotovoltaica*. Madrid: Unión Española Fotovoltaica.
- [11] SOLAR ENERGY INDUSTRIES ASSOCIATION. *Photovoltaic (Solar Electric)*. Recuperat 20 de juliol de 2017, de <http://www.seia.org/policy/solar-technology/photovoltaic-solar-electric>.

- [12] Espanya. Constitución Española. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de desembre de 1978, núm. 311.
- [13] Espanya. Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del sector eléctrico. *Boletín Oficial del Estado*, 27 de desembre de 2013, núm. 310.
- [14] Espanya. Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo. *Boletín Oficial del Estado*, 10 de octubre de 2015, núm. 243.
- [15] MITJÀ, A. (2001). *Atles de radiació solar a Catalunya*. Barcelona: Institut Català de l'Energia.
- [16] GENERALITAT DE CATALUNYA. *Factor d'emissió associat a l'energia elèctrica: el mix elèctric*. Recuperat 12 de juny de 2017 de http://canviclimatic.gencat.cat/ca/reduceix/_emissions/factors/_demissio/_associats/_a/_lenergia/.
- [17] ASSOCIACIÓ CATALANA DE MUNICIPIS. *Compra agregada d'electricitat*. Recuperat 14 de juny de 2017 de <http://www.acm.cat/compres/electricitat>.
- [18] EUROPEAN TECHNOLOGY & INNOVATION PLATFORMS. SMART NETWORKS FOR ENERGY TRANSITION. *Integrated Roadmap Strategic Energy Technology Plan*. Recuperat 7 de juny de 2017 de <http://www.etip-snet.eu/about/etip-snet/>.

REC PEAK ENERGY SERIES



Dimensiones del módulo en mm.

PARÁMETROS ELÉCTRICOS @ STC	REC235PE	REC240PE	REC245PE	REC250PE	REC255PE	REC260PE
Potencia nominal - P_{MPP} (Wp)	235	240	245	250	255	260
Clasificación de la clase de potencia - (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
Tensión nominal - V_{MPP} (V)	29,5	29,7	30,1	30,2	30,5	30,7
Corriente nominal - I_{MPP} (A)	8,06	8,17	8,23	8,30	8,42	8,50
Tensión a circuito abierto - V_{OC} (V)	36,6	36,8	37,1	37,4	37,6	37,8
Corriente corto circuito - I_{SC} (A)	8,66	8,75	8,80	8,86	8,95	9,01
Eficiencia del módulo (%)	14,2	14,5	14,8	15,1	15,5	15,8

Los datos analizados demuestran que el 99,7% de los módulos tienen una tolerancia de corriente y tensión del $\pm 3\%$ respecto al valor nominal. Valores en condiciones estándares de medida STC (masa de aire AM1,5, irradiancia 1000 W/m², temperatura de la célula 25°C). En bajas radiaciones de 200 W/m² y condiciones STC (1,5 AM y Temperatura de célula de 25°C) es posible obtener, al menos el 97% de la eficiencia.

PARÁMETROS ELÉCTRICOS @ NOCT	REC235PE	REC240PE	REC245PE	REC250PE	REC255PE	REC260PE
Potencia nominal - P_{MPP} (Wp)	179	183	187	189	193	197
Tensión nominal - V_{MPP} (V)	27,5	27,7	28,1	28,3	28,5	29,0
Corriente nominal - I_{MPP} (A)	6,51	6,58	6,64	6,68	6,77	6,81
Tensión a circuito abierto - V_{OC} (V)	34,2	34,4	34,7	35,0	35,3	35,7
Corriente de corto circuito - I_{SC} (A)	6,96	7,03	7,08	7,12	7,21	7,24

Temperatura nominal de la célula (NOCT) 800 W/m², AM 1,5, velocidad del viento 1m/s, temperatura ambiente 20°C.

CERTIFICADOS



IEC 61215 y IEC 61730, IEC 62716 (resistencia al amoníaco) & IEC 61701 (corrosión en presencia de niebla salina - nivel 6).



Miembro del PV Cycle

GARANTÍA

10 años de garantía de producto
25 años de garantía de la potencia nominal lineal
(máxima degradación de rendimiento del 0.7% p.a.)

15,8% EFICIENCIA

10 AÑOS DE GARANTÍA DE PRODUCTO

25 AÑOS DE GARANTÍA DE LA POTENCIA NOMINAL LINEAL

PARÁMETROS TÉRMICOS

Temp. de operación nominal de la célula (NOCT)	45,7°C ($\pm 2^\circ\text{C}$)
Coefficiente de temperatura para P_{MPP}	-0,40%/°C
Coefficiente de temperatura V_{OC}	-0,27%/°C
Coefficiente de temperatura I_{SC}	0,024%/°C

DATOS GENERALES

Tipo de célula:	60 células policristalinas REC PE 3 cadenas de 20 células con diodos de derivación
Cristal:	Vidrio solar de 3,2 mm con tratamiento antirreflectante
Lámina posterior:	Doble capa de poliéster de alta resistencia
Marco:	Aluminio anodizado
Caja de conexiones:	IP 67 Cable solar 4mm ² , 0,90 m + 1,20 m
Conectores:	MC4 (4 mm ²) Conexión MC4 (4 mm ²) Radox de cierre por torsión (4 mm ²)

LÍMITES OPERATIVOS

Margen de temperatura del módulo:	-40 ... +80°C
Voltaje máximo del sistema:	1000V
Máxima carga de nieve:	550 kg/m ² (5400 Pa)
Máxima carga de viento:	244 kg/m ² (2400 Pa)
Capacidad máxima del fusible:	25A
Máxima Corriente Inversa:	25A

DATOS MECÁNICOS

Dimensiones:	1665 x 991 x 38 mm
Área:	1,65 m ²
Peso:	18 kg

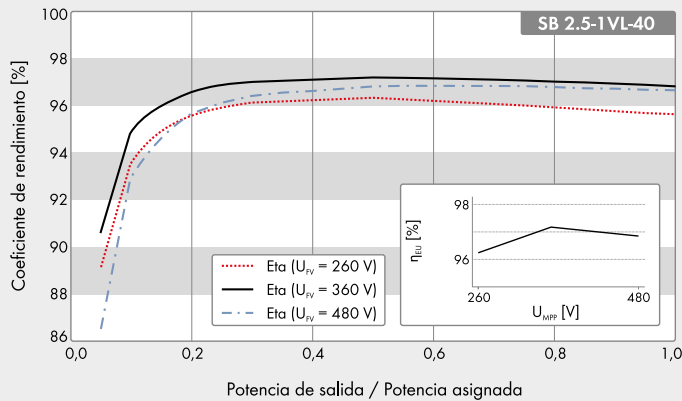
¡Atención! Las especificaciones están sujetas a cambios sin notificación previa.

REC es una empresa líder global que suministra soluciones de electricidad solar. Con casi dos décadas de experiencia, ofrecemos productos renovables de alto rendimiento, servicios y oportunidades de inversión para empresas electrónicas y solares. Junto a nuestros socios creamos valor ofreciendo soluciones que mejor se ajustan a las crecientes necesidades globales de electricidad. Nuestros 2.300 empleados en todo el mundo generaron ingresos por más de 7 mil millones de coronas noruegas en 2012, aproximadamente 1000 millones de Euros o 1.300 mil millones de dólares.



www.recgroup.com

Curva de rendimiento



● De serie ○ Opcional — No disponible
 Datos en condiciones nominales
 Actualizado: marzo 2015

Datos técnicos

Entrada (CC)

Potencia de CC máx. (con $\cos \varphi = 1$)
Tensión de entrada máx.
Rango de tensión del MPP
Tensión asignada de entrada
Tensión de entrada mín./de inicio
Corriente máx. de entrada
Corriente máx. de entrada por string
Número de entradas de MPP independientes/strings por entrada de MPP

Salida (CA)

Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)
Potencia máx. aparente de CA
Tensión nominal de CA
Rango de tensión nominal de CA
Frecuencia de red de CA/rango
Frecuencia/tensión asignadas de red
Corriente máx. de salida
Factor de potencia con potencia asignada
Factor de desfase ajustable
Fases de inyección/conexión

Rendimiento

Rendimiento máx./europeo

Dispositivos de protección

Punto de desconexión en el lado de CC
Monitorización de toma a tierra/de red
Protección contra polarización inversa de CC/resistencia al cortocircuito de CA/con separación galvánica
Unidad de seguimiento de la corriente residual sensible a la corriente universal
Clase de protección (según IEC 62103)/categoría de sobretensión (según IEC 60664-1)
Protección contra corriente inversa

Datos generales

Dimensiones (ancho x alto x fondo)
Peso
Rango de temperatura de servicio
Emisiones de ruido típicas
Autoconsumo nocturno
Topología
Sistema de refrigeración
Tipo de protección (según IEC 60529)
Clase climática (según IEC 60721-3-4)
Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)

Equipamiento

Conexión de CC/CA
Pantalla
Interfaces: RS485, Bluetooth®, Speedwire/Webconnect, WLAN
Servidor web integrado
Garantía: 5/10/15/20/25 años
Certificados y autorizaciones (otros a petición)

Modelo comercial

Sunny Boy 1.5

1 600 W
600 V
160 V – 500 V
360 V
50 V / 80 V
10 A
10 A
1/1

1 500 W
1 500 VA
220 V/230 V/240 V
180 V – 280 V
50 Hz, 60 Hz/-5 Hz ... +5 Hz
50 Hz/230 V
7 A
1
0,8 inductivo ... 0,8 capacitivo
1/1

●
● / ●
● / ● / —
●
I/III
No es necesario.

460/357/122 mm (18,1/14,1/4,8 in)
9,2 kg (20,3 lbs)
-40 °C ... +60 °C (-40 °F ... +140 °F)
<25 dB
2,0 W
Sin transformador
Convección
IP65
4K4H
100%

SUNCLIX/conector
—
— / — / ● / ●
●
● / ○ / ○ / ○ / ○

AS4777.3, C10/11/2012, VDE-AR-N4105, CEI0-21Int, NEN-EN50438, G83/2, EN50438, VFR2014

SB 1.5-1VL-40

Sunny Boy 2.5

2 650 W
600 V
260 V – 500 V
360 V
50 V / 80 V
10 A
10 A
1/1

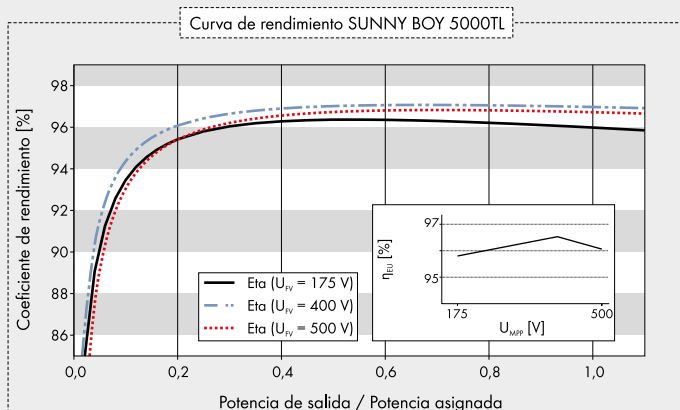
2 500 W
2 500 VA
220 V/230 V/240 V
180 V – 280 V
50 Hz, 60 Hz/-5 Hz ... +5 Hz
50 Hz/230 V
11 A
1
0,8 inductivo ... 0,8 capacitivo
1/1

●
● / ●
● / ● / —
●
I/III
No es necesario.

460/357/122 mm (18,1/14,1/4,8 in)
9,2 kg (20,3 lbs)
-40 °C ... +60 °C (-40 °F ... +140 °F)
<25 dB
2,0 W
Sin transformador
Convección
IP65
4K4H
100%

SUNCLIX/conector
—
— / — / ● / ●
●
● / ○ / ○ / ○ / ○

SB 2.5-1VL-40



Accesorios



Interfaz RS485
DM-485CB-10



Interfaz
Speedwire/Webconnect
SWDM-10



Relé multifunción
MFR01-10



Juego de ventilador
adicional
FANKIT01-10



Power Control Module
PWCMOD-10

¹ No válido para todos los apéndices nacionales de la norma EN 50438

² 4600 VA para VDE-AR-N 4105 ³ 4825 W para VDE-AR-N 4105

⁴ Solo SB 3600TL-21, SB 5000TL-21

Datos técnicos	Sunny Boy 4000TL	Sunny Boy 5000TL
Entrada (CC)		
Potencia máxima de CC (con $\cos \varphi = 1$)	4200 W	5250 W ³
Tensión de entrada máx.	750 V	750 V
Rango de tensión MPP / tensión asignada de entrada	175 V - 500 V / 400 V	175 V - 500 V / 400 V
Tensión de entrada mín. / de inicio	125 V / 150 V	125 V / 150 V
Corriente máx. de entrada (entrada A / B)	15 A / 15 A	15 A / 15 A
Corriente máx. de entrada por string (entrada A / B)	15 A / 15 A	15 A / 15 A
Número de entradas de punto de máxima potencia (MPP) independientes / strings por entrada de punto de máxima potencia (MPP)	2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2
Salida (CA)		
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	4000 W	4600 W
Potencia aparente de CA máxima	4000 VA	5000 VA ²
Tensión nominal de CA / rango	220 V, 230 V, 240 V / 180 V-280 V	220 V, 230 V, 240 V / 180 V-280 V
Frecuencia de red de CA / rango	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz
Frecuencia / tensión asignadas de red	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Corriente máx. de salida	22 A	22 A
Factor de potencia a potencia asignada	1	1
Factor de desfase ajustable	0,8 inductivo ... 0,8 capacitivo	0,8 inductivo ... 0,8 capacitivo
Fases de inyección / conexión	1 / 1	1 / 1
Rendimiento		
Rendimiento máx. / europeo	97 % / 96,4 %	97 % / 96,5 %
Dispositivos de protección		
Punto de desconexión en el lado de entrada	●	●
Monitorización de toma a tierra / de red	● / ●	● / ●
Protección contra polarización inversa (CC) / resistencia al cortocircuito (CA) / con separación galvánica	● / ● / -	● / ● / -
Unidad de seguimiento de la corriente residual sensible a la corriente universal	●	●
Clase de protección (según IEC 62103) / categoría de sobretensión (según IEC 60664-1)	I / III	I / III
Datos generales		
Dimensiones (ancho / alto / fondo)	490 / 519 / 185 mm (19.3 / 20.4 / 7.3 in)	490 / 519 / 185 mm (19.3 / 20.4 / 7.3 in)
Peso	26 kg (57,3 lb)	26 kg (57,3 lb)
Rango de temperatura de servicio	-25 °C...+60 °C (-13 °F...+140 °F)	-25 °C...+60 °C (-13 °F...+140 °F)
Emisiones de ruido, típicas	25 dB(A)	25 dB(A)
Autoconsumo (nocturno)	1 W	1 W
Topología	Sin transformador	Sin transformador
Sistema de refrigeración	Convección	Convección
Tipo de protección (según IEC 60529)	IP65	IP65
Clase climática (según IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)	100 %	100 %
Características		
Conexión de CC / Conexión de CA	SUNCLIX / Borne de conexión por resorte	SUNCLIX / Borne de conexión por resorte
Pantalla	Gráfico	Gráfico
Interfaz: RS485 / Bluetooth® / Speedwire/Webconnect	○ / ● / ○	○ / ● / ○
Relé multifunción / Power Control Module	○ / ○	○ / ○
Garantía: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 años	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Certificados y autorizaciones (otros a petición)	AS 4777, C10/11, CE, CEI 0-21, EN 50438 ¹ , G59/2, G83/1-1, IEC 61727, MEA ⁴ , NRS 097-2-1, PEA ⁴ , PPC, PPDs, RD1699, RD 661, UTE C15-712, VDE-AR-N 4105, VDE0126-1-1	AS 4777, C10/11, CE, CEI 0-21, EN 50438 ¹ , G59/2, G83/1-1, IEC 61727, MEA ⁴ , NRS 097-2-1, PEA ⁴ , PPC, PPDs, RD1699, RD 661, UTE C15-712, VDE-AR-N 4105, VDE0126-1-1
● De serie ○ Opcional — No disponible, Datos en condiciones nominales		
Modelo comercial	SB 4000TL-21	SB 5000TL-21

SUNNY TRIPOWER

5000TL / 6000TL / 7000TL / 8000TL / 9000TL / 10000TL / 12000TL

Datos técnicos	Sunny Tripower 5000TL	Sunny Tripower 6000TL
Entrada (CC)		
Potencia máxima de CC (con $\cos \phi = 1$)	5 100 W	6 125 W
Tensión de entrada máx.	1 000 V	1 000 V
Rango de tensión MPP / tensión asignada de entrada	245 V - 800 V / 580 V	295 V - 800 V / 580 V
Tensión de entrada mín. / de inicio	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Corriente máx. de entrada, entradas: A / B	11 A / 10 A	11 A / 10 A
Corriente máx. de entrada por string, entradas: A / B	11 A / 10 A	11 A / 10 A
Número de entradas de MPP independientes / strings por entrada de MPP	2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2
Salida (CA)		
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	5 000 W	6 000 W
Potencia máx. aparente de CA	5 000 VA	6 000 VA
Tensión nominal de CA	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V
Rango de tensión nominal de CA	160 V - 280 V	160 V - 280 V
Frecuencia de red de CA / rango	50 Hz, 60 Hz/-5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz/-5 Hz ... +5 Hz
Frecuencia / tensión asignada de red	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Corriente máx. de salida	7,3 A	8,7 A
Factor de potencia a potencia asignada	1	1
Factor de desfase ajustable	0,8 inductivo ... 0,8 capacitivo	0,8 inductivo ... 0,8 capacitivo
Fases de inyección / conexión	3 / 3	3 / 3
Rendimiento		
Rendimiento máx. / europeo	98 % / 97,1 %	98 % / 97,4 %
Dispositivos de protección		
Punto de desconexión en el lado de entrada	●	●
Monitorización de toma a tierra / de red	● / ●	● / ●
Protección contra polarización inversa de CC / resistencia al cortocircuito de CA / con separación galvánica	● / ● / -	● / ● / -
Unidad de seguimiento de la corriente residual integrada	●	●
Clase de protección (según IEC 62103) / categoría de sobretensión (según IEC 60664-1)	I / III	I / III
Datos generales		
Dimensiones (ancho / alto / fondo)	470 / 730 / 240 mm (18,5 / 28,7 / 9,5 in)	470 / 730 / 240 mm (18,5 / 28,7 / 9,5 in)
Peso	37 kg (81,6 lb)	37 kg (81,6 lb)
Rango de temperatura de servicio	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)
Emisión sonora, típica	40 dB(A)	40 dB(A)
Autoconsumo nocturno	1 W	1 W
Topología / principio de refrigeración	Sin transformador / OptiCool	Sin transformador / OptiCool
Tipo de protección (según IEC 60529)	IP65	IP65
Clase climática (según IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)	100 %	100 %
Equipamiento		
Conexión de CC / CA	SUNCLIX / Borne de conexión por resorte	SUNCLIX / Borne de conexión por resorte
Pantalla	Gráfico	Gráfico
Interfaces: RS485, Bluetooth, Speedwire / Webconnect	○ / ● / ●	○ / ● / ●
Relé multifunción / Power Control Module	● / ○	● / ○
Garantía: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 años	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Certificados y autorizaciones (otros a petición)	AS 4777, CE, CEI 0-21 ³ , C10/11:2012, DIN EN 62109-1, EN 50438 ¹ , G59/3, G83/2, IEC 61727/MEA ² , IEC 61727/PEA ² , IEC 62109-2, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PPC, PPDS, RD 661/2007, RD 1699:2011, SI 4777, UTE C15-712-1, VDE0126-1-1, VDE AR-N 4105, VFR 2013, VFR 2014	
Modelo comercial	STP 5000TL-20	STP 6000TL-20

TECHNICAL DATA FRONIUS SOLAR BATTERY

/ The Fronius Solar Battery is a perfect example of high-performance lithium iron phosphate technology. A long service life, short charging times and high depth of discharge are therefore guaranteed. The storage capacity of the Fronius Solar Battery can be adapted to meet individual customer needs.



ELECTRICAL PARAMETERS	BATTERY 4.5	BATTERY 6.0	BATTERY 7.5	BATTERY 9.0	BATTERY 10.5	BATTERY 12.0
Nominal capacity	4.5 kWh	6.0 kWh	7.5 kWh	9.0 kWh	10.5 kWh	12.0 kWh
Usable capacity (80% DoD)	3.6 kWh	4.8 kWh	6.0 kWh	7.2 kWh	8.4 kWh	9.6 kWh
Cycle stability (80% DoD)	8,000					
Voltage range	120 - 170 V	160 - 230 V	200 - 290 V	240 - 345 V	280 - 400 V	320 - 460 V
Nominal charging power	2,400 W	3,200 W	4,000 W	4,800 W	5,600 W	6,400 W
Nominal discharge power	2,400 W	3,200 W	4,000 W	4,800 W	5,600 W	6,400 W
Max. charging current	16 A					
Max. discharge current	16 A					

GENERAL DATA	BATTERY 4.5	BATTERY 6.0	BATTERY 7.5	BATTERY 9.0	BATTERY 10.5	BATTERY 12.0
Battery technology	LiFePO4					
Dimensions (height x width x depth)	955 x 570 x 611 mm					
Weight	91 kg	108 kg	125 kg	142 kg	159 kg	176 kg
Degree of protection	IP 20					
Protection class	1					
Installation type	Indoor installation					
Ambient temperature range	5 - 35°C					
Permitted humidity	0 - 100 %					
DC connection technology	Screw terminals 2.5 - 16 mm²					
Certificates and compliance with standards	IEC/EN 62133; EN 61000-6-2:2005, EN 61000-6-3:2007 + A1:2011, EN 62311:2008, FCC Part 15 Subpart B:2012 ClassB, UN 38.3					

INTERFACES	BATTERY 4.5	BATTERY 6.0	BATTERY 7.5	BATTERY 9.0	BATTERY 10.5	BATTERY 12.0
Connection to inverter	Modbus RTU SunSpec (RS485)					

TECHNICAL DATA FRONIUS SMART METER

/ The Fronius Smart Meter is a bidirectional meter which optimises self-consumption and records the household's load curve. In conjunction with the Fronius Solar.web online portal, the Fronius Smart Meter provides a clear overview of a user's own power consumption.



GENERAL DATA	FRONIUS SMART METER
Nominal voltage	400 - 415 V
Max. current	3 x 63 A
Cable cross-section, power path	1 - 16 mm²
Cable cross-section, communication	0.05 - 4 mm²
Installation	DIN rail
Housing (width)	4 modules DIN 43880 (4 pole)
Accuracy class	1
Interface to inverter	Modbus RTU (RS485)
Display	8-digit LCD