



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Els sistemes de generació renovable ara es poden instal·lar i operar de forma compartida entre diversos usuaris. Això implica un dimensionat adequat, així com la consideració detallada d'aspectes tècnics, legals i socials. En el marc d'aquest projecte es realitza un estudi superficial de les diverses configuracions possibles i, amb l'ajuda d'un anàlisi de dades, la tria de l'opció més òptima i el dimensionat adequat.

Estudi d'un sistema d'autoconsum fotovoltaic compartit per 16 habitatges residencials

Marc: Projecte de fi de carrera.

Grau en Enginyeria en Disseny Industrial i
Desenvolupament del Producte, 2020.

Autor: Salvador Cañadell Moragas

AGRAÏMENTS

A la meua família, per seguir amb interès els aprenentatges i descobriments que han marcat el transcurs del treball; i també pel suport que m'han brindat.

A la Núria, per dedicar-me hores de correcció i companyia i per la seva sempre present disposició en ajudar-me en qualsevol dificultat.

A tots els divulgadors i creadors de contingut de les xarxes socials que han fet créixer durant els darrers anys una gran curiositat per descobrir i ser partícip de la transició ecològica. Per ensenyar-me que jo també en puc ser protagonista i per motivar-me constantment.

Als veïns de la plaça, per la seva voluntat de col·laboració i per la seva confiança al cedir-me dades sobre el consum de les seves llars, factures i altra informació personal.

Al David, per haver-me orientat per encarar amb eficiència l'anàlisi de dades.

A l'Álvaro, per haver-me guiat i facilitat un punt de referència per sentir-me segur en el procés, així com les interessants converses sobre el sector i la tecnologia.



ÍNDEX

Agraïments	2
Índex.....	4
Abreviatures i acrònims	8
CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ.....	10
1.1 Abstracte	10
1.2 Motivació del projecte	10
CANVI CLIMÀTIC.....	10
PAÍS PRIVILEGIAT.....	11
LLIBERTAT ENERGÈTICA I INVERSIÓ ECONÒMICA.....	12
1.3 Objectiu, abast	14
CAPÍTOL 2. MARC TEÒRIC. ENERGIA SOLAR I PRODUCCIÓ ELÈCTRICA.....	16
2.1 Producció d'energia elèctrica a partir de la radiació solar.....	16
2.2.1 Radiació solar	16
2.2.2 Geometria solar.....	16
2.2.3 Recorregut de la radiació solar	18
2.2.4 Irradiància en superfícies inclinades	20
2.2.5 Hores de sol pic (H.S.P.).....	21
2.2 La cèl·lula fotovoltaica.....	22
2.2.1 L'efecte fotovoltaic.....	22
2.2.2 Tipus de cèl·lules	23
2.3 El mòdul fotovoltaic	24
2.3.1 Paràmetres característics	25
2.3.2 Corbes característiques.....	25
2.3.3 Efecte de la irradiància i la temperatura sobre el mòdul fotovoltaic	26
2.3.4 MPPT i 'Strings'.....	27
2.3.5 Separació entre files.....	29
2.4 Estructura de suport.....	29
2.5 Sistemes d'autoconsum fotovoltaic.....	30
2.5.1 Sistemes d'autoconsum fotovoltaic connectats a la xarxa	30
2.5.2 Sistemes d'autoconsum fotovoltaic aïllats.....	31
2.6 Inversor	31
2.7 Bateria.....	33
2.8 Connexió a la xarxa, control i regulació	34
CAPÍTOL 3. MARC SOCIAL I LEGAL DE L'AUTOCONSUM FOTOVOLTAIC	36
3.1 Marc social	36

3.1.1 La consciència ecològica.....	36
3.3 Marc legal.....	36
3.3.1 Evolució i antecedents del marc legal a Espanya.....	36
3.3.2 Situació actual a Espanya.....	37
3.3.3 Altres detalls a mencionar sobre la regulació.....	47
3.3.4 Entrevistes realitzades a professionals del sector.....	48
3.3.5 Conclusions sobre l'estat legal de l'autoconsum compartit a l'estat.....	49
CAPÍTOL 4. MEMÒRIA TÈCNICA.....	51
4.1 Descripció.....	51
4.1.1 Ubicació geogràfica.....	52
4.1.2 Clima.....	52
4.1.3 Geometria solar.....	53
4.2 Recull de dades.....	54
4.2.1 Disseny de la geometria.....	54
4.2.2 Recull de dades de consum.....	58
4.2.2 Recull de dades de producció.....	62
4.2.3 Presentació de configuracions tècnicament possibles.....	66
4.2.4 Encaix de les configuracions imaginades en la regulació legal vigent.....	73
4.2.5 Conclusions parcials de l'encaix tècnic i legal.....	78
4.3 Anàlisi i discussió.....	79
4.3.1 Unificació de dades de consum i producció.....	79
4.3.1 Perspectiva social.....	88
4.4 Tria de la configuració òptima.....	88
4.5 Dimensionat, especificació.....	91
4.6 Components de la instal·lació. Característiques tècniques.....	93
4.6.1 Panells fotovoltaics.....	93
4.6.2 Inversor/s.....	93
4.6.3 Estructura de suport.....	94
4.6.4 Cablejat DC.....	94
4.5.6 Cablejat AC.....	95
4.5.5 Proteccions DC.....	96
4.5.7 Proteccions AC.....	97
4.5.8 Sistema de posada a terra.....	97
4.5.9 Esquema unifilar.....	97
CAPÍTOL 5. PRESSUPOST.....	99
5.1 Cost.....	100

CAPÍTOL 7. CONCLUSIONS.....	103
7.1 Resultats.....	103
7.2 Conclusions.....	103
7.3 Futurs treballs	104
CAPÍTOL 8. BIBLIOGRAFIA	107
CAPÍTOL 9. ANNEXOS	109
CAPÍTOL 10. ÍNDEX DE FIGURES	120

ABREVIATURES I ACRÒNIMS

H.S.P: Hora solar pic. Unitat de mesura de radiació que rep una superfície al llarg del dia.

STC: *Standard Conditions*. Condicions estàndard. Condicions estandarditzades a les quals es mesuren els captadors solars per tal de facilitar-ne la comparació.

TONC: Temperatura d'Operació Nominal de la Cèl·lula. Condicions estandarditzades diferents a les STC a les quals es mesuren es captadors solars per facilitar-ne la comparació. Aquestes condicions son més similars a les reals que les STC.

String: Agrupació de panells connectats a un inversor.

MPPT: *Maximum Power Point Tracker*. Tecnologia existent en determinats inversor de fotovoltaica que permet al sistema extreure la major potència disponible a cada instant a l'*string* que té connectada.

Efecte *mismatch*: Efecte de pèrdua de rendiment de les plaques d'una *string* deguda a la diferència de característiques pròpies de la placa o externes.

RD: Reial Decret. Norma jurídica que emana del Govern.

BT: Baixa Tensió. Aquella instal·lació elèctrica que distribueix o genera energia entre els següents paràmetres: Corrent alterna igual o inferior a 1000V o corrent contínua igual o inferior a 1500V.

PVPC: Preu Voluntari al Petit Consumidor: tarifa en la que el preu sobre el consum i la potència elèctrica està fixat pel govern d'Espanya.

FAQs: *Frequently Asked Questions*. Apartat informatiu d'un portal web on es responen dubtes freqüents dels visitants.

CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ

1.1 Abstracte

Exposició dels marcs teòrics, polítics i legals de l'autoconsum a l'estat espanyol. Redacció d'un estudi d'autoconsum compartit basat en un anàlisi de dades exhaustiu de producció i consum, i en una valoració de viabilitat legal i social. Discussió i tria d'una de les diverses opcions basant-se en criteris financers, ecològics i acadèmics. Disseny al detall de l'opció triada considerant amortització i petjada ecològica. Redacció d'un projecte basat en l'opció triada i elaboració d'un pressupost.

1.2 Motivació del projecte

CANVI CLIMÀTIC

L'any 1975, 2 segles després de l'inici de la revolució industrial, el geofísic Estatunidenc Wallace Smith Broecker va encunyar per primera vegada el terme "canvi climàtic". La història considera aquest moment un punt d'inflexió en l'estudi del fenomen. (Julie Ann Wrigley Global Institute of Sustainability, 2016)

Des de gairebé 100 anys abans, múltiples científics com Svante Arrhenius i Arvid Högbom ja havien demostrat l'estreta relació entre el CO₂ atmosfèric i el clima. Degut, però, a la tan baixa producció de CO₂ al 1896, Arrhenius i Högbom van considerar que caldrien milers d'anys per provocar un escalfament. Tot i això, la comunitat científica, en la seva major part, oscil·lava entre el desconeixement i el rebuig a les teories presentades. (Wikipedia, 2020)

Els anys 70 van destacar per l'aparició de nous estudis que lligaven la concentració de CO₂ a l'atmosfera amb l'increment de la temperatura a nivell global. No sense l'aparició de negacionistes, la primera Conferència Mundial sobre el Clima ja va concloure que els efectes de les emissions es poguessin percebre a meitats del segle 20 i ser significatius a meitat del segle 21. (World Climate Conference; 4th session; Declaration of the World Climate Conference, 1979)

Els darrers 50 anys han estat marcats per una creixent ratificació del fenomen per part de la comunitat científica, que ha alertat múltiples vegades del continu creixement de les emissions i dels efectes mediambientals i humans que se'n deriven. Els governs i ens polítics han organitzat cimera anuals a nivell mundial anomenades "Cimeres del clima" amb l'objectiu de crear acords internacionals per reduir les emissions. La comunitat ha fixat amb més o menys èxit objectius de reducció, però els esforços han sigut considerats insuficients de forma reiterada per la comunitat científica, i els objectius repetidament incomplerts pels estats. (Mundo, 2017)

El novembre de 2019, un estudi recent ratificat per 11,000 científics d'arreu del planeta ha alertat "la crisi climàtica ha arribat i s'està accelerant mes de pressa del que la majoria de científics esperaven". (J Ripple, Wolf, Newsome, Bernard, & Moomaw, 2020)

La darrera cimera, celebrada a Madrid a final de 2019, ha finalitzat de nou sense grans èxits, amb acords de mínims sobre els compromisos de la comunitat envers el problema. El secretari general de les Nacions Unides, Antonio Guterres, s'ha mostrat en públic seriosament decepcionat amb els resultats de la conferència, en la que països com Brasil i EEUU han presentat oposició frontal davant de les propostes més ambicioses. (Bayón, 2019)

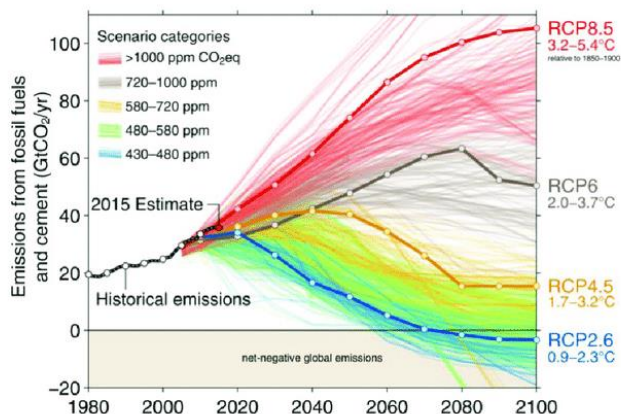


Figura 1: Emissions derivades de combustibles fòssils (Gt CO₂/any) en els escenaris representatius de concentració. Font: CDIAC; Fuss et al. (2014); Global Carbon Budget 2017; Le Quéré et al. (2017).

Les emissions de gasos d'efecte hivernacle son fruit de la crema de combustibles fòssils derivats de múltiples activitats humanes, de les quals se'n destaca la producció elèctrica, el transport, l'agricultura i determinats processos industrials. Tots aquests sectors requereixen una transformació envers una activitat més sostenible. En el transport, l'electrificació dels vehicles ha de jugar un paper molt important en aquesta transformació, substituint les emissions rodades per un origen elèctric de l'energia. Aquesta energia obtinguda de la xarxa pública prové d'una combinació de fonts productives, anomenada "mix energètic". (Anònims, Greenhouse gas, 2020)

PAÍS PRIVILEGIAT

Actualment a l'estat Espanyol, el mix energètic combina de mitjana un 40% d'energia de fonts renovables (Eòlica, Hidràulica, Solar fotovoltaica, Solar tèrmica). El restant prové de fonts no renovables, sent al voltant del 40% de fonts emissores de CO₂. (Red Eléctrica de España, 2019)



Figura 2: Estructura de generació de gener a juny del 2019. Font: Nota de premsa (2019); Red Eléctrica de España.

El sector residencial conforma el 30% del consum elèctric de l'estat. La transformació d'aquest sector cap a un model d'emissió zero es necessària per reconduir la situació de crisi climàtica.

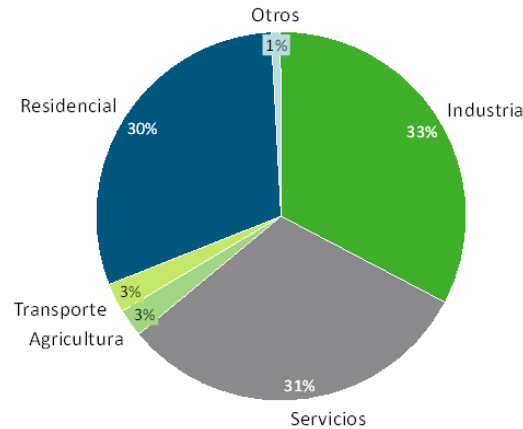


Figura 3: Estructura de consum d'energia elèctrica (GWh) per branques d'activitat (%) l'any 2015. Font: IDAE, Balanços energètics. Elaboració: Energíaysociedad.es.

Espanya destaca per ser un país amb un potencial renovable molt favorable, recolzat per les tres fonts principals d'energia verda disponibles: eòlica, hidràulica i solar. L'obtenció d'energia hidràulica va patir l'expansió al segle XX, aprofitant els millors lleres de la península i convertint-se en la primera gran font d'energia renovable de l'estat. (Endesa, 2020)

L'eòlica i la solar presenten ara la major expectativa d'evolució, amb un important potencial de creixement. La ubicació d'Espanya en latitud es privilegiada, disposant de valors d'insolació elevats durant tot l'any, i de manera especial a les regions sud, on el clima assolellat millora encara més el potencial d'aquesta tecnologia. (Gilpérez, 2020)

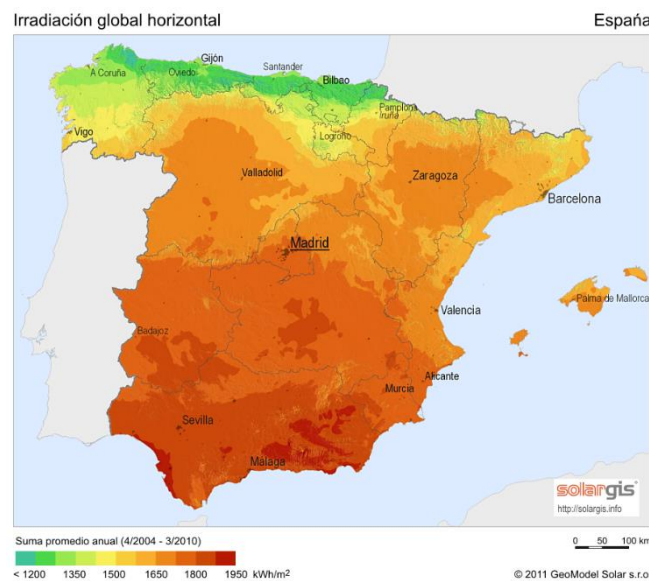


Figura 4: Mapa d'irradiació global horitzontal a Espanya. Font: SolarGis.

De fet, es considera que Espanya serà el segon mercat fotovoltaic d'Europa en els propers 5 anys. (Heggarty, 2019)

LLIBERTAT ENERGÈTICA I INVERSIÓ ECONÒMICA

El preu de l'electricitat a Espanya no ha deixat de créixer des de 2007, i la previsió es que no deixi d'augmentar en els propers anys. La contribució de la factura energètica sobre la pressió fiscal que pateixen els ciutadans de l'estat afecta a la qualitat de vida i a la capacitat d'estalvi d'aquests. (Redacció Crònica Global, 2019)

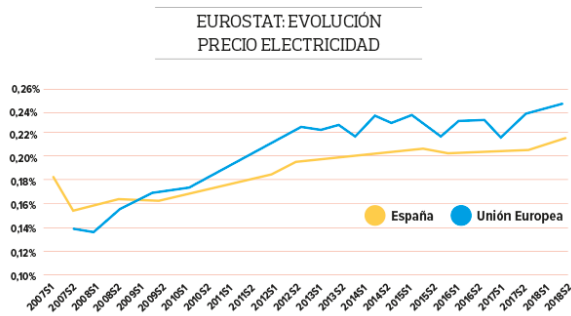


Figura 5: Evolució del preu de l'electricitat a Espanya. Font: Eurostat (2018).

Adicionalment, el sistema energètic espanyol presenta una opacitat envers el consumidor i una gran complexitat en la forma que és facturada. En el nou sistema de tarifa elèctrica el consumidor paga en funció del preu al que cotitza la llum en el moment de consumir-la, un import que canvia cada hora. Un estudi de rastreator.com demostra que 7 de cada 10 espanyols no entén la factura de la llum. A més, un 67% del preu de la factura correspon a impostos i recàrrecs. La complexitat i elevat preu del consum crea un rebuig de la societat envers les elèctriques, així com una percepció d'abús per part de les companyies i l'estat. (Rastreator.com, 2016)

No ho afavoreix l'existència de les anomenades "portes giratòries" entre alts càrrecs polítics i les principals companyies elèctriques, ni l'oligopoli format per 5 úniques companyies que controlen tot el mercat. La reacció resultant del consumidor es un rebuig i desig de desconnectar d'un sistema que es percep injust. (europapress.es, 2012)

L'autoconsum fotovoltaic presenta una fugida d'aquest sistema, facilitant un major control i independència del sistema energètic, així com un estalvi mensual en la factura. El preu de les cel·les fotovoltaïques no ha deixat de baixar i es preveu una continuació d'aquesta tendència gràcies a l'augment de la demanda i les economies d'escala. (ExeoEnergy, 2020)

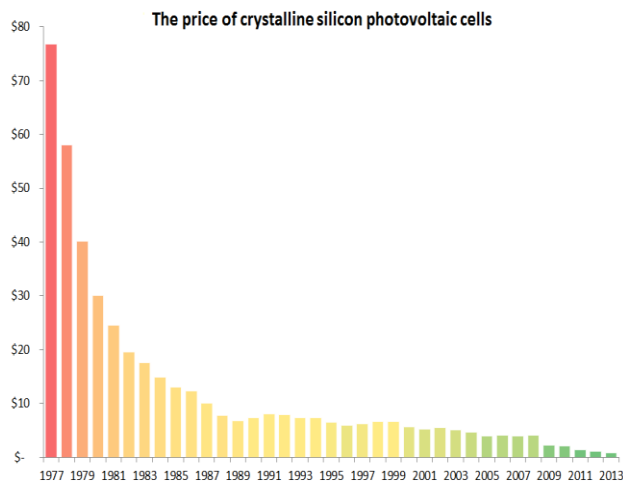


Figura 6: Evolució del preu de les cèl·lules fotovoltaïques. Font: ExeoEnergy

L'amortització d'un sistema fotovoltaic oscil·la a l'actualitat entre els 3 i 10 anys, però no deixa d'escurçar-se a mida que millora la tecnologia i es redueix el preu. L'usuari d'un sistema fotovoltaic pot veure la seva factura no només reduïda, sinó inclús compensada per la pròpia generació. En determinats casos, es fins i tot factible un sistema aïllat de la xarxa, el que permet una total independència del sistema públic. (UOCx, 2011)

1.3 Objectiu, abast

L'objectiu del present treball és estudiar, dimensionar i definir un avantprojecte d'una instal·lació de producció fotovoltaica domèstica pels habitatges de la Plaça dels Quatre Vents d'Ullastrell (08231) amb l'objectiu d'obtenir un sistema que abasteixi d'energia als veïns amb el menor temps d'amortització i la major independència possible de la xarxa.

El procés estarà estructurat en tres fases:

- 1- **EXPOSICIÓ DEL MARC TEÒRIC, LEGAL I POLÍTIC:** recerca de l'estat actual del sector en les vessants tecnològiques, legals i polítiques i exposició de la informació trobada.
- 2- **ESTUDI:** s'analitzaran superficialment les diferents configuracions possibles: major o menor cooperació energètica entre veïns; major o menor grau d'independència envers la xarxa i major o menor període d'amortització.
- 3- **DIMENSIONAT:** es seleccionarà la proposta òptima d'entre les anteriors i es realitzarà un dimensionat exhaustiu del sistema, creant un plec de condicions, un disseny del sistema, una llista de material i un pressupost.

L'abast del projecte és la producció fotovoltaica a la comunitat de 16 cases de la Plaça dels Quatre Vents d'Ullastrell (08231).

CAPÍTOL 2. MARC TEÒRIC. ENERGIA SOLAR I PRODUCCIÓ ELÈCTRICA

2.1 Producció d'energia elèctrica a partir de la radiació solar

2.2.1 Radiació solar

La radiació solar es un conjunt de radiacions electromagnètiques produïdes pel Sol durant el seu procés de fusió. En aquest procés, diversos nuclis atòmics s'uneixen per formar-ne un de més pesat. De forma simultània, s'allibera una quantitat enorme d'energia que s'escapa de l'astre en totes direccions assolint els planetes del sistema solar. Aquesta radiació s'emet en diferents freqüències, de les quals els humans en podem percebre la visible, la llum. En la producció fotovoltaica, la tecnologia de silici permet absorbir energia de gairebé tot l'espectre. Mitjançant la captació de la radiació, és possible generar energia elèctrica pel consum. Aquest us de l'energia solar que anomenem com energia solar fotovoltaica consisteix en la captació i absorció dels fotons provinents del Sol i la seva conversió en electricitat. (UOCx, 2011)

2.2.2 Geometria solar

La radiació solar, en la seva fugida del Sol en totes direccions, traça una recta radial que es veu interferida pel pas del planeta Terra en el seu recorregut al voltant de l'estrella. Aquesta radiació incideix sobre la superfície del planeta en la seva meitat il·luminada (dia).

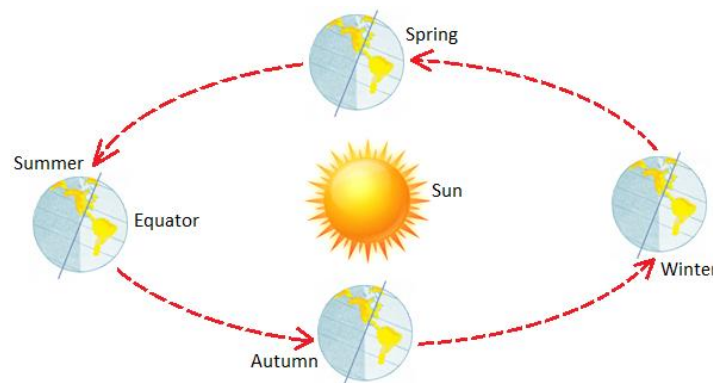


Figura 7: Efecte del recorregut del planeta al voltant del Sol sobre la incidència dels raigs sobre la superfície. Font: First-Learn.com

Des de la perspectiva d'una persona que es troba en un punt de la superfície terrestre, aquesta radiació arriba des de l'esfera celeste i incideix sobre el sòl amb un angle respecte el terra i orientació cardinal. Es senzill observar aquests dos paràmetres estudiant les ombres que generen els objectes sobre un terra pla. (UOCx, 2011)

Com que el planeta es troba en constant rotació, podem observar el Sol en diferents punts de l'esfera celeste al llarg del dia. Aquest moviment genera els diferents moments del dia: alba, matí, migdia, tarda i posta, així com la nit. Al llarg del dia, tant l'angle com l'orientació no deixen de variar, traçant el recorregut solar. La translació de la terra al voltant del Sol provoca les estacions. La translació de la terra al voltant del Sol durant un any modifica el recorregut del sol pel cel.

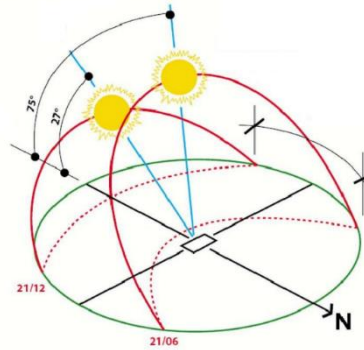


Figura 8: Recorregut del Sol en dos dies d'estacions diferents vist des de la superfície. Font: Wikipedia.

La figura 8 mostra el recorregut del sol al llarg del dia (vermell) en dos dies concrets de l'any. Aquesta representació correspon a un punt imaginari de l'hemisferi nord¹. Durant l'hivern, el recorregut del Sol es mes baix i durant l'estiu mes alt. El Zenit², però, sempre el trobem a les 12h solars.

¹ A l'hemisferi sud, aquesta orientació es veu en direcció Nord. S'inverteixen els punts cardinals de mesura.

² Zenit: punt més alt del recorregut solar del dia.

La figura 9 mostra la posició del Sol respecte l'observador en un moment instantani del dia. En el gràfic apareixen representats els dos paràmetres que mesuren aquesta posició. Aquests dos paràmetres es mesuren com angles i s'anomenen Altitud i Azimut.

- **Altitud:** es l'angle entre el pla horitzontal de l'horitzó (terra pla) i el Sol, mesurat sobre un pla perpendicular a l'horitzó.
- **Azimut³:** es l'angle entre la projecció vertical del Sol sobre el pla horitzontal i el sud. L'Azimut creix d'est a oest, sent 0° en el Zenit (moment de major altitud del sol). Per tant durant el matí l'Azimut presenta valors negatius que s'apropen al 0, al migdia es troba en el zero, i al llarg de la tarda creix en els valors positius.

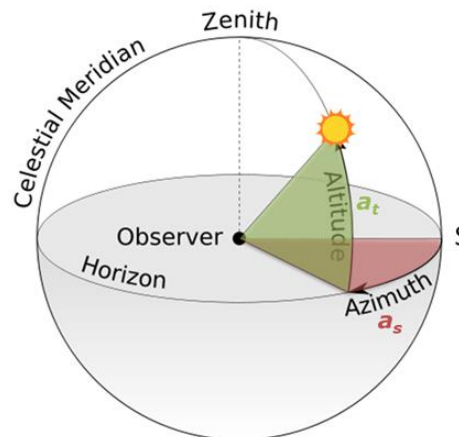


Figura 9: Representació dels angles de mesura de la ubicació del Sol en un instant del dia. Font: eGFI.

2.2.3 Recorregut de la radiació solar

El Sol genera una radiació constant en forma de fotons. La radiació solar s'escapa de l'estrella i recorre el buit traçant línies rectes en totes les direccions. La major part de la radiació emesa pel Sol es perd en el buit, però una petita part es creua amb el recorregut de la Terra. L'energia que arriba a l'exterior de l'Atmosfera s'anomena Constant Solar i té un valor gairebé constant de 1361W/m² segons la NASA). (NASA, 2019)

Ara bé, no tota la radiació que arriba a la superfície de l'Atmosfera creua fins la superfície de la Terra. L'Atmosfera constitueix un filtre molt important pels raigs solars, degut als gasos que la conformen. El vapor d'aigua, en forma de núvols, així com els altres gasos existents juguen un paper molt important absorbint i reflectint una part important de l'energia.

S'anomena radiació solar pic la radiació que arriba en unes condicions òptimes en un dia perfectament clar i amb els raigs del Sol caient de forma perpendicular (Altitud 90°, Azimut 0°) i té un valor mitjà estandarditzat de 1000W/m². (UOCx, 2011)

³ Azimut: la descripció fa referència al sistema de coordenades utilitzat més àmpliament als països europeus i major part del món. A l'entorn NAFTA (Canadà, EUA) es mesura fixant el 0 a l'oest, el 90° al sud i el 180° a l'Est.

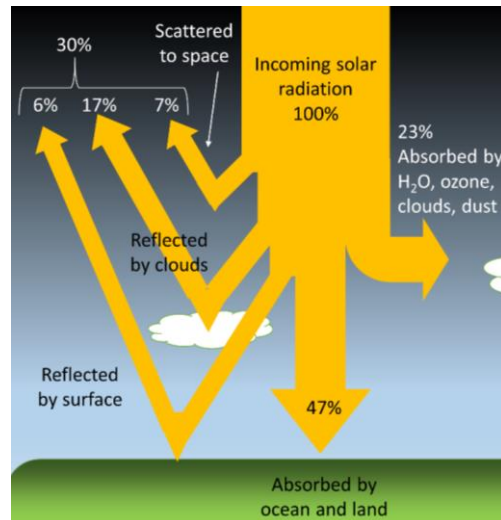


Figura 10: Recorregut i pèrdues de la radiació al seu pas per l'atmosfera. Font: BBC News

En un dia ennuvolat, el vapor d'aigua absorbeix un percentatge molt més gran de l'energia. Aquest es el principal factor que influeix en la quantitat de radiació que arriba al sòl.

El segon factor és l'angle d'incidència d'aquesta radiació. Quan el sol està inclinat, la radiació ha de creuar una distància més gran de l'atmosfera per arribar al terra, pel que una part més important de l'energia es veu dissipada.

La major part de la radiació que arriba al terra prové de forma directa del Sol. Però hi ha una part que no. En funció de com arriba la radiació a la superfície de la terra, distingim tres components de la radiació:

Directa: Es la rebuda del Sol sense haver estat desviada per l'atmosfera.

Difusa: Es la que ha patit canvis en la seva direcció degut a la reflexió i difusió⁴ provocades per l'atmosfera.

Reflectida o Albedo: es la radiació directa i difusa que ha rebotat en d'altres superfícies del sòl o altres superfícies properes.

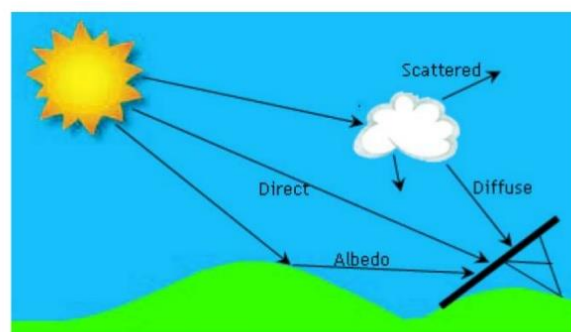


Figura 11: Possibles recorreguts de la radiació solar fins la superfície. Font: Raj, S. Principles of solar energy.

⁴ Reflexió i difusió: efectes físics que modifiquen la direcció i el sentit de la llum.

2.2.4 Irradiància en superfícies inclinades

Un captador solar es una superfície plana sobre la que incideixen els raigs solars generant energia elèctrica. L'angle amb que els raigs incideixen sobre la superfície del captador és un factor clau per l'aprofitament de l'energia.

La intensitat de la llum del Sol que arriba a la superfície terrestre (irradiància) disminueix quan el sol s'allunya de la posició vertical (zenit). Això succeeix per dos motius:

- **Variació de l'extensió per àrea irradiada:** a mida que el Sol s'allunya del zenit, els rajos solars es projecten sobre el pla sobre una superfície major, mentre que el flux d'energia es manté constant. Per tant és necessària una major superfície per captar la mateixa quantitat d'energia. (Instituto de tecnologías educativas, 2017)

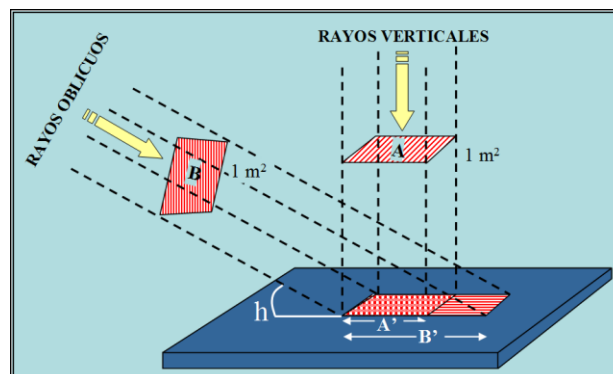


Figura 12: Efecte de l'angle d'incidència dels raigs solars sobre la irradiància. Font: Instituto de tecnologías educativas.

- **Longitud del camí recorregut:** la longitud de camí que recorre el raig solar augmenta a mesura que es redueix l'alçada solar, i per tant ha de creuar un gruix superior de l'atmosfera, reflectint-se una major part de l'energia.

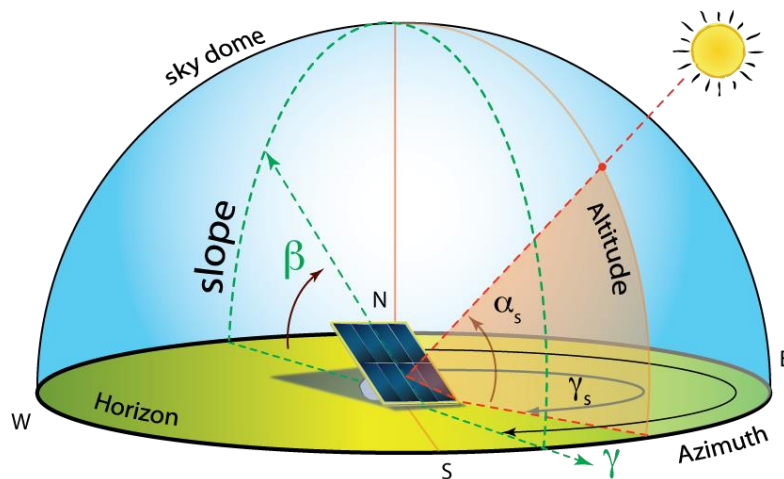


Figura 13: Angles de mesura de l'angle d'incidència i inclinació solar. Font: ResearchGate

Aquest factor té un pes tal que existeixen captadors solars capaços de seguir el recorregut del Sol al llarg del dia, assegurant la incidència perpendicular durant totes les hores del dia. En la majoria d'instal·lacions, però, la posició dels captadors és fixa i per tant, l'angle d'incidència del Sol varia al llarg del dia. Això suposa una variació en la capacitat de captació del panell, que perd rendiment com més inclinat es troba el Sol.

Aquesta es la raó per la que l'estudi de la geometria solar és de gran importància en el disseny d'una instal·lació fotovoltaica. L'orientació dels captadors és òptima quan l'angle d'incidència sigui el més normal possible al llarg de tot el recorregut solar. En la major part de les instal·lacions, es busca una màxima productivitat durant tot l'any, mentre que en d'altres es tracta de maximitzar en temporades concretes, com l'hivern i l'estiu. Degut a que el recorregut solar és diferent al llarg de les temporades, un cop més, la inclinació dels captadors juga paper estratègic sobre en quin moment del dia i de l'any es busca una major productivitat. (UOCx, 2011)

2.2.5 Hores de sol pic (H.S.P.)

Com que el Sol varia la seva orientació al llarg del dia, la irradiància sobre una superfície fixa va variant constantment al llarg de tot el dia, i traça un gràfic en forma de campana de Gauss.

La figura 14 mostra un gràfic que representa la potència produïda per una instal·lació fixa al llarg d'un dia. La sortida del sol es troba a les 9.00h i la posta a les 22.30h. El punt de màxima producció d'aquesta instal·lació es troba a les 16h i no a les 12h. En ocasions, el migdia o Zenit solar no es dona alhora que el migdia horari. Això pot ser degut al canvi horari, fus horari o a que l'orientació del captador afavoreix la captació a una hora diferent.



Figura 14: Corba de producció tipus. Font: Wikipedia.

Aquesta corba s'obté a partir de les dades de producció d'una instal·lació, tot i que es pot estimar a partir de càlculs teòrics desenvolupats per la comunitat científica.

En un dia perfectament assolellat i sense ombres, la corba traça la campana perfectament llisa. L'aparició de núvols deforma la gràfica i en redueix la producció durant moments concrets en que els núvols provoquen les ombres.

Determinats obstacles fixes com vegetació i elements constructius poden traçar ombres sobre les plaques. En aquests casos la gràfica obtinguda es veu deformatada durant un període sostingut de temps que correspon a l'aparició de l'ombra sobre el captador. En aquest cas, la pèrdua de producció apareix repetidament al llarg dels dies, deformant de forma igual la campana de producció.

Aquesta corba també ens aporta més dades:

- Hora d'inici i fi de la producció solar.
- Potència màxima en el Zenit.
- Producció al llarg d'un dia (superfície per sota la corba).

La producció total d'un dia es la dada més important que aporta aquesta corba.

Per facilitar la comparació i el tractament d'aquesta dada, la comunitat ha creat l'Hora Solar Pic. L'HSP es una unitat de mesura imaginària que representa les hores durant les quals el Sol hauria d'estar brillant al seu màxim (radiació solar pic, 1000W/m²) per acumular la mateixa radiació que s'ha obtingut durant un dia. Aquesta unitat es mesura en hores. És un equivalent imaginari que serveix per simplificar la irradiància al llarg d'un dia.

Les hores de sol pic també s'anomenen Insolació solar diària mitjana, i mesura la radiació solar que una ubicació i orientació particular rebria si el sol estigués brillant en el seu valor màxim (1000W/m²) durant un cert nombre d'hores. Com mes HSP tingui una ubicació major serà la producció energètica al llarg del dia.

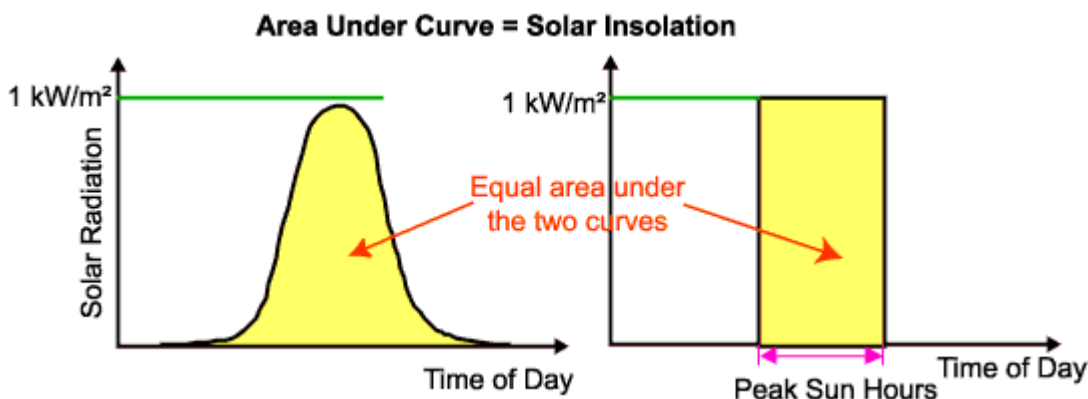


Figura 15: Equivalència d'una corba de producció real amb la seva equivalent imaginària en forma d'HSP. Font: Mohd Shawal Jadin Faculty of Electrical & Electronic Engineering.

Aquest valor ens serveix per comparar diferents emplaçaments i orientacions, així com per simplificar la producció diària en un únic valor.

2.2 La cèl·lula fotovoltaica

Una cèl·lula fotovoltaica es un component electrònic que converteix la radiació solar incident (fotons) en energia elèctrica (electrons). En el moment que aquests electrons son captats, es produeix una flux elèctric que pot ser utilitzat. El tipus de corrent elèctrica que genera es corrent contínua.



Figura 16: Cèl·lula fotovoltaica. Font: Wikipedia.

2.2.1 L'efecte fotovoltaic

L'efecte fotovoltaic es el procés físic pel qual la llum es converteix en electricitat mitjançant les cèl·lules fotovoltaiques. Els materials semiconductors, com el silici, tenen la particularitat de comportar-se de forma diferent depenent de si es troba excitat per una font d'energia externa o no.

L'efecte es produeix quan l'energia aportada per la radiació solar excita l'electró de la capa de valència del Silici, fent que l'electró s'escapi de l'atracció magnètica del nucli i quedant lliure de l'àtom. Aquest moviment deixa espais buits en els àtoms que poden ser ocupats per d'altres electrons lliures. Aquest moviment provoca el corrent elèctric que circula pels borns de la cèl·lula. (UOCx, 2011)

2.2.2 Tipus de cèl·lules

Existeixen tres tipus principals de cèl·lules fotovoltaïques, que es diferencien segons com s'ha disposat la seva estructura cristal·lina durant la fabricació:

- **Cèl·lula monocristal·lina:** el Silici s'ha disposat creixent com un sol cristall, amb les estructures orientades uniformement al llarg de tota la peça. Tenen els extrems arrodonits degut al seu procés de fabricació, en el qual el cristall es deixa créixer al llarg d'un cilindre que és tallat a rodanxes i d'aquestes se tallen els quatre costats. També presenten un aspecte més fosc. Son més cares i més eficients (rendiment de fins a un 20%), i mostren una millor eficiència en condicions de poca llum.



Figura 17: Cèl·lula monocristal·lina. Font: Wikipedia.

- **Cèl·lula policristal·lina:** la disposició del Silici no es controla, pel que creix de forma desordenada en un procés de fusió, formant múltiples cristalls orientats en totes direccions. Tenen forma perfectament quadrada pel procés d'emmotllament en la seva fabricació. Son més barates i menys eficients (rendiment de fins a un 16%).



Figura 18: Cèl·lula policristal·lina. Font: Wikipedia.

- **Cèl·lula amorfa o "film":** en aquestes es diposita el material a capes mitjançant una dispersió del producte. Els cristalls resultants no son visibles a simple vista, i per tant presenta un aspecte uniforme. Tenen un rendiment molt baix (al voltant del 8%) i son molt econòmiques de fabricar. Les seves aplicacions principals son pel funcionament de petits dispositius electrònics de molt baix consum, com les calculadores.

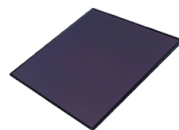


Figura 19: Cèl·lula amorfa. Font: Wikipedia.

2.3 El mòdul fotovoltaic

Els mòduls fotovoltaics, anomenats de manera comú, panells solars, estan formats per agrupacions de cèl·lules fotovoltaiques agrupades en un únic marc, i conformen la unitat bàsica de producció energètica pel consum domèstic o industrial. Existeixen en el mercat infinitat de famílies i tipus de mòduls, amb múltiples configuracions i tecnologies. Es poden classificar en diversos grups:

Classificació segons tecnologia (tipus de cèl·lula):

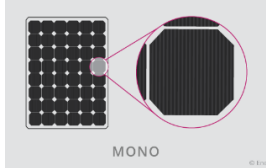
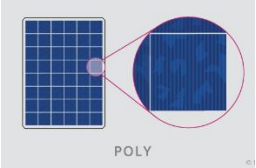
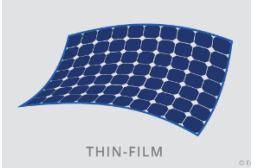



Tecnologia	Monocrystalins	Policristalins	Film
Avantatges	Estètic Rendiment	Econòmic	Portable i flexible Lleuger Estètic
Desavantatges	Cost	Rendiment	Rendiment
Fabricació	Cristall pur de Silici en forma de barra es talla a llesques i s'eliminen 4 costats per formar un quadrat.	Es fonen fragments de cristalls de Silici i s'uneixen entre si en un motlle que es talla en rectangles.	Fabricació en altres materials. Unió de diverses capes de materials semiconductors en forma de pel·lícula.
Aspecte	 MONO	 POLY	 THIN-FILM
Eficiència	~ 20 %	~ 16 %	~ 11 %
Instal·lacions òptimes	Poca superfície disponible Clima nuvolós	Superfície disponible Instal·lacions extensives Clima calorós	Integració de disseny
Cas òptim	 MONO	 POLY	 THIN-FILM

Figura 20: Taula-resum classificació de mòduls fotovoltaics segons diferents paràmetres. Font: elaboració pròpia.

Classificació segons nombre de cel·les:

Número de cèl·lules	Potència nominal màxima	Mida aproximada
60	~ 280W	1,6m x 1m
72	~ 300W	2m x 1m

Figura 21: Taula-resum classificació de mòduls fotovoltaics segons nombre de cèl·lules. Font: elaboració pròpia.

Classificació segons forma constructiva:

- **Tradicional:** cèl·lules quadrades disposades en panell i connectades entre si.
- **Cèl·lula partida:** cèl·lules disposades en un panell però partides per la meitat. Es tracta d'una tecnologia que augmenta la eficiència del panell. Determinades configuracions eviten l'anul·lació completa de la placa en cas d'aparició d'ombres parcials.

- **PERC o Bifacials:** aquesta tecnologia permet capturar la llum des d'ambdós costats, produint més electricitat per mateixa superfície que els panells tradicionals. Aquests panells tenen una capa transparent que permet a la llum creuar, reflectir-se i tornar a incidir sobre el silici. (UOCx, 2011)

Cal tenir present que les classificacions i famílies mostrades en aquest treball son una generalització de l'univers de captadors disponibles al mercat. Per simplificar l'apartat, es resumeixen les opcions disponibles en aquells models més àmpliament estudiats i comercialitzats. En el moment de la redacció del treball l'industria es troba en un canvi constant, amb aparició de noves tecnologies, sistemes en fase de desenvolupament i un enorme ventall d'opcions, fabricants i configuracions possibles que no es mencionen.

2.3.1 Paràmetres característics

Quan veiem la fitxa tècnica d'un panell fotovoltaic podem identificar diversos paràmetres específics que es repeteixen en tots els models i fabricants. Aquests paràmetres poden ser elèctrics i mecànics. Aquests paràmetres venen mesurats pels fabricants en condicions estàndard (STC)⁵: irradiància de 1000W/m², temperatura de 25°C i una distribució espectral d'AM 1,5g.

Intensitat de curtcircuit (I_{cc} o I_{sc}): es aquella que es produeix amb una tensió de 0V, es a dir, connectant els dos borns el panell sense cap resistència. Es pot mesurar amb un amperímetre. Les seves condicions depenen de les característiques atmosfèriques.

Tensió de circuit obert (V_{ca} o V_{oc}): es la tensió màxima del panell, que es pot mesurar tenint els borns del panell sense connectar, connectant un voltímetre. El seu valor varia en funció de les característiques atmosfèriques.

Potència màxima (P_{max}): mesurada en Watts Pic (Wp) es la potència màxima que pot subministrar el panell. És el punt de major valor en el producte de la intensitat i voltatge.

Corrent en el punt de màxima potència (I_{mp}): es la corrent produïda en el punt de P_{max}.

Voltatge en el punt de màxima potència (V_{mp}): es la tensió produïda en el punt de P_{max}.

Eficiència (%) (η): aquest paràmetre defineix l'eficàcia de conversió. La quantitat de potència en forma de radiació incident que és capaç de convertir en energia elèctrica.

$$\eta = \frac{Wp}{Wr *}$$

*Wr és la potència de radiació incident sobre el panell solar.

Tolerància (%): marge d'error acceptat en els valors de potència màxima degut a les petites variacions naturals derivades del procés de fabricació del panell.

TONC (°C): temperatura nominal d'operació de la cèl·lula en unes condicions d'irradiació de 800W/m², temperatura ambient de 20°C, velocitat del vent de 20°C, i una distribució espectral AM 1,5. Aquest valor varia segons l'estructura constructiva del panell.

2.3.2 Corbes característiques

Els valors característics dels panells també es presenten en forma de gràfiques, que ajuden a facilitar la comprensió i comparació dels panells així com aportar una informació més amplia:

⁵ Condicions estàndard (STC): *Standard Conditions*. Condicions estàndard. Condicions estandarditzades a les quals es mesuren els captadors solars per tal de facilitar-ne la comparació.

Corba Intensitat-Voltatge: mostra la Intensitat de sortida en funció del voltatge de sortida del panell en unes condicions STC. A la figura 22 es representa de color verd. Un comportament comú en totes les plaques és que la intensitat cau a mida que s'augmenta la tensió entre els borns. Com que la potència és el producte $I \times V^6$, el punt on exprimirem la major Potència del panell serà aquell en el que el producte sigui més elevat. Aquest punt es troba sempre a la punta prèvia a la caiguda de la corba. En aquesta corba també es pot identificar la I_{sc} allà on la corba interseca amb l'eix vertical, i la V_{oc} en el punt on interseca amb l'horitzontal. (UOCx, 2011)

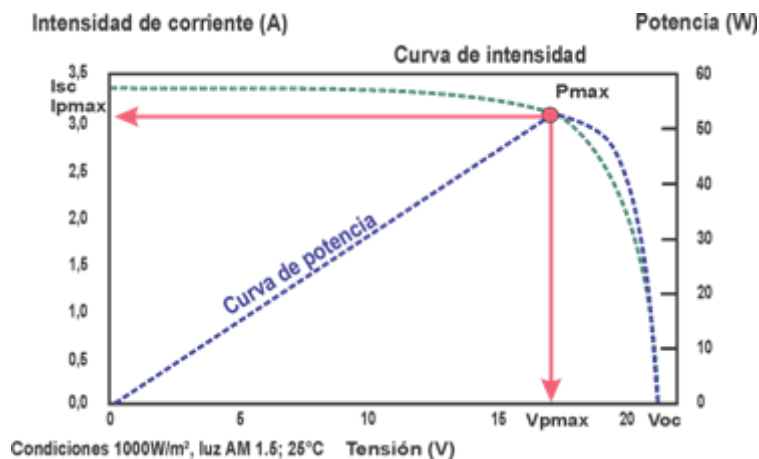


Figura 22: Corba I-V tipus. Font: Tecnoslab.

Corba Potència-Voltatge: mostra la potència de sortida en funció del voltatge en unes condicions STC. A la figura es representa de color blau. Aquesta corba ens mostra el punt de major rendiment, és a dir el P_{max} , el punt més elevat de la corba.

Aquestes dues corbes ens serveixen per identificar quin és el punt òptim al que ens interessa que el panell treballi, extraient-ne el màxim rendiment. Quan un panell es connecta a una càrrega, és aquesta la que defineix la tensió de treball, i aquesta pot caure en un punt més o menys òptim de la corba. Actualment, però, existeixen uns reguladors anomenats MPPT que són capaços de fer treballar els panells al punt P_{max} de forma constant, independentment de la càrrega que s'hi connecti.

Aquestes corbes es poden mostrar a vegades apilades en funció de la potència nominal del panell, o en funció de la temperatura de treball, que són dos factors que afecten a la forma de la corba:

2.3.3 Efecte de la irradiància i la temperatura sobre el mòdul fotovoltaic

Com s'ha mencionat anteriorment, els mòduls fotovoltaics són sensibles a la temperatura, i perden rendiment quan la seva temperatura augmenta. Les corbes I-V comparades per temperatura ens orienten sobre el comportament del panell a diferents temperatures, però els fabricants també ens faciliten dades més detallades sobre aquest comportament:

Coefficient de Temperatura: mostra la variació percentual de P_{max} , I_{sc} i V_{oc} en funció de l'increment de temperatura en $^{\circ}C$ partint de la T_{ONC} ⁷.

Cal mencionar que els mòduls monocristal·lins són millors per climes més freds i nuvolosos pel seu major rendiment amb poca llum. Els policristal·lins són recomanables per climes més calents on el seu color més clar evita que s'escalfin més.

⁶ Producte $I \times V$: Fórmula de la potència de la llei de Watt: Potència (W) = Intensitat (A) x Voltatge (V).

⁷ T_{ONC} :

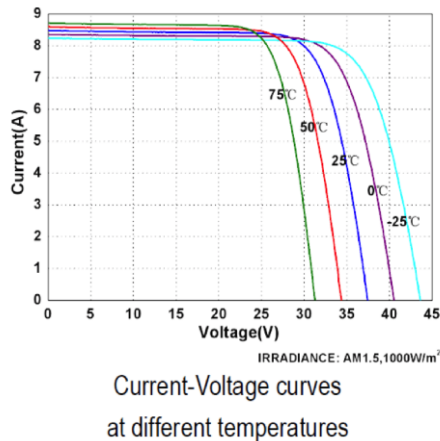


Figura 23: Corbes I-V representades comparativament sota diferents temperatures. Font: UOCx, conceptos básicos de energia solar fotovoltaica.

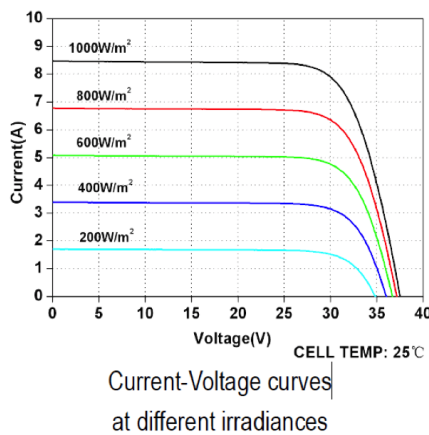


Figura 24: Corbes I-V representades comparativament davant de diferents nivells de radiació. Font: Tecnoslab.

2.3.4 MPPT i 'Strings'

Les corbes característiques dels panells fotovoltaics son de gran importància per entendre el comportament d'aquests sota diferents càrregues. Ara bé, les corbes que els fabricants presenten son representatives d'unes condicions STC, rarament assolibles a la pràctica. L'angle d'incidència dels raigs solars, l'aparició d'ombres, brutícia o l'envelliment del panell fan que la corba real d'un panell variï constantment. En conseqüència, el punt de màxima potència també varia.

La sigla MPPT ve de l'anglès "Maximum Power Point Tracker", i és una tecnologia que s'incorpora a la majoria d'inversors. Aquesta tecnologia permet que l'inversor extregui l'energia del panell sempre en el punt de màxima potència.

Quan una instal·lació, però, requereix més d'un panell per assolir la potència desitjada, sovint s'han d'interconnectar els panells entre si creant agrupacions que finalment alimenten a un inversor. Aquestes agrupacions poden ser en sèrie, en paral·lel, o en combinació d'ambdós. Les característiques son:

Agrupacions de panells en sèrie "strings":

- La tensió total de l'*string* és la suma de les tensions dels panells.

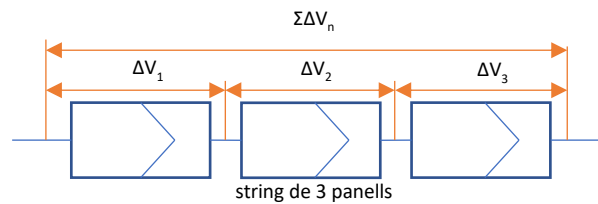


Figura 25: Representació d'una string formada per 3 panells. Càlcul de la diferència de potencial de l'string. Font: elaboració pròpia.

- La intensitat de corrent total serà la del panell que menys intensitat aporti.

Les agrupacions de panells en sèrie es poden simplificar a nivell de càlcul com si fossin un sòl panell amb les característiques mencionades del grup.

Agrupacions de panells o strings en paral·lel:

- La intensitat total del grup serà la suma de les intensitats.
- La tensió total del grup serà la del panell que menys tensió aporti.

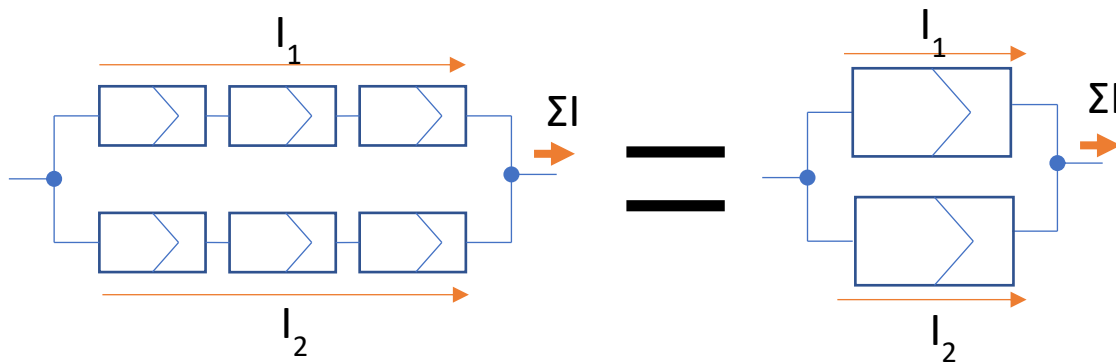


Figura 26: Representació de dues strings connectades en paral·lel. Càlcul de la intensitat resultant. Font: elaboració pròpia.

Pel que fa a les corbes de IV, l'agrupació de panells genera la seva pròpia corba. Quan aquesta agrupació es connecta a un port MPPT d'un inversor, aquest intenta extreure el màxim de potencia fruit d'aquella combinació.

L'efecte *mismatch* és aquell en el que els panells fotovoltaics d'una instal·lació no tenen unes característiques idèntiques. Durant la fabricació, cada panell es lleugerament diferent als altres. Tot i ser mínim, dos panells nous i iguals tenen un petit *mismatch*. Ara bé, aquesta variació es pot accentuar degut a l'envelliment i l'aparició de brutícia o ombres sobre determinats panells. Com que els panells amb menor potència condicionen el funcionament de tota la seva string, és important intentar reduir al mínim l'efecte *mismatch* entre panells de la mateixa cadena. És per això que, quan una instal·lació té panells ubicats en orientacions diferents, és important agrupar strings de panells ubicats en la mateixa orientació, de manera que uns panells que produeixen menys no limitin la producció dels que tenen més potencial.

En les agrupacions de panells en paral·lel, és important que les diverses strings tinguin un potencial similar, ja que del contrari, es poden danyar els panells. És per això que diverses cadenes connectades en paral·lel sempre han de tenir el mateix nombre de panells.

El dimensionat dels *strings* també va lligat a les característiques de l'inversor, ja que aquest té un valor màxim d'intensitat i corrent d'entrada. Amb més panells a cada *string* s'augmenta el potencial al que poden alimentar els panells, i amb l'agrupació d'*strings* en paral·lel s'augmenta la intensitat. És important dimensionar tenint en compte que no es superin els valors màxims de l'inversor.

A nivell pràctic, totes aquestes consideracions s'acostumen a simplificar amb una sèrie de recomanacions de disseny que, en cas de ser respectades, redueixen el risc de pèrdues de rendiment:

- Utilitzar per cada *string* panells de mateixa marca, model i any de fabricació.
- Dissenyar tants *strings* com MPPTs tingui l'inversor.
- No combinar en un mateix *string* panells amb diferents orientacions.

(UOCx, 2011)

2.3.5 Separació entre files

En gran part de les instal·lacions, els conjunts de captadors solars s'ubiquen en files per facilitar i ordenar la seva instal·lació, així com per aprofitar l'espai arquitectònic, sovint geomètric. Aquestes files al mateix temps s'inclinen per maximitzar el rendiment. Això genera ombres que cal controlar, per evitar que aquestes tapin la producció d'altres files. En superfícies planes, aquest càlcul es pot realitzar manualment amb càlculs trigonomètrics bàsics.

Sobre teulades inclinades de caire residencial habitualment els panells es col·loquen paral·lels a la teulada, ja que preval l'estètica de la instal·lació per davant de la optimització del rendiment.

2.4 Estructura de suport

Els panells solars requereixen d'un sistema de muntatge i fixació per tal de ser instal·lats amb fermesa i seguretat sobre la superfície desitjada. Les estructures de suport són conjunts mecànics i es poden trobar al mercat múltiples sistemes adaptats a cada necessitat.

Els sistemes més habituals són:

Seguidors solars: aquestes estructures estan formades per un fonament de formigó, una columna i una estructura plana per múltiples panells. A més, incorpora un sistema motoritzat que orienta els panells al llarg de dia per aconseguir que la incidència dels raigs sigui el més favorable possible. Són sistemes molt sofisticats que s'instal·len en plantes de producció solar, on l'objectiu és la producció d'energia per vendre al mercat.

Estructura solar elevada: consisteix en una estructura fixa per múltiples panells que s'instal·len a una certa alçada. S'utilitzen per alliberar un espai de pas o per esquivar ombres formades per altres elements. Solen tenir un cost elevat ja que són estructures resistents a ventades.

Estructura solar per terra: són estructures solars d'alumini que permeten instal·lar files de plaques. Aquestes estructures no aixequen la placa del terra però sí que permeten ajustar la inclinació de la placa. Són econòmiques i s'utilitzen àmpliament sobre grans superfícies planes com sostres d'edificis industrials.

Estructura solar per teulada inclinada: són estructures solars d'alumini que permeten instal·lar files de plaques. La seva peculiaritat és que la placa queda muntada paral·lela a la superfície i per tant la inclinació i orientació venen donades pel pendent de la teulada. Aporten un aspecte més discret i estètic ja que s'integren millor a la forma de l'edifici. Aquestes estructures es poden trobar amb diferents sistemes de fixació adaptats a diferents tipus de teulades.

Estructura solar per paret: son estructures solars d'alumini que permeten muntar la placa en voladís contra una paret. Son útils en situacions en que no es disposa de suficient superfície en teulada. No son gaire populars en edificis residencials ja que trenquen amb l'estètica de l'edifici.

Estructura solar de formigó: Es tracta de blocs de formigó amb forma triangular que permeten muntar les plaques amb una inclinació sobre un terra pla. Son econòmiques i no requereixen de fixació al terra, ja que el seu pes es suficient per mantenir les plaques rígides.

Marquesina solar: son estructures pensades amb doble funció, crear zones d'ombra per vehicles i generar energia solar. Tenen un cost elevat per ser resistents davant de topades de vehicles.

(UOCx, 2011)

2.5 Sistemes d'autoconsum fotovoltaic

Un sistema d'autoconsum fotovoltaic es la combinació dels components necessaris per generar energia útil i la connexió d'aquesta producció a un consum. En el procés d'estudi i disseny, és de gran importància dimensionar tots els components individualment, però també concebre el conjunt per conformar un sistema adequat al seu objectiu.

Els sistemes d'autoconsum fotovoltaic es poden projectar amb diferents configuracions possibles per ajustar-se a l'objectiu fixat. Aquestes configuracions habitualment es classifiquen segons el grau d'independència de la xarxa. A continuació es mencionen les diferents tipologies que són possibles tècnicament, ordenades de major dependència de la xarxa a major independència:

2.5.1 Sistemes d'autoconsum fotovoltaic connectats a la xarxa

Els sistemes fotovoltaics connectats a la xarxa son aquells en els que el consum es pot alimentar no només de l'energia produïda per la instal·lació fotovoltaica sinó que també es pot abastir de la xarxa de distribució pública. La connexió a la xarxa elèctrica permet que l'habitatge no perdi subministrament quan l'energia generada per les plaques fotovoltaiques no és suficient o és inexistent.



En el sistema d'injecció 0, l'usuari consumeix l'energia fotovoltaica de forma instantània. Gran part o la totalitat del consum durant les hores de sol és coberta per la producció solar. Quan la producció no és capaç de cobrir tot el consum, s'importa energia de la xarxa, a preu de mercat.

Quan la producció es superior al consum, l'energia excedentària es perd.

Aquest sistema requereix d'un sistema d'anti abocat.

En aquest sistema no existeix emmagatzematge.

L'estalvi s'aconsegueix gràcies a que es consumeix menys energia de la xarxa durant les hores de Sol.

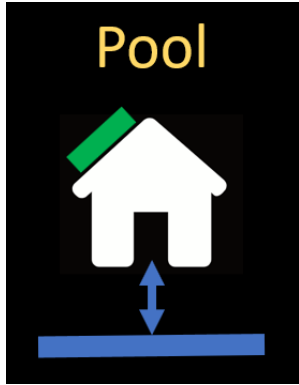
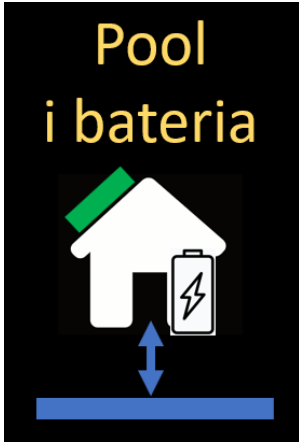
 <p>Pool</p>	<p>En el sistema Pool, l'usuari consumeix l'energia fotovoltaica de forma instantània. Gran part o la totalitat del consum durant les hores de Sol és coberta per la producció solar. Quan la producció no és capaç de cobrir tot el consum, s'importa energia de la xarxa a preu de mercat.</p> <p>A diferència del sistema d'Injecció 0, l'energia excedentària s'injecta a la xarxa i es rep una compensació econòmica en forma d'estalvi a la factura. El preu de la compensació depèn de la regulació legal.</p> <p>En aquest sistema no existeix emmagatzematge. L'estalvi s'aconsegueix gràcies a que es consumeix menys energia de la xarxa durant les hores de Sol i de la compensació econòmica que es rep de l'energia excedentària.</p>
 <p>Pool i bateria</p>	<p>En el sistema Pool amb bateries, l'usuari consumeix l'energia fotovoltaica de forma instantània durant les hores de Sol, però emmagatzema els excedents en una bateria. Durant les hores sense producció, l'usuari consumeix l'energia acumulada a la bateria. Quan l'usuari té excedent i la bateria és plena, injecta l'energia sobrant a la xarxa i rep una compensació econòmica en forma d'estalvi a la factura. Durant les hores sense Sol, si la bateria és buida, s'importa energia des de la xarxa a preu de mercat.</p> <p>Aquesta configuració reporta beneficis en casos on l'usuari extreu rendiment dels preus de mercat de l'energia i converteix la seva instal·lació en una eina mercantil.</p> <p>Aquest sistema té el valor afegit de que en cas de caiguda de la xarxa en hores sense producció fotovoltaica, l'habitatge disposa d'un temps d'autonomia gràcies a la bateria.</p>

Figura 27: Taula de sistemes d'autoconsum connectats a la xarxa. Font: elaboració pròpia.

2.5.2 Sistemes d'autoconsum fotovoltaic aïllats

Els sistemes d'autoconsum fotovoltaic aïllats son aquells que no disposen d'una connexió a la xarxa pública de distribució, de manera que en cap cas podran obtenir energia. Aquests sistemes depenen fortament de l'emmagatzematge, que ha de ser capaç de cobrir la demanda durant les hores sense producció o amb baixa producció.


 <p>Aïllada</p>	<p>Al sistema aïllat, l'usuari consumeix l'energia fotovoltaica de forma instantània durant les hores de producció, i l'excedent s'emmagatzema a la bateria. Quan la producció es insuficient o inexistent, s'utilitza l'energia de la bateria pel consum.</p> <p>En aquesta configuració, es vital dimensionar la bateria amb marge de seguretat per evitar que la bateria es buidi i la casa quedi sense subministrament. A l'haver de sobredimensionar la bateria, el cost inicial d'aquesta configuració es elevat.</p> <p>L'estalvi s'aconsegueix gràcies a l'absència de factura de llum.</p>
---	---

Figura 28: Taula de sistemes d'autoconsum aïllats. Font: elaboració pròpia.

2.6 Inversor

Els panells solars son fonts generadores de corrent contínua, però en canvi, tots els aparells de consum que s'utilitzen a indústries i llars estan dissenyats per ser alimentats amb corrent

alterna. A les llars, tots els dispositius necessiten un subministrament constant de corrent amb unes propietats molt concretes:

Fase única

Tensió: 230V

Freqüència: 50Hz

Precisament, la potència que generen els panells no és constant, ja que la radiació que absorbeixen depèn de múltiples factors canviants. A més, com hem comentat anteriorment amb les corbes I-V, la intensitat i tensió amb que s'extreu l'energia del panell tampoc és fixa.

L'inversor té la funció primària de convertir aquesta corrent provinent dels panells, en corrent alterna adequada a les especificacions del nostre consum. A l'inversor es connecten els cables de corrent contínua provinents dels panells, i també els cables de sortida cap a la instal·lació de consum.

Els inversors tenen diversos paràmetres característics que cal conèixer:

P_{maxFV} [W]: es la potència màxima d'entrada que pot assumir. L'inversor es dimensiona sempre a partir d'aquesta potència, ja que ha de ser immediatament superior a la suma de les potències pic dels panells.

V_{maxFV} [V]: es la tensió màxima d'entrada que pot assumir. Quan col·loquem sèries de panells, incrementem aquesta tensió, pel que caldrà tenir present aquest límit.

C_{maxFV} [A]: es la intensitat màxima d'entrada que pot assumir. Quan col·loquem panells en paral·lel, incrementem aquesta intensitat, pel que caldrà tenir present aquest límit.

PN [W]: es la potència nominal que s'assigna a l'inversor, i correspon a la potència de sortida en corrent alterna. S'utilitza la potència nominal com una mesura de la mida de l'inversor, però la potència que se li demanda pot ser en ocasions superior. És important dimensionar l'inversor ajustant la potència nominal al consum nominal, per evitar una sobrecàrrega.

A part dels inversors convencionals, previstos per connectar-hi agrupacions de plaques, recentment s'han popularitzat molt els micro-inversors.

Micro-inversors: inversor de mida petita dissenyat per convertir la corrent d'un sol panell, muntant-se a la part posterior d'aquest. Aquests micro-inversors tenen múltiples avantatges i també inconvenients:

Avantatges:

- A l'estar connectats a un sol panell, aprofiten el màxim de potència de cada un, de manera que no existeixen les pèrdues derivades de l'efecte 'mismatch'.
- Monitoritzen la producció dels panells individualment, i aquesta informació la pot visualitzar l'usuari. En cas de problemes en un panell, és ràpid detectar-lo.
- L'ampliació del nombre de plaques és fàcil ja que no existeix la limitació d'un inversor amb capacitat màxima. S'afegeix un micro inversor amb cada placa extra.
- Ofereixen una garantia més llarga que els inversors clàssics.
- Les pèrdues per la longitud del cablejat en CC són inexistents, ja que l'inversor es troba a pocs centímetres del panell.

Inconvenients:

- A igualtat de potència total, un sistema amb micro inversors és més car.
- L'eficiència d'un inversor clàssic es superior.
- La instal·lació i el temps de mà d'obra es més costós.

Això fa que els micro-inversors guanyin força en àrees residencials, on la quantitat de panells és més petita, hi ha variabilitat en les orientacions i els panells son més propensos a patir variacions de producció per ombres.

En instal·lacions de mida gran on els panells es troben orientats exactament de la mateixa manera i lliures d'ombres, els inversors clàssics son més adequats.

Inversors per connexió a xarxa o aïllats

Els inversors també es classifiquen segons si estan dissenyats per formar part d'un sistema connectat a la xarxa de distribució o bé serveixen a una instal·lació aïllada.

Els inversors per connexió a xarxa tenen la propietat d'acoblar la freqüència sinusoidal de sortida a la de la xarxa, per no crear interferències. Necessiten estar connectats a la xarxa per tenir un punt de referència per aquesta ona, del contrari no poden funcionar.

Els inversors per sistema aïllat son capaços de crear una ona sinusoidal per ells mateixos.

Amb MPPT o sense

Actualment la major part dels inversors ja disposa del sistema de seguiment MPPT. En determinats casos els inversors tenen múltiples entrades per MPPT independents. Això permet connectar diferents grups de plaques orientades de forma diferent. Els micro-inversors també disposen d'un MPPT per la seva placa.

Amb regulació de càrrega per bateria o no

Alguns inversors també porten incorporats altres accessoris que es poden trobar a altres parts de la instal·lació, com per exemple proteccions, interruptors o controladors de càrrega. Els controladors de càrrega permeten gestionar una bateria de forma segura.

(UOCx, 2011)

2.7 Bateries

Les bateries son les encarregades d'emmagatzemar l'energia elèctrica. En algunes instal·lacions no son necessàries, ja que es pretén auto consumir l'energia solar a l'instant. Quan es decideix emmagatzemar l'energia sobrant per consumir-la a hores sense Sol, és necessari utilitzar les bateries.

Les bateries principalment es classifiquen per la química que constitueix l'ànode i el càtode. En sistemes fotovoltaics tradicionalment s'han utilitzat àmpliament bateries de Plom Àcid. Però la nova tecnologia de bateries de Liti està desplaçant completament les antigues tecnologies de Plom i Gel per la seva gran densitat energètica, profunditat de descàrrega, i facilitat de manteniment.

Les principals característiques tècniques a considerar d'una bateria son:

Capacitat total [Wh]: és la capacitat teòrica de la bateria. És un indicador de referència que serveix per comprar bateries entre si .

Profunditat de descàrrega: és la capacitat mínima que pot arribar a tenir la bateria sense danyar-se. La profunditat de descàrrega redueix part de la capacitat total que podem utilitzar.

Capacitat real [Wh]: és l'energia real que podem extreure de la bateria, mantenint els marges de seguretat per la part baixa (profunditat de descàrrega) i alta (marge de càrrega). Aquesta dada és la més significativa pel que fa a l'emmagatzematge

Voltatge nominal [V]: la bateria proporciona un voltatge entre borns que varia lleugerament en funció de com de carregada es trobi. El voltatge nominal és aquell voltatge mitjà al que treballa la bateria.

El dimensionat de la bateria es determina a partir de la capacitat necessària. En instal·lacions aïllades sovint es sobredimensiona per garantir un marge d'energia sobrant, en cas que la font d'energia es demori més del previst.

(UOCx, 2011)

2.8 Connexió a la xarxa, control i regulació

La unió d'un sistema d'autoconsum a la xarxa de distribució requereix d'alguns sistemes pel seu control seguretat i també per complir amb les normatives vigents.

Sistema anti-abocat: els sistemes anti-abocat són dispositius que es col·loquen en el punt frontera entre la instal·lació d'autoconsum i la xarxa. La seva tasca és evitar que s'injecti energia excedentària a la xarxa. S'instal·len en les xarxes sense excedents que es realitzen per simplificar la legalització del sistema.

Comptador de producció: en determinades ocasions és recomanable o necessari instal·lar un comptador que mesuri la producció del sistema fotovoltaic. Tot i que els inversors actuals ja disposen d'aquesta capacitat, en determinades instal·lacions d'autoconsum caldrà afegir aquests comptadors electrònics.

Regulador de càrrega: el regulador de càrrega és un aparell electrònic que gestiona la bateria per tal que aquesta treballi dins els paràmetres adequats de funcionament. També llegeixen l'estat de càrrega de la bateria, i permeten a l'usuari extreure'n dades o gestionar-la. En algunes bateries comercials es troba integrat dins la carcassa de la pròpia bateria. Alguns inversors també porten reguladors de càrrega integrats.

Proteccions: per protegir els dispositius i les persones de sobretensions cal incloure dispositius de protecció. Entre ells hi ha fusibles, interruptors, diferencials i magneto tèrmics.

(UOCx, 2011)

CAPÍTOL 3. MARC SOCIAL I LEGAL DE L'AUTOCONSUM FOTOVOLTAIC

3.1 Marc social

3.1.1 La consciència ecològica

La consciència ecològica a Espanya encara es troba en una fase de maduració molt baixa. “La consciència mediambiental dels espanyols es caracteritza per la seva debilitat. De fet, si considerem el ciutadà ecològic com aquell en qui concurreixen no només l'acompliment de les obligacions legals ambientals, sinó també un cert nombre de virtuts morals i disposicions pràctiques cap a l'entorn, es pot afirmar que el ciutadà ecològic espanyol -encara- no existeix. Aquesta absència constitueix un evident obstacle per a la transició ecològica de la societat espanyola cap a la sostenibilitat. El ciutadà expressa valors ambientals, però no els realitza a la pràctica.” Cita un estudi sobre ciutadania i consciència mediambiental a Espanya realitzat pel CIS. (Valencia Sáiz, Arias Maldonado, & Vázquez García, 2010)

Ara bé, un conjunt d'enquestes de la Fundación desarrollo sostenible reflecteixen una preocupació creixent en la societat pels assumptes ambientals. Però coincideix amb l'estudi del CIS: “Els ciutadans saben el que passa, saben què cal fer i ja sols els falta empoderar-se per passar a l'acció.” El 30% dels enquestats expressen que s'han interessat per comprar plaques fotovoltaïques. (Fundación desarrollo sostenible, 2019)

Domingo Jiménez Beltran, un dels coordinadors de l'estudi reflexiona en un article a El Mundo: “Hem passat de la fase reactiva a la de lluita a la fase proactiva d'empoderament de la societat, que està forçant a les empreses i govern a la transició energètica. (Fresneda & Guerrero, 2019)

Un altre estudi de UNEF i TecNALIA anomenat PVP4Grid, finançat per la Unió Europea conclou que a Espanya, l'autoconsum es percep com una forma d'estalvi en el rebut de la llum. (Editorial C de Comunicació)

Els canvis recents en la legislació encara no s'han introduït a la consciència de la societat pel que fa a les possibilitats de l'autoconsum. L'ampli ressò de l'anomenat “impost al sol” de l'any 2013 ha quedat gravat a la memòria i, tot i haver estat derogat, ja ha desconnectat a una gran part de la societat sobre el plantejament de l'autoconsum. La societat espanyola es la que afronta ara el repte d'assumir aquest canvi a la legislació i amollar-se al nou model energètic sostenible.

3.3 Marc legal

3.3.1 Evolució i antecedents del marc legal a Espanya.

El polèmic Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, o anomenat Reial Decret de l'impost al sol va posar pals a les rodes al desenvolupament de l'autoconsum. Aquest reial decret, d'entre altres coses imposava un “peatge de recolzament” aplicat a l'energia generada mitjançant l'ús de panells fotovoltaïcs. Aquest impost, tot i no aplicar-se en tots els casos, reduïa substancialment la rendibilitat d'instal·lacions de producció. Una altra crítica envers el reial decret va ser l'elevada complexitat burocràtica que afegia a la legalització d'instal·lacions d'autoconsum.

Finalment, després de 4 anys de restriccions, la legislació ha canviat amb dos nous reials decrets lleis que canvien completament el panorama del sector:

En primer lloc, Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energètica y la protección de los consumidores, va assentar les bases per l'autoconsum, definint la necessitat de la implementació del “balanç net”.

El Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica, finalmente regula al detall les diferents configuracions possibles d'autoconsum individual i compartit, així com els sistemes de repartiment d'excedents. Al mateix RD es regulen les condicions del balanç net i simplifica les gestions burocràtiques per legalitzar les instal·lacions.

Cal mencionar també, diverses lleis que afecten actualment a les instal·lacions fotovoltaïques pel caire tècnic-elèctric d'aquestes:

- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
- Reglament tècnic de baixa tensió i ICT.

3.3.2 Situació actual a Espanya.

Actualment a l'estat, és el *Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica*, el reglament vigent d'aplicació a l'estat. Aquest Reial Decret estableix diferents modalitats d'autoconsum:

- **Sense excedents:** Suposa la utilització d'un sistema anti-abocat que evita la injecció d'excedents de la producció cap a la xarxa elèctrica de distribució.
- **Amb excedents:** Representa aquelles instal·lacions que poden injectar energia a la xarxa elèctrica de distribució.
 - **Amb excedents ACOLLIDA A COMPENSACIÓ:** en les que l'energia excedentària abocada a la xarxa compensarà la consumida fent un còmput total mensual net. Si l'energia injectada és superior a la consumida, el resultat serà 0, és a dir, la comercialitzadora no haurà de pagar a l'usuari. La potència de les instal·lacions no pot superar els 100kW.

En aquest cas, si el contracte de subministrament es amb una comercialitzadora d'últim recurs, el valor de l'energia injectada a la xarxa serà el preu mitjà diari de l'energia. Si el contracte es amb una altra comercialitzadora, es podrà pactar un preu segons contracte.

- **Amb excedents NO ACOLLIDA A COMPENSACIÓ:** en aquest cas els excedents es vendran al mercat elèctric. En aquest cas el titular s'haurà d'acollir al preu marcat pel mercat i a la fiscalitat corresponent com a productor energètic. És a dir, es tracta el titular de la instal·lació com un subjecte productor del mercat elèctric.

També estableix una segona classificació, on distingeix les modalitats de:

- **Autoconsum individual:** Si només existeix un consumidor associat a la instal·lació o instal·lacions de producció.
- **Autoconsum col·lectiu:** Si existeix més d'un consumidor associat a la instal·lació o instal·lacions de producció.

En tercer lloc estableix dues possibles vies de distribució de l'energia:

- **A través de xarxa interior:** En aquesta modalitat tots els consumidors i instal·lacions de producció estaran connectades a una xarxa interior.
- **A través de xarxa exterior:** En aquesta modalitat els consumidors i instal·lacions de producció duen a terme la transferència d'energia a través de les xarxes de

la distribuïdora. Això és possible sempre que es compleixi alguna de les següents condicions:

- Tots els punts de consum i producció estan connectats al mateix centre de transformació de BT.
- Tots els punts de consum i producció tenen la mateixa referència cadastral (14 dígits).
- Tots els punts de consum i producció estan separats per menys de 500m entre comptadors.

El reglament regula les diferents combinacions de modalitats possibles que apareixen d'aquesta classificació:

Autoconsumo INDIVIDUAL Un consumidor asociado O Autoconsumo COLECTIVO Varios consumidores asociados	Instalación PRÓXIMA en RED INTERIOR Conexión Red interior.	SIN excedentes (individual) Mecanismo anti-vertido. SIN excedentes ACOGIDA a compensación (colectivo) Mecanismo anti-vertido.	CONSUMIDOR Titular del suministro PRODUCTOR No existe TITULAR INSTALACIÓN Consumidor PROPIETARIO Puede ser diferente
		CON excedentes ACOGIDA a compensación Fuente renovable. Potencia de producción ≤ 100kW. Si aplica, contrato único consumo-auxiliares. Contrato de compensación No hay otro régimen retributivo.	CONSUMIDOR Titular del suministro PRODUCTOR Titular de la instalación TITULAR INSTALACIÓN El inscrito en el registro de autoconsumo PROPIETARIO Puede ser diferente
	Instalación PRÓXIMA a TRAVÉS DE RED Conexión a red BT del mismo centro de transformación. Distancia entre contadores generación y consumo < 500 m, ambos conectados en BT. Misma referencia catastral (14dígitos).	CON excedentes NO ACOGIDA a compensación Resto de instalaciones con excedentes.	CONSUMIDOR Titular del suministro PRODUCTOR Titular de la instalación TITULAR INSTALACIÓN El inscrito en el registro de autoconsumo y RAIPRE PROPIETARIO Puede ser diferente
		CON excedentes NO ACOGIDA a compensación Instalaciones con excedentes.	CONSUMIDOR Titular del suministro PRODUCTOR Titular de la instalación TITULAR INSTALACIÓN El inscrito en el registro de autoconsumo y RAIPRE PROPIETARIO Puede ser diferente

Figura 29: Taula-resum de les configuracions contemplades dins el nou Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.

Font: IDAE.

A continuació s'amplia com s'ha regularitzat cada un dels casos:

- **Autoconsum INDIVIDUAL i SENSE EXCEDENTS en XARXA INTERIOR:** En aquesta modalitat es reconeixen 2 actors: el consumidor, que al mateix temps és titular de la instal·lació, i el propietari, que pot ser el consumidor mateix o una altra persona o empresa. En aquest format, la instal·lació de generació es troba connectada directament a la xarxa interior del consumidor, i s'afegeix un dispositiu anti-abocat de manera que la instal·lació mai pugui injectar corrent a la xarxa.

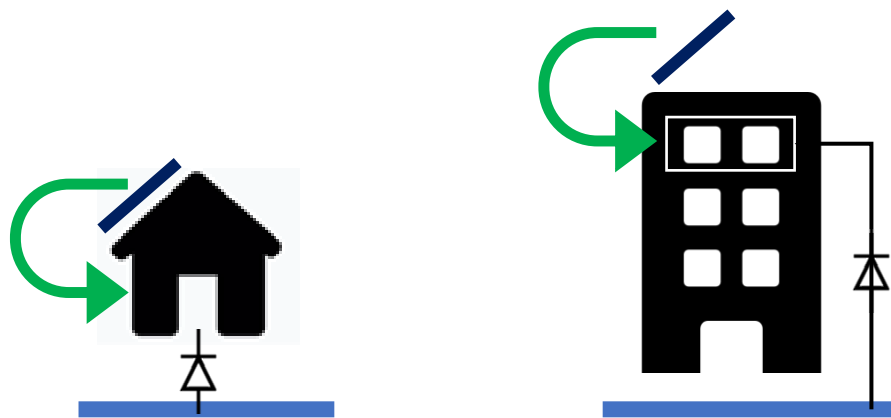


Figura 30: Representació gràfica de la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL i SENSE EXCEDENTS en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.

En aquest cas:

$$\text{si: } P < C \rightarrow C = P + IMP$$

$$\text{si: } P \geq C \rightarrow C = P + Ex$$

P (kW) = Producció de la instal·lació en un instant determinat.

C (kW) = Consum de l'usuari en un instant determinat.

IMP (kW) = importació/abastiment d'energia provinent de la xarxa de distribució en un instant determinat.

Ex (kW) = energia produïda en un instant determinat que no s'utilitza i es perd.

En aquesta figura es representen les dues diferents situacions en que el consumidor es pot trobar.



Figura 31: Representació gràfica de la repartició energètica en la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL i SENSE EXCEDENTS en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.

- **Autoconsum COL·LECTIU, SENSE EXCEDENTS en XARXA INTERIOR:** En aquesta modalitat es reconeixen múltiples actors: els consumidors, que son co-titulars de la instal·lació, i el propietari, que poden ser els mateixos consumidors o una altra persona o empresa. En aquest format, la instal·lació es troba connectada a la xarxa interior dels consumidors i l'energia produïda es reparteix entre els diferents consumidors. S'afegeix un dispositiu anti-abocat de manera que la instal·lació mai pugui injectar energia a la xarxa de distribució. L'energia produïda a cada instant es reparteix segons coeficients acordats pels consumidors.

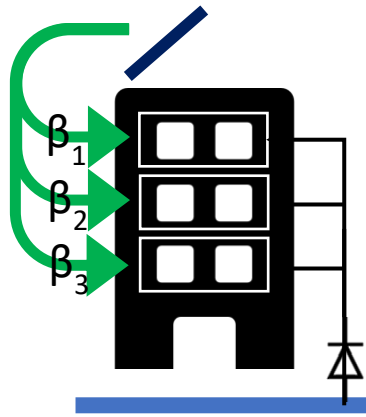


Figura 32: Representació gràfica de la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL i SENSE EXCEDENTS en XARXA EXTERIOR. Font: Elaboració pròpia.

En aquest cas s'estableixen per contracte els coeficients de repartiment on:

$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_n = 1$$

La producció instantània de la instal·lació es reparteix segons els coeficients, de manera que:

$$P = P_1 \cdot \beta_1 + P_2 \cdot \beta_2 + P_3 \cdot \beta_3 + P_n \cdot \beta_n$$

Des de la perspectiva individual de cada consumidor:

$$\text{si: } P_1 < C_1 \rightarrow C_1 = P_1 + IMP_1$$

$$\text{si: } P_1 \geq C_1 \rightarrow C_1 = P_1 + EX_1$$

P (kW)= Producció de la instal·lació en un instant determinat.

β_n = Coeficient de repartiment. Proporció de la producció instantània que li correspon a un veí (adimensional).

P_n (kW)= Part de la producció de la instal·lació en un instant determinat que li pertoca a un consumidor concret segons el coeficient de repartiment β_n .

C_n (kW)= Consum d'un usuari en un instant determinat.

IMP_n (kW)= importació/abastiment d'energia provinent de la xarxa de distribució per part d'un usuari en un instant determinat.

EX_n (kW)= energia produïda assignada a un consumidor en un instant determinat que no s'utilitza i es perd.

A la figura 32 es pot visualitzar una situació hipotètica amb aquesta configuració en una comunitat de 4 veïns:

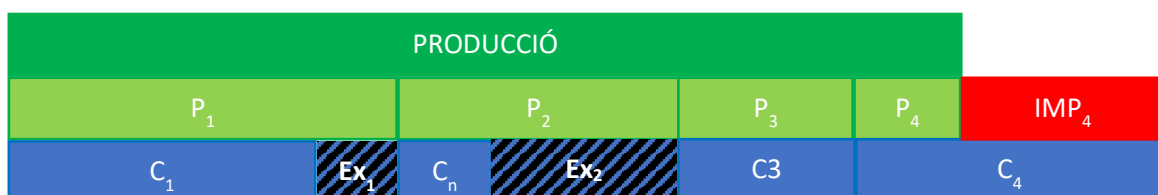


Figura 33: Representació gràfica de la repartició energètica en la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL i SENSE EXCEDENTS en XARXA EXTERIOR. Font: Elaboració pròpia.

- **Autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR:** En aquesta modalitat existeixen diversos actors: el consumidor, el productor i titular de la instal·lació, que son la mateixa persona; i el propietari, que pot ser el mateix productor o bé una tercera persona o empresa. En aquesta modalitat no existeix un sistema d'anti-abocat a la xarxa de distribució, pel que la producció hi pot aportar energia. D'aquesta manera, el consumidor es pot beneficiar de l'energia excendentària, que la distribuïdora ha de compensar econòmicament.

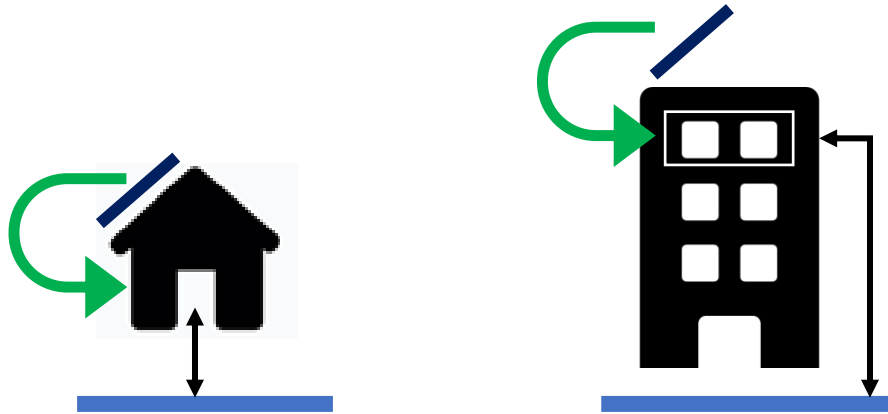


Figura 34: Representació gràfica de la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.

En aquest cas:

$$\text{si: } P < C \rightarrow C = P + IMP$$

$$\text{si: } P \geq C \rightarrow C = P + E$$

P (kW)= Producció de la instal·lació en un instant determinat.

C (kW)= Consum de l'usuari en un instant determinat.

IMP (kW)= importació/abastiment d'energia provinent de la xarxa de distribució en un instant determinat.

E (kW)= energia produïda en un instant determinat que no es consumeix i s'injecta a la xarxa.

A la figura 35 es representen les dues diferents situacions en que el consumidor es pot trobar.



Figura 35: Representació gràfica de la repartició energètica en la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.

- **Autoconsum COL·LECTIU, AMB EXCEDENTS, ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR:** En aquesta modalitat poden intervenir diversos productors i diversos consumidors. Els productors son els titulars de la instal·lació, i els propietaris de la instal·lació poden ser els productors mateixos o una altra persona o empresa. En aquest format, cada instal·lació es troba connectada a la xarxa interior d'almenys un dels consumidors. L'energia produïda a cada instant es reparteix segons coeficients acordats pels consumidors, i l'excedent de cada consumidor és abocat a la xarxa. D'aquesta

manera cada consumidor es pot beneficiar de l'energia excedentària, que la distribuïdora ha de compensar econòmicament. En aquest cas, els consumidors associats no han d'estar connectats directament a la xarxa interior de les instal·lacions de producció. Es poden subministrar a partir de la xarxa de distribució.

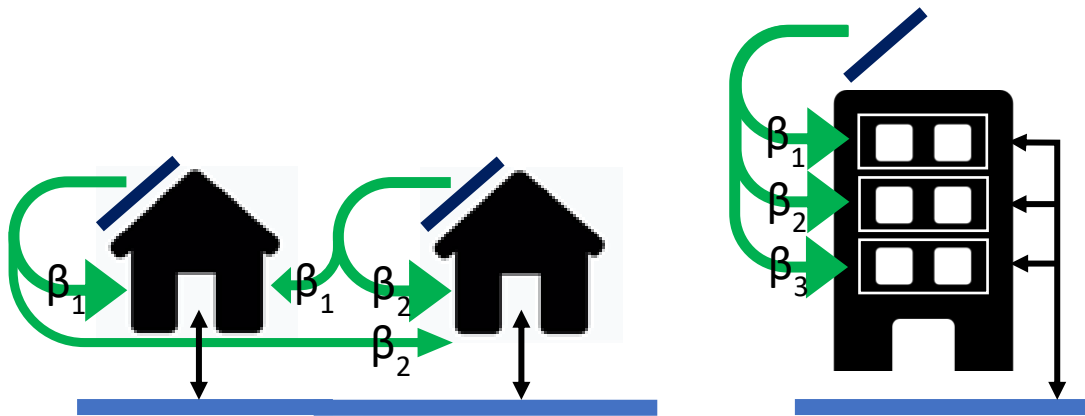


Figura 36: Representació gràfica de la modalitat d'autoconsum COL·LECTIU, AMB EXCEDENTS, ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.

En aquest cas s'estableixen per contracte els coeficients de repartiment on:

$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_n = 1$$

Si existeix més d'una instal·lació de producció, la seva generació es suma:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_n$$

La producció instantània de les instal·lacions es reparteix segons els coeficients, de manera que:

$$P = P_1 \cdot \beta_1 + P_2 \cdot \beta_2 + P_3 \cdot \beta_3 + P_n \cdot \beta_n$$

Des de la perspectiva individual de cada consumidor:

$$\text{si: } P_1 < C_1 \rightarrow C_1 = P_1 + IMP_1$$

$$\text{si: } P_1 \geq C_1 \rightarrow C_1 = P_1 + EX_1$$

P (kW)= Producció de la instal·lació en un instant determinat.

β_n = Coeficient de repartiment. Proporció de la producció instantània que li correspon a un veí (adimensional)

P_n (kW)= Part de la producció de la instal·lació en un instant determinat que li pertoca a un consumidor concret segons el coeficient de repartiment β_n .

C_n (kW)= Consum d'un usuari en un instant determinat.

IMP_n (kW)= importació/abastiment d'energia provinent de la xarxa de distribució per part d'un usuari en un instant determinat.

EX_n (kW)= energia produïda assignada a un consumidor en un instant determinat que no s'utilitza, s'injecta a la xarxa i pot ser compensat per la distribuïdora.

En aquesta figura es pot visualitzar una situació que es donaria amb aquesta configuració en una comunitat de 4 veïns

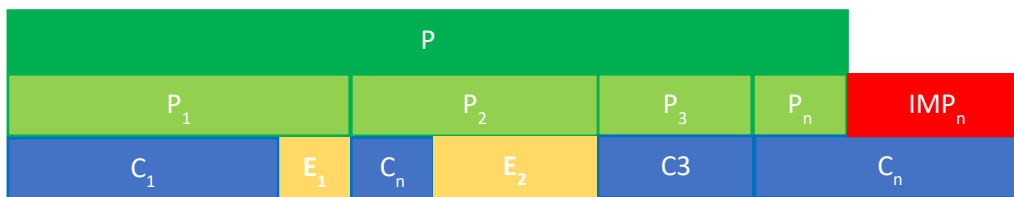


Figura 37: Representació gràfica de la repartició energètica en la modalitat d'autoconsum COL-LECTIU, AMB EXCEDENTS, ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.

- **Autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR:** En aquesta modalitat poden intervenir 2 o 3 actors. El consumidor, el productor i titular de la instal·lació, que serà la mateixa persona; i el propietari de la instal·lació; que podrà ser el titular o una altra persona o empresa. En aquest format, la instal·lació es troba connectada a la xarxa interior del consumidor. En aquesta modalitat no existeix un sistema d'anti-abocat a la xarxa de distribució, pel que la producció hi pot aportar energia. D'aquesta manera, el productor vendrà l'energia excendentària a la xarxa. El productor s'haurà de donar d'alta en el RAIPRE i tributar l'energia que serà venuda al mercat energètic.

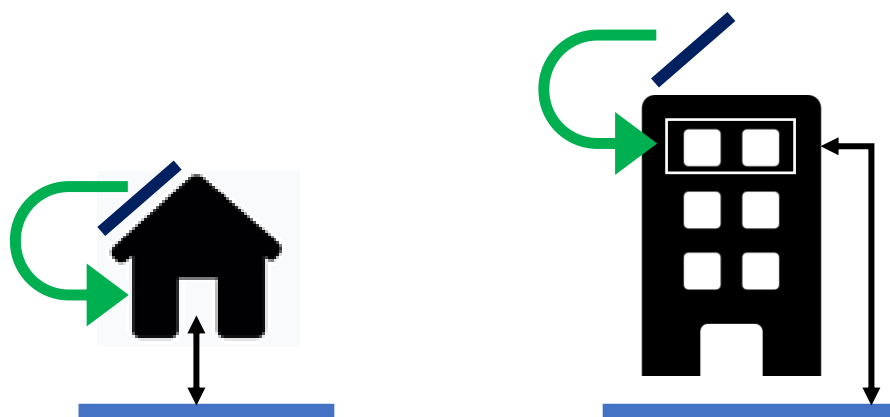


Figura 38: Representació gràfica de la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.

En aquest cas:

$$\text{si: } P < C \rightarrow C = P + IMP$$

$$\text{si: } P \geq C \rightarrow C = P + EX$$

P (kW)= Producció de la instal·lació en un instant determinat.

C(kW) = Consum de l'usuari en un instant determinat.

IMP (kW)= importació/abastiment d'energia provinent de la xarxa de distribució en un instant determinat.

EXP (kW) = energia produïda en un instant determinat que s'injecta a la xarxa i el productor ven al mercat elèctric.



Figura 39: Representació gràfica de la repartició energètica en la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.

- **Autoconsum COL·LECTIU, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR:** En aquesta modalitat intervenen múltiples actors. Els consumidors, els productors i titulars de les instal·lacions, que seran la mateixa persona; i els propietaris de les instal·lacions, que podran ser els titulars o altres persones o empreses. En aquest format, cada instal·lació es troba connectada a la xarxa interior dels consumidors. Aquest cas només està previst en xarxes interiors comunitàries. L'energia produïda a cada instant es reparteix segons coeficients acordats pels consumidors, i l'excedent de cada consumidor és abocat a la xarxa. En aquest cas, però, el productor podrà beneficiar-se dels excedents, i s'haurà de donar d'alta en el RAIPRE i tributar l'energia que serà venuda al mercat energètic. En aquest cas, els consumidors associats no han d'estar connectats directament a la xarxa interior de les instal·lacions de producció. Es poden subministrar a partir de la xarxa de distribució.

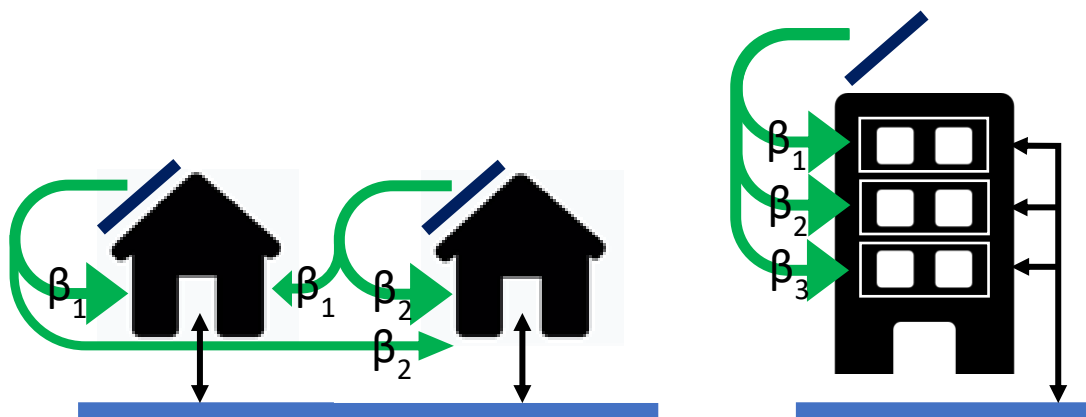


Figura 40: Representació gràfica de la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.

En aquest cas s'estableixen per contracte els coeficients de repartiment on:

$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_n = 1$$

Si existeix més d'una instal·lació de producció, la seva generació es suma:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_n$$

La producció instantània de les instal·lacions es reparteix segons els coeficients, de manera que:

$$P = P_1 \cdot \beta_1 + P_2 \cdot \beta_2 + P_3 \cdot \beta_3 + P_n \cdot \beta_n$$

Des de la perspectiva individual de cada consumidor:

$$\text{si: } P_1 < C_1 \rightarrow C_1 = P_1 + IMP_1$$

$$\text{si: } P_1 \geq C_1 \rightarrow C_1 = P_1 + EP_1$$

P (kW)= Producció de la instal·lació en un instant determinat.

β_n = Coeficient de repartiment. Proporció de la producció instantània que li correspon a un veí (adimensional).

P_n (kW)= Part de la producció de la instal·lació en un instant determinat que li pertoca a un consumidor concret segons el coeficient de repartiment β_n .

C_n (kW)= Consum d'un usuari en un instant determinat.

IMP_n (kW)= importació/abastiment d'energia provinent de la xarxa de distribució per part d'un usuari en un instant determinat.

EP (kW)= energia produïda assignada a un consumidor en un instant determinat que no s'utilitza i el productor ven al mercat energètic.

A la Figura 41 es pot visualitzar una situació que es donaria amb aquesta configuració en una comunitat de 4 veïns.

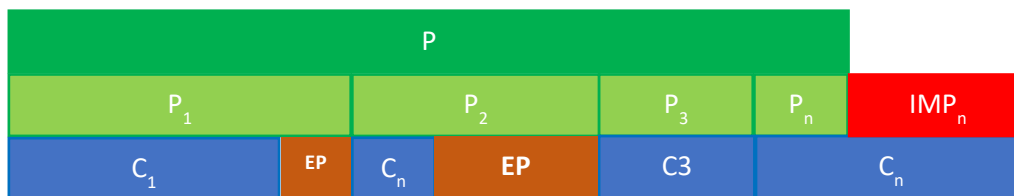


Figura 41: Representació gràfica de la repartició energètica en la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.

- **Autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA EXTERIOR:** En aquesta modalitat poden intervenir 2 o 3 actors. El consumidor, el productor i titular de la instal·lació, que serà la mateixa persona; i el propietari de la instal·lació; que podrà ser el titular o una altra persona o empresa. En aquest format, la instal·lació es troba connectada directament a la xarxa de distribució. En aquesta modalitat no existeix un sistema d'anti-abocat a la xarxa de distribució, pel que la producció hi pot aportar energia. D'aquesta manera, el productor vendrà l'energia excedentària a la xarxa. El productor s'haurà de donar d'alta en el RAIPRE i tributar l'energia que serà venuda al mercat energètic.

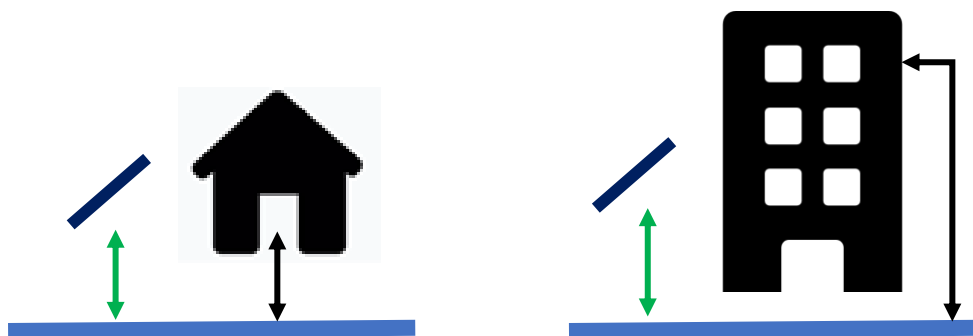


Figura 42: Representació gràfica de la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA EXTERIOR. Font: Elaboració pròpia.

En aquest cas:

$$\text{si: } P < C \rightarrow C = P + IMP$$

$$\text{si: } P \geq C \rightarrow C = P + EX$$

P (kW)= Producció de la instal·lació en un instant determinat.

C (kW)= Consum de l'usuari en un instant determinat.

IMP (kW)= importació/abastiment d'energia provinent de la xarxa de distribució en un instant determinat.

EX (kW) = energia produïda en un instant determinat que s'injecta a la xarxa i el productor ven al mercat elèctric.



Figura 43: Representació gràfica de la repartició energètica en la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA EXTERIOR. Font: Elaboració pròpia.

- **Autoconsum COL·LECTIU, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA EXTERIOR:** En aquesta modalitat intervenen múltiples actors. Els consumidors, els productors i titulars de les instal·lacions, que seran la mateixa persona; i els propietaris de les instal·lacions, que podran ser els titulars o altres persones o empreses. En aquest format, cada instal·lació de producció es troba connectada directament a la xarxa de distribució. L'energia produïda a cada instant es reparteix segons coeficients acordats pels consumidors, i l'excedent de cada consumidor és abocat a la xarxa. En aquest cas, però, el productor podrà beneficiar-se dels excedents, i s'haurà de donar d'alta en el RAIPRE i tributar l'energia que serà venuda al mercat energètic. En aquest cas, els consumidors associats no han d'estar connectats directament a la xarxa interior de les instal·lacions de producció. Es poden subministrar a partir de la xarxa de distribució.

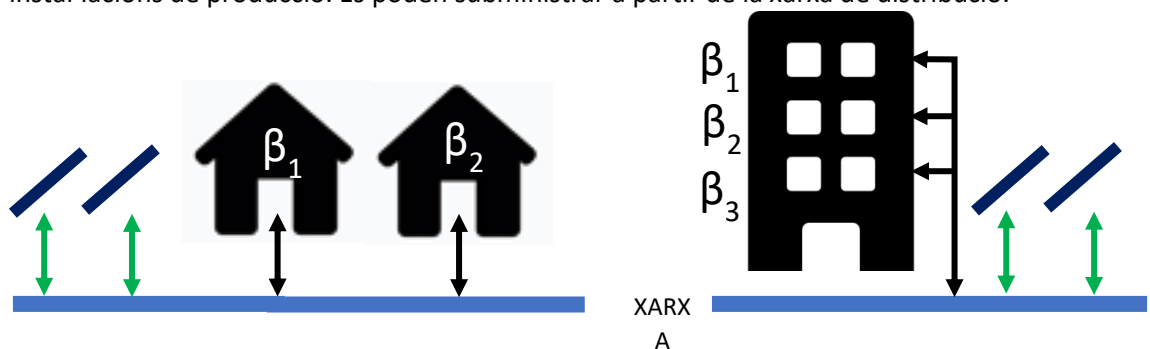


Figura 44: Representació gràfica de la modalitat d'autoconsum COL·LECTIU, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA EXTERIOR. Font: Elaboració pròpia.

En aquest cas s'estableixen per contracte els coeficients de repartiment on:

$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_n = 1$$

Si existeix més d'una instal·lació de producció, la seva generació es suma:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_n$$

La producció instantània de les instal·lacions es reparteix segons els coeficients, de manera que:

$$P = P_1 \cdot \beta_1 + P_2 \cdot \beta_2 + P_3 \cdot \beta_3 + P_n \cdot \beta_n$$

Des de la perspectiva individual de cada consumidor:

$$\text{si: } P_1 < C_1 \rightarrow C_1 = P_1 + IMP_1$$

$$\text{si: } P_1 \geq C_1 \rightarrow C_1 = P_1 + EP_1$$

P (kW)= Producció de la instal·lació en un instant determinat.

β_n = Coeficient de repartiment. Proporció de la producció instantània que li correspon a un veí (adimensional).

P_n (kW)= Part de la producció de la instal·lació en un instant determinat que li pertoca a un consumidor concret segons el coeficient de repartiment β_n .

C_n (kW)= Consum d'un usuari en un instant determinat.

IMP_n (kW)= importació/abastiment d'energia provinent de la xarxa de distribució per part d'un usuari en un instant determinat.

EP (kW)= energia produïda assignada a un consumidor en un instant determinat que no s'utilitza i el productor ven al mercat energètic.

En aquesta figura es pot visualitzar una situació que es donaria amb aquesta configuració en una comunitat de 4 veïns

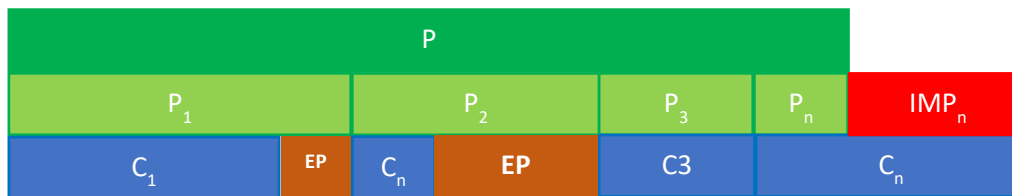


Figura 45: Representació gràfica de la repartició energètica en la modalitat d'autoconsum COL·LECTIU, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA EXTERIOR. Font: Elaboració pròpia.

3.3.3 Altres detalls a mencionar sobre la regulació

COMPENSACIÓ

En els casos que es contempla una compensació d'excedents, els auto consumidors no hauran de tributar l'energia injectada a la xarxa. La lectura d'energia consumida a la xarxa o excedent abocat es farà hora a hora, i es realitzarà un còmput de consum i injecció per cada període de facturació.

La compensació d'aquests excedents no es farà u a u entre kilowatt consumit vs. kilowatt injectat. Pel contrari, s'assignen valors econòmic diferent al kW consumit respecte l'injectat. El valor d'aquesta energia consumida o injectada s'estableix depenent de la comercialitzadora i el contracte realitzat:

COMERCIALITZADORA LLIURE:

- L'energia consumida serà valorada a preu horari segons contracte.
- L'energia excedentària serà valorada a preu horari segons contracte.

COMERCIALITZADORA DE REFERÈNCIA AMB PVPC:

- L'energia consumida serà valorada a cost horari del preu voluntari al petit consumidor (PVPC) cada hora.

- L'energia excedentària serà valorada al preu mitjà horari que s'obté a partir dels resultats del preu del mercat diari interdiari a cada hora, menys el cost dels desviaments a aquella hora.

El preu mitjà del kW consumit al llarg de l'any 2019 va rondar els 14 cèntims d'euro, mentre que el preu del kW injectat es troba al voltant dels 4 cèntims d'euro. Això significa que caldria injectar 3,5kW a la xarxa per compensar econòmicament 1kW consumit.

A més, el còmput de compensació es reinicia a cada període de facturació (no s'acumula), i com a màxim pot arribar a compensar completament la part de consum de la factura elèctrica. El còmput total de la part de consum de la factura, per tant, mai sortirà "a cobrar" per part del consumidor. A més, aquesta compensació no afecta a la part de potència contractada ni al lloguer del comptador.

En aquest resum no es mencionen les condicions tècniques que cal complir per cada configuració. Durant la selecció de la configuració òptima, a la memòria tècnica, es mencionaran quines configuracions han estat descartades per no complir amb la legislació.

Tampoc s'han mencionat els tràmits administratius que cal dur a terme per legalitzar la instal·lació. Es presentaran a la memòria tècnica aquells tràmits que corresponguin a l'opció seleccionada.

3.3.4 Entrevistes realitzades a professionals del sector

ENTREVISTA AMB CAROL COLL DE SOM ENERGIA

El dia 7 de Maig de 2020 es va fer una entrevista amb Carol Coll, responsable de facturació de la cooperativa energètica catalana SomEnergia. A l'entrevista es va preguntar sobre casos d'autoconsum compartit reals, l'estat actual de la legislació, la interpretació de la llei, i la situació pràctica de l'autoconsum compartit a l'estat.

De l'entrevista, se n'han extret dades rellevants i algunes conclusions parcials:

- Gràcies a l'assistència de SomEnergia a les trobades entre comercialitzadores i distribuïdores elèctriques davant de l'arbitratge de la CNMC (Comisión Nacional del Mercado y la Competencia), s'ha constatat que la interpretació sobre com cal aplicar el *Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica*, varia àmpliament entre diferents agents del sector. El còmput energètic i la aritmètica tarifaria que cal aplicar és motiu d'intensos debats, i en el moment de redacció del treball, no s'ha arribat encara a un acord que estableixi unes bases sobre les que treballar.
- Que no existeixen precedents d'instal·lacions d'autoconsum compartit amb compensació d'excedents, i com a conseqüència cap companyia elèctrica ha tingut la necessitat de construir l'estructura interna de gestió d'aquests tipus d'instal·lacions.
- Que la guia sobre l'autoconsum realitzada per l'IDAE, sobre la que instal·ladors, gestors i enginyers s'informen de les novetats de la nova legislació, és incorrecta ja que contempla com a no possible la modalitat de compensació d'excedents quan les instal·lacions d'autoconsum estan connectades en xarxa, mentre que el Reial Decret sí que ho contempla realment. En propers apartats, però, es veurà que hi ha lloc a la interpretació.
- Que la Unió Europea ha emès dues Directives, que són d'aplicació obligatòria pels estats membres, en favor de la creació de comunitats d'autoconsum. Aquestes dues Directives són:

1. Directiva 2018/2001 que contempla les comunitats d'energies renovables.
2. La directiva 2019/955 que requereix que es faciliti la creació de comunitats ciutadanes d'energia.

Que aquestes dues directives encara no han estat aplicades per l'estat, però podrien millorar la regulació i possibilitat la creació de comunitats que no supeditin la gestió al control de les distribuïdores.

ENTREVISTA AMB FREDERIC ANDREU PROPIETARI DE SOLARTRADEX

El dia 14 d'Abril de 2020 es va fer una entrevista amb Frederic Andreu, fundador i propietari de la popular enginyeria d'instal·lacions fotovoltaïques Solar Tradex, i autor d'un bloc conegut pel sector. A l'entrevista es comparteixen les impressions sobre el nou Reial Decret i es discuteix sobre la interpretació d'aquest.

De l'entrevista se n'extreuen dades rellevants:

- La pàgina de Preguntes Freqüents del Ministeri de la Transició Ecològica ofereix una resposta en la direcció de que sí es possible una instal·lació d'autoconsum compartit amb compensació d'excedents a través de xarxa interior, sempre i quan les instal·lacions de producció estiguin connectades a les xarxes interiors d'almenys un dels consumidors. Ara bé, després d'una consulta de en Frederic Andreu a la Sra. Maria José Diaz Meng, cap del servei d'Autorització d'Instal·lacions Elèctriques, es fa pal·lès que la interpretació d'aquesta envers la llei es contrari a la del FAQs del Ministeri. (Ministerio para la transición ecológica, 2019)
En Frederic comparteix que la seva interpretació es la mateixa que la Sra. Maria José.

3.3.5 Conclusions sobre l'estat legal de l'autoconsum compartit a l'estat

La percepció final que s'extreu després de la recerca realitzada és que el Reial Decret crea i amplia el marc legal per a les instal·lacions d'autoconsum, introduint el concepte d'autoconsum compartit, desconegut anteriorment per la legislació Espanyola. Aquesta regulació està realitzada amb valentia i voluntat de millora, però no es intel·ligent ni eficient.

Les configuracions contemplades pel Reial Decret configuren una distribució de l'energia rígida i no en funció de les necessitats de consum instantani. Els coeficients de repartiment fixes suposen un desaprofitament per part dels consumidors de molta energia que en ocasions es perd, es regala o es compensa a un valor residual, quan podria ser aprofitat per un altre veí. Això suposa que les instal·lacions compartides tindran un menor atractiu econòmic i un major benefici per les elèctriques, que rebran una pluja de kW econòmics.

Gràcies als comptadors intel·ligents instal·lats a totes les llars de l'estat és possible tècnicament l'aplicació d'un repartiment flexible i intel·ligent, que s'ajustés a la producció i demanda instantànies de cada consumidor. Cal mencionar que la disposició final 5 del RD habilita a la Ministra de la Transició Ecològica per, mitjançant ordre, modificar aquestes restriccions habilitant l'existència de coeficients dinàmics en determinades condicions.

A més, aquesta legislació col·loca a les companyies elèctriques com a interlocutor i gestor d'aquestes produccions i consums col·lectius, cosa que les hi confereix un important poder i control. La capacitat d'interpretació que ofereix el Reial Decret, suposa que, un any després de la seva aprovació, encara no existeixi cap cas d'autoconsum compartit que s'hi aculli, així com un debat d'interessos entre comercialitzadores i distribuïdores, on el consumidor no hi té cabuda.

CAPÍTOL 4. MEMÒRIA TÈCNICA

4.1 Descripció

La memòria tècnica d'aquest treball es divideix en diverses fases: un recull d'informació, un anàlisi d'aquesta, l'elecció de la configuració òptima i el dimensionat de la configuració triada:

- **RECALL D'INFORMACIÓ:**
En aquest apartat es pretén recopilar tota aquella informació tècnica i legal que pot influir en la viabilitat, especificacions o decisions pel que fa a la instal·lació d'autoconsum compartit:
 1. **Disseny de la geometria:** aixecament d'un disseny tridimensional amb el software Sketch Up que permet ubicar els edificis en les seves coordenades corresponents, importar geometria del terreny i utilitzar diverses eines i Plug-ins per estudiar les ombres al llarg de l'any. Aquest Plug-In serveix per conèixer les superfícies més òptimes per la instal·lació de captadors i veure l'impacte de les ombres.
 2. **Recull de dades de consum:** a través d'Endesa Distribución s'han obtingut dades de consum hora a hora al llarg d'un any de la major part de les cases. Per les cases sense accés a la base de dades s'han creat corbes tipus a partir de factures obtingudes i altres mètodes.
 3. **Producció amb PVGIS:** s'ha utilitzat l'eina PVGIS de la Unió Europea per recrear corbes de producció dels diferents emplaçaments disponibles obtinguts en el primer punt.
 4. **Presentació de les configuracions tècnicament possibles:** s'han presentat les diferents configuracions tècnicament possibles i s'han enumerat els principis de dimensionat per cada una.
 5. **Configuracions contemplades sota la regulació legal vigent:** es presenta un resum de les diferents opcions legals que es poden dur a terme.

- **ANÀLISI DE DADES:**
En aquest apartat s'han reunit les dades recopilades anteriorment i s'han valorat amb l'objectiu de descartar opcions no possibles:
 1. **Formalització de dades:** s'han creat dades de consum i producció. S'han creat eines de càlcul amb el software Microsoft Excel que permetin simular diferents distribucions de panells i on s'obtenen resultats de producció, consum i estimacions econòmiques de cost, estalvi i amortització.
 2. **Descartat de configuracions legalment no possibles:** s'han descartat aquelles opcions presentades com a tècnicament possibles però que legalment no es troben contemplades o que tenen algun tret que la legislació vigent prohibeix.
 3. **Descartat de configuracions socialment massa complexes:** d'entre les configuracions restants dins del filtre anterior, s'ha discutit sobre quines configuracions són més complexes pel que fa al consens social i s'han descartat.

- **TRIA DE LA CONFIGURACIÓ ÒPTIMA:**
D'entre les opcions tècnica, legal i socialment possibles que han resultat de l'apartat anterior, s'han valorat els avantatges i inconvenients de cada vessant en cada una d'elles i s'ha seleccionat una guanyadora:
 1. **Perspectiva econòmica:** s'ha valorat el cost econòmic de les opcions viables a partir de les estimacions de cost i amortització obtingudes de l'anàlisi de dades.
 2. **Perspectiva legal:** s'ha valorat la complexitat de legalitzar cada opció.

3. **Perspectiva social:** s'han valorat factors socials que influeixen en la facilitat d'implantar cada opció.
 4. **Tria final:** s'ha definit quina opció es la més òptima per presentar millors perspectives en cada un dels camps anteriors.
- DIMENSIONAMENT, ESPECIFICACIÓ I PLEC DE CONDICIONS:
S'ha dimensionat en format projecte tècnic la configuració triada amb l'ajuda d'un software professional de dimensionament:
1. **Perspectiva de consums a futur:** s'ha considerat que el preu de la llum no creix.
 2. **Dimensionament:** s'han enumerat les especificacions energètiques necessàries per l'opció triada.
 3. **Especificació:** s'han triat les tecnologies necessàries per completar l'opció triada.
 4. **Llistat de materials:** s'han triat els productes, fabricants i quantitats necessàries per la instal·lació.

4.1.1 Ubicació geogràfica

L'emplaçament és el conjunt de 16 cases compreses en l'adreça postal:

*Plaça dels 4 Vents
08231 Ullastrell
Barcelona*

Amb coordenades: 41.523000N , 1.953000E



Figura 46: Vista satèl·lit del conjunt de cases del projecte. Font: Google Maps

4.1.2 Clima

A Ullastrell els estius son calents, secs i principalment clars, i els hiverns, freds i parcialment ennuvolats. La temporada calorosa dura aproximadament 3 mesos (Juny, Juliol i Agost), i la temperatura oscil·la durant les hores de sol entre els 20 i 30 °C. La temporada freda dura

aproximadament 3 mesos (Desembre, Gener i Febrer) i la temperatura oscil·la durant les hores de sol entre els 5 i 12°C

La nuvolositat de setembre a maig es manté constant amb un 30% de dies ennuvolats i un 70% de dies clars. Els mesos de juny, juliol i agost, la nuvolositat es redueix a un 20% dels dies.

4.1.3 Geometria solar

La duració del dia a Ullastrell varia considerablement al llarg de l'any.

Solstici d'hivern: 21 de Desembre. 9h i 10min de sol.

Solstici d'estiu: 20 de Juny. 15h i 11min de sol.

L'orientació idònia pels captadors serien 0°S (azimut) que correspon a l'orientació del Sol a les 13h durant els mesos d'estiu, i les 14h durant els mesos d'hivern.

La inclinació idònia pels captadors depèn de si es vol treure màxim rendiment durant l'estiu, l'hivern o de l'any sencer:

Any sencer: 30°

Estiu: 12°

Hivern: 42°

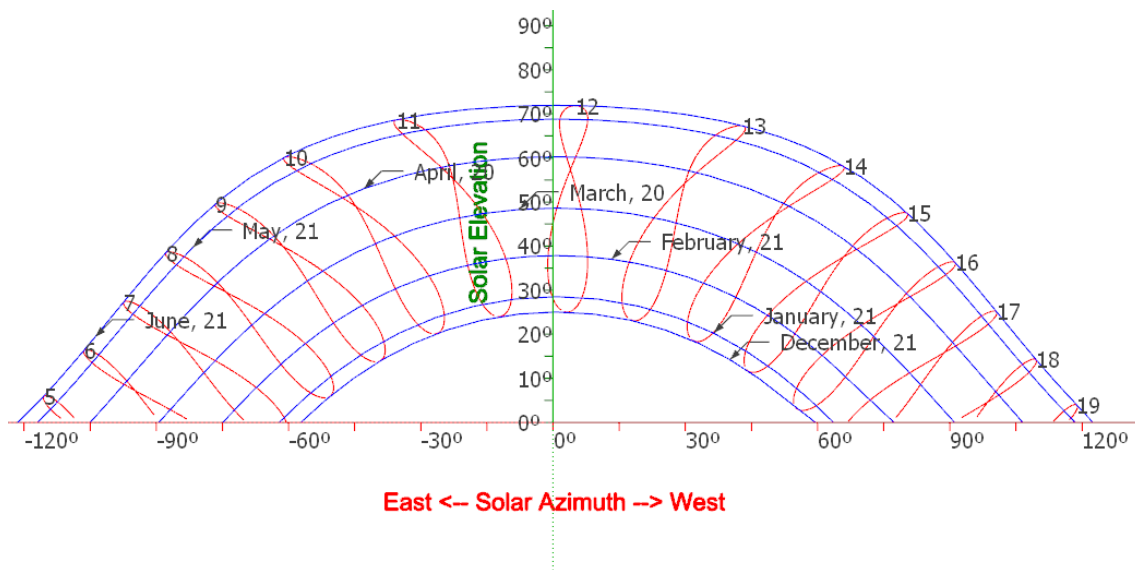


Figura 47: Representació gràfica del recorregut solar (blau) en diferents mesos de l'any a Ullastrell. Font: WeatherSpark.

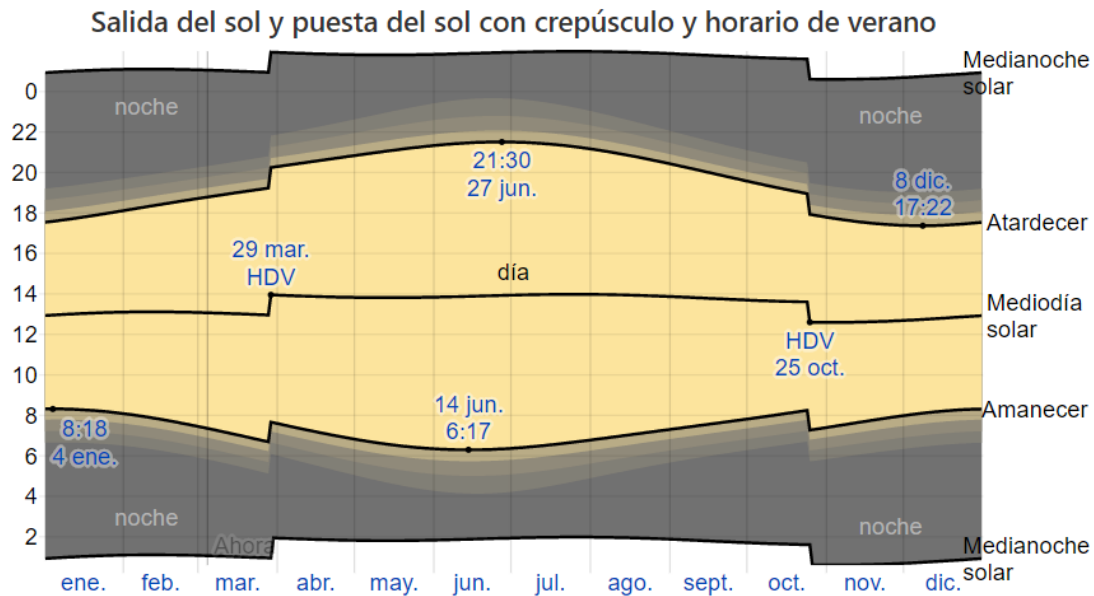


Figura 48: Gràfic amb hora posta de sol i, migdia solar i crepuscle a Ullastrell. Font: WeatherSpark.

4.2 Recull de dades

4.2.1 Disseny de la geometria

Una de les característiques peculiars d'aquest estudi es la complexitat i varietat de superfícies on ubicar captadors. Per analitzar al detall les ombres, en aquest cas s'ha utilitzat l'eina de disseny Google Sketch Up, que permet reproduir al detall la geometria dels habitatges. El mateix software permet ubicar el disseny en un emplaçament geogràfic del planeta i simular les ombres al llarg de les hores del dia i els dies de l'any.

L'estudi d'ombres també s'ha realitzat amb l'ajuda del *plug-in* per Sketch Up, Skelion Solar. Skelion Solar et permet projectar i dibuixar ombres al llarg de superfícies per detectar les àrees on un panell solar serà tapada per un element.

Primera selecció de zones per descart

Amb aquesta primera selecció, es pretén reduir el nombre de superfícies que caldrà estudiar al detall. Es descarten a simple vista:

- Superfícies ombrívols (Façanes orientades a N, NE o NO i façanes laterals).
- Superfícies massa petites per col·locar agrupacions de plaques.
- Finestres i portes.
- Zones de transit, zones amb vegetació o amb instal·lacions domèstiques.

Això estalvia realitzar cap estudi en aquestes cares i centrar l'estudi en aquelles que tenen bon potencial fotovoltaic:



Figura 49: Disseny tridimensional del grup de cases i classificació de les superfícies per colors. Perspectiva Nord. Font: Elaboració pròpia.

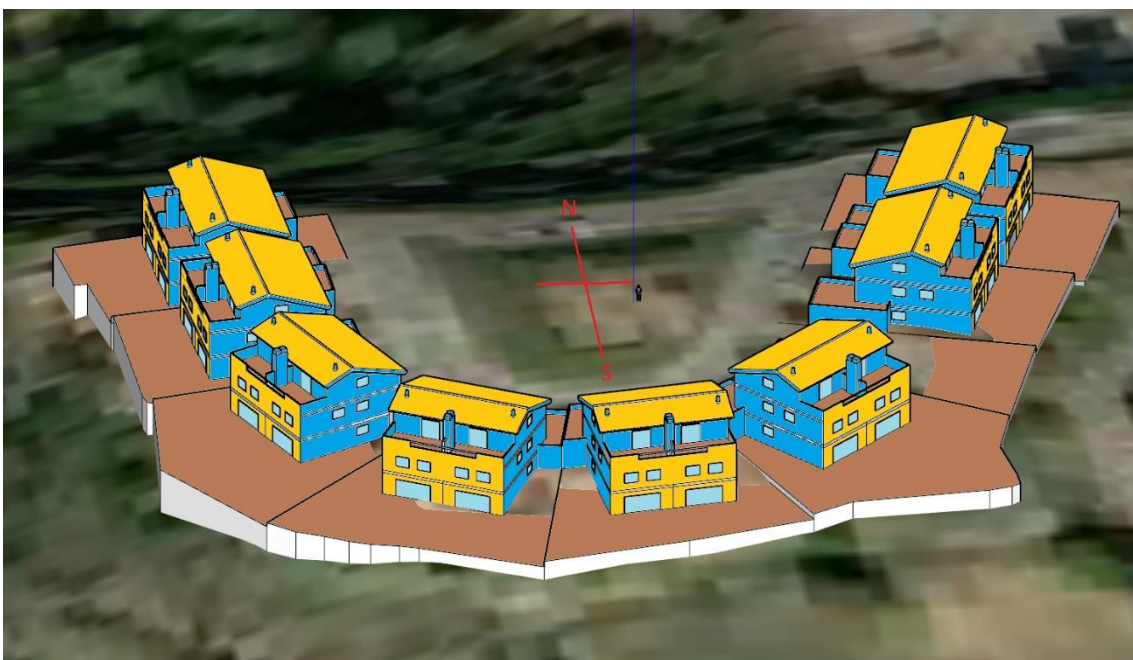


Figura 50: Disseny tridimensional del grup de cases i classificació de les superfícies per colors. Perspectiva Sud. Font: Elaboració pròpia.

LLEGENDA			
Superfícies ombrívoles o petites	Finestres i portes No obstaculitzar	Zones de transit No disponibles	Superfícies assolellades Adequades per panells

Figura 51: Taula classificació de les diferents superfícies de les cases. Font: Elaboració pròpia.

Estudi d'ombres al detall

L'objectiu de l'estudi d'ombres al detall és localitzar ombres que es puguin projectar sobre superfícies assolellades, fet que podria condicionar la instal·lació de panells.

Per l'estudi d'ombres s'utilitzarà el plug-in de Google Sketch Up, Skelion Solar. Aquest plug-in és capaç de representar, a partir del model tridimensional, les ombres generades sobre una superfície en un moment de l'any o al llarg d'un rang temporal. Té en compte tant la ubicació geogràfica com el fus horari del lloc.

Amb l'ajuda d'aquest plug-in es representa tota la superfície que les ombres han escombrat en el model al llarg del dia. El dia escollit per fer l'estudi es el 21 de Desembre, solstici d'Hivern, ja que serà el dia de l'any en que el Sol projectarà les ombres més llargues.

Les ombres que es representen sobre les superfícies son només aquelles degudes a elements externs a la superfície en si. És a dir, no es representa la pròpia ombra de la superfície analitzada.

ESTUDI D'OMBRES AL DETALL

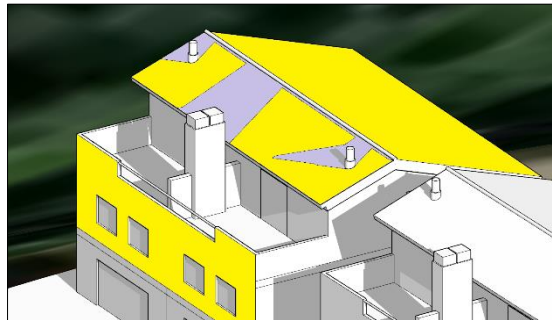


Figura 52: Superfícies assolellades o ombrívoles. Bloc 1. Font: Elaboració pròpia.

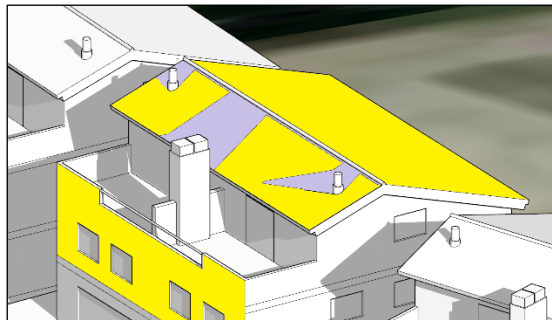


Figura 53: Superfícies assolellades o ombrívoles. Bloc 2. Font: Elaboració pròpia

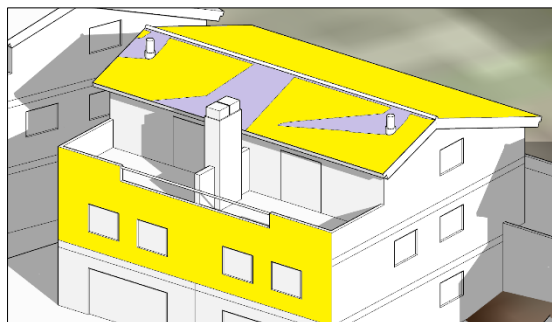


Figura 54: Superfícies assolellades o ombrívoles. Bloc 3. Font: Elaboració pròpia



Figura 55: Superfícies assolellades o ombrívoles. Bloc 4. Font: Elaboració pròpia

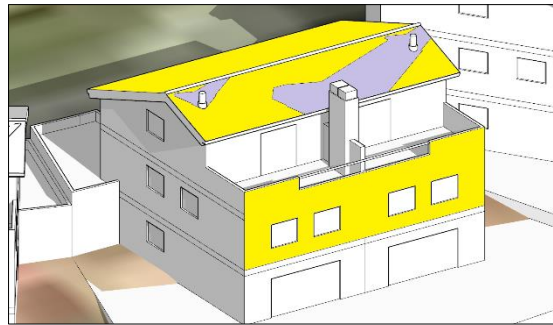


Figura 56: Superfícies assolellades o ombrívoles. Bloc 5. Font: Elaboració pròpia



Figura 57: Superfícies assolellades o ombrívoles. Bloc 6. Font: Elaboració pròpia



Figura 58: Superfícies assolellades o ombrívoles. Bloc 7. Font: Elaboració pròpia



Figura 59: Superfícies assolellades o ombrívoles. Bloc 8. Font: Elaboració pròpia

LLEGENDA	
Zones amb sol tot l'any	Zones on es projecta una ombra en algun moment de l'any

Figura 60: Llegenda de superfícies. Font: Elaboració pròpia.

Com es pot observar en els resultats, els únics elements que generen ombres sobre les superfícies estudiades son les xemeneies que sobresurten de les teulades. També es pot observar que aquestes ombres afecten únicament als vessants exteriors de la teulada. En alguns casos les àrees grises arriben a cobrir el 50% de la superfície.

No obstant això, cal tenir en compte que aquesta representació es un escombrat. La superfície gris no està sota ombra durant tots els dies de l'any ni tampoc durant totes les hores del dia.

Càlcul de pèrdues per ombres

El plug-in Skelion Solar també permet simular plaques solars sobre superfícies triades i genera un report sobre les pèrdues provocades per aquestes ombres.

Pèrdua mensual per ombres (%)												
Bloc	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des
1	2,34	1,7	0,91	0,85	0,65	0,69	0,71	0,71	0,91	1,23	1,8	2,12
2	2,35	1,75	1	0,83	0,63	0,65	0,8	0,69	1,01	1,33	1,9	2,31
3	2,02	1,43	0,95	0,8	0,63	0,84	0,93	0,75	0,85	1,25	1,77	2,51
4	3,25	1,85	1,14	0,97	0,36	0,19	0,21	0,66	1,3	1,71	2,55	3,59
5	3,41	2,71	1,21	0,2	0,11	0,06	0,06	0,03	0,95	2,29	3,37	3,87
6	2,76	1,39	1,14	0,64	0,53	0,32	0,51	0,68	0,94	1,3	2,36	3,1
7	2,22	1,24	0,87	0,5	0,66	0,78	0,9	0,57	0,66	1,05	1,67	2,52
8	2,4	1,33	0,87	0,51	0,66	0,83	0,9	0,57	0,67	1,06	1,79	2,68

Figura 61: Pèrdua mensual deguda a les ombres a cada superfície estudiada. Font: Elaboració pròpia.

De promig les pèrdues mensuals son d'un 1,3% i el valor més alt es 3,87%.

Aquestes pèrdues no son negligibles, però tampoc suficientment altes com per descartar els vessants E de les teulades. Sí que caldrà tenir-les en compte més endavant per reduir-ne l'impacte.

4.2.2 Recull de dades de consum

La informació sobre el consum d'aquelles llars a estudiar és de vital importància per optimitzar econòmicament la instal·lació, ajustant la inversió inicial a la demanda. Com més fiable sigui aquesta informació, de major qualitat es podrà realitzar l'estudi.

Les dades de consum poden tenir diferents nivells de resolució: anual, mensual, diari o horari. S'han obtingut dades de consum al llarg de l'any 2019 dels 16 habitatges de la plaça mitjançant tres fonts d'informació:

- **Factures:** aporten dades de consum mensual o bimensual, on es pot observar a variació del consum degut al clima i l'absència o presència d'habitants.
- **Dades de consum de la distribuïdora:** s'obtenen a partir del portal web i es descarreguen en format .csv. Tenen resolució horària.
- **Aportació dels veïns:** consum total de l'any 2019.

La qualitat obtinguda de les 16 cases varia àmpliament:

Casa Dades

- 1 sense dades
- 2 factures bimensuals
- 3 sense dades
- 4 consums any sencer hora a hora
- 5 sense dades
- 6 consum total 1 any
- 7 consums any sencer hora a hora
- 8 consums any sencer hora a hora
- 9 consums any sencer hora a hora
- 10 consum total 1 any
- 11 sense dades
- 12 consums any sencer hora a hora
- 13 sense dades
- 14 consums any sencer hora a hora
- 15 consums any sencer hora a hora
- 16 consums any sencer hora a hora

Figura 62: Taula de dades de consum obtingudes. Font: Elaboració pròpia.

Per poder realitzar l'estudi de dades és necessari disposar dels consums de totes les cases amb el mateix nivell de resolució. S'ha triat la resolució hora a hora ja que és aquella que aporta més informació. Dels habitatges dels que no es disposa aquesta dada s'han creat models representatius sintètics:

Casa	Dades	Corba sintètica
1	sense dades	corba mitja de totes les llars amb dades
2	factures bimensuals	corba mitja de totes les llars amb dades ajustada al valor total dels 2 mesos
3	sense dades	corba mitja de totes les llars amb dades
5	sense dades	corba mitja de totes les llars amb dades
6	consum total 1 any	corba mitja de totes les llars amb dades ajustada al valor total de l'any
10	consum total 1 any	corba mitja de totes les llars amb dades ajustada al valor total de l'any
11	sense dades	corba mitja de totes les llars amb dades
13	sense dades	corba mitja de totes les llars amb dades

Figura 63: Taula d'obtenció de dades hora a hora per totes les cases. Font: Elaboració pròpia.

Les dades finals obtingudes de totes les cases s'han formalitzat en un document Excel de 140.160 posicions, que conté les dades de consum dels habitatges al llarg d'un any:

$$365 \text{ dies} \times 24 \text{ hores} \times 16 \text{ habitatges} = 140.160 \text{ posicions}$$

Presentades amb el següent format:

Casa	Dia	Mes	Hora	Consum (kWh)
1	1	1	0	1,363
1	1	1	1	0,387
1	1	1	2	1,119
...

Aquestes dades permeten representar uns primers gràfics:

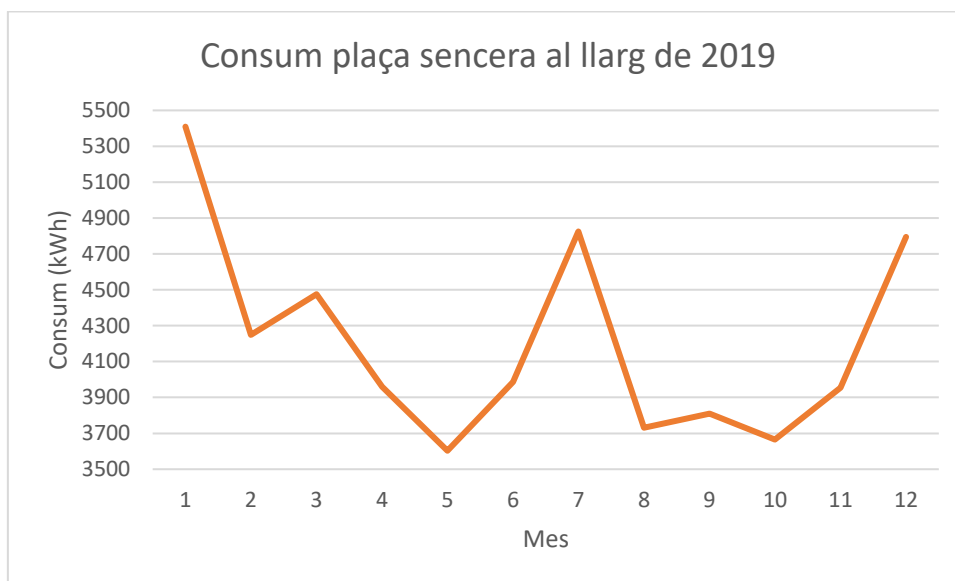


Figura 64: Gràfic de consum de la plaça sencera durant el 2019. Font: Elaboració pròpia.

D'aquesta gràfica se'n poden extreure algunes primeres conclusions:

- Es confirma la variació de consum al llarg de l'any en habitatges, coneguda àmpliament, amb pics durant els mesos de més calor i fred degut als sistemes de climatització elèctrics.
- L'Agost tot i ser càlid apareix amb un consum baix. Es pot atribuir a l'absència d'habitants durant les vacances.
- El consum mensual de la plaça completa es troba comprès entre els 3500kWh i els 5500kWh mensuals.

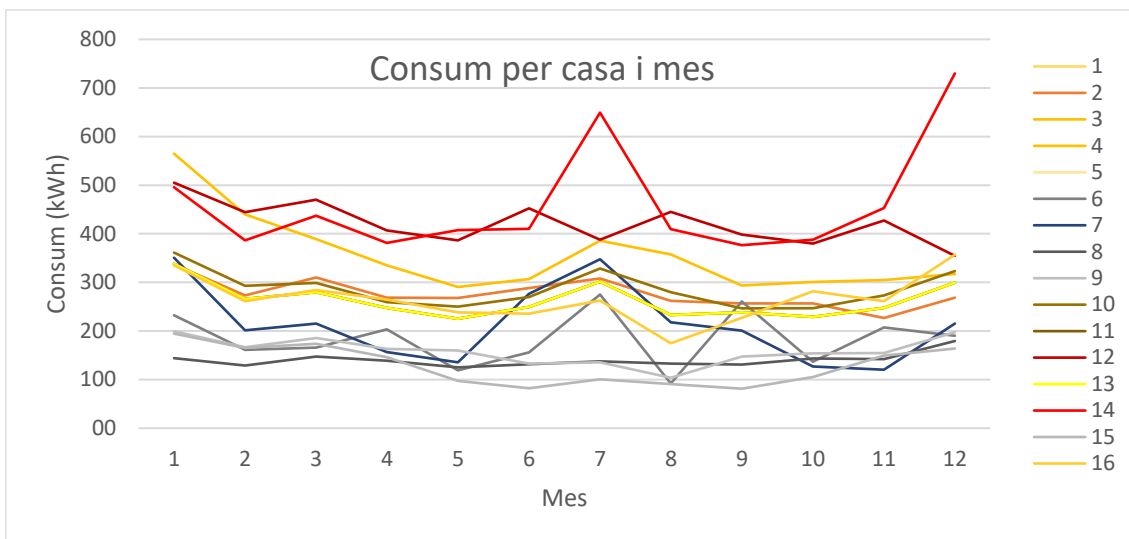


Figura 65: Gràfic de consum per casa i mes al llarg del 2019. Font: Elaboració pròpia.

D'aquesta gràfica es poden observar algunes dades rellevants:

- Les cases 6, 7, 8, 9 i 15 (tonalitats del gris) tenen un consum mensual moderat que no acostuma a superar els 250kWh mensuals.
- Les cases 1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 13 i 16 (tonalitats del groc) tenen un consum mensual mitjà al voltant dels 300kWh mensuals. En aquestes s'hi inclouen les cases amb dades sintètiques.
- Les cases 12 i 14 (tonalitats del vermell) tenen un consum mensual elevat, al voltant dels 400kWh amb algun pic de 600kWh o més.

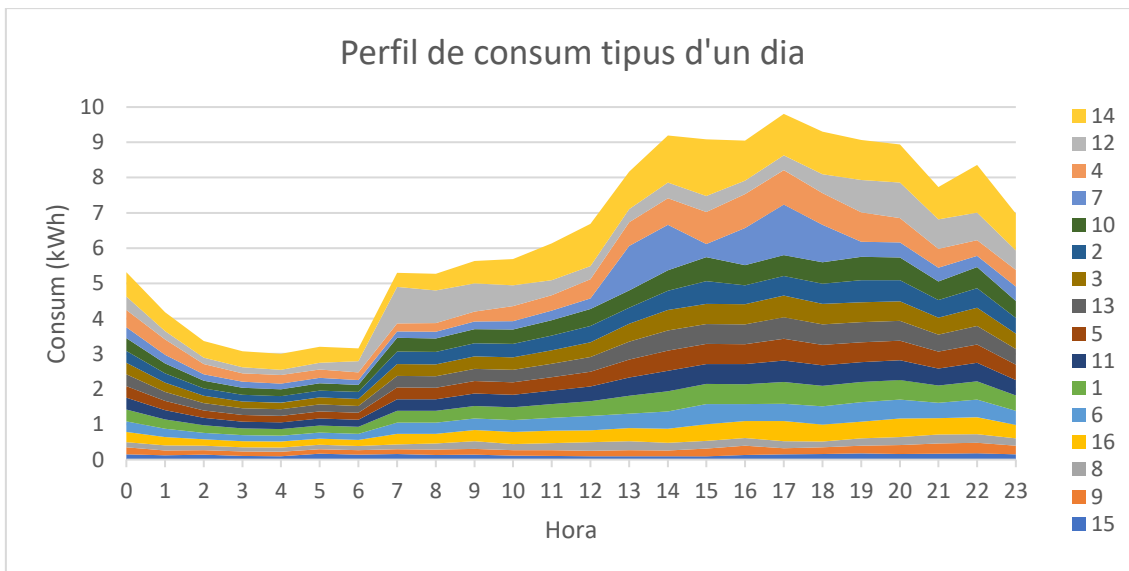


Figura 66: Gràfic de perfil mitjà de consum al llarg d'un dia per cada una de les 16 cases. Font: Elaboració pròpia.

D'aquesta gràfica es poden observar algunes dades rellevants:

- El perfil de consum respecta la corba típica de consum residencial, amb el característic pic a la tarda, la vall durant la nit, i un increment clar en hores d'inici del dia.
- El pic de consum coincideix amb les 18h, quan arriba en mitjana als 10kWh.
- Durant la nit, la plaça continua consumint de mitjana 3kWh.

4.2.2 Recull de dades de producció

El tercer grup de dades necessàries per realitzar l'estudi es la potencial producció del sistema. L'obtenció d'aquestes dades s'ha realitzat amb l'eina europea PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) i posteriorment s'han comparat les dades obtingudes amb l'eina PVWATTS.

Aquestes eines disposen d'una base de dades de nuvolositat i irradiància sobre la superfície, que s'han obtingut a través d'imatges d'alta resolució captades amb satèl·lit. També disposen d'una calculadora de producció fotovoltaica que extreu les dades de producció tenint en compte ubicació geogràfica, nuvolositat, nombre de panells, orientació dels panells, inclinació dels panells, tecnologia i potència dels panells, perfil de l'horitzó i pèrdues per eficiència. Es tracta d'una eina utilitzada àmpliament que es recolza sobre la base de dades mencionada. (EU SCIENCE HUB, 2019)

Per a obtenir resultats de producció, s'han d'imputar al programa les següents dades:

UBICACIÓ: 41.523005N , 1.953000E

ORIENTACIÓ: Per conservar l'estètica i disseny dels habitatges residencials s'han fixat els següents paràmetres per distribuir les plaques en les superfícies adequades:

- Els panells solars es disposaran paral·lels a la superfície on es troben muntats.
- Els panells solars aniran muntats en files paral·leles a l'aresta més llarga de la superfície.
- Els panells solars han de quedar disposats en files i columnes alineades.

Per tant, l'orientació i inclinació dels panells serà la mateixa que les superfícies on es trobin muntats. Amb l'ajuda del disseny d'Sketch Up, s'han mesurat orientacions i inclinacions de les diferents superfícies triades on ubicar captadors, i s'han introduït PVGIS per cada superfície:

Definició	TAG	Inclinació (º)	Azimut (º)	Orientació
Vessant Exterior Bloc 1	E1	19	88	O
Vessant Exterior Bloc 2	E2	19	88	O
Vessant Exterior Bloc 3	E3	19	67	SO
Vessant Exterior Bloc 4	E4	19	30	SO
Vessant Exterior Bloc 5	E5	19	-4	S
Vessant Exterior Bloc 6	E6	19	-39	SE
Vessant Exterior Bloc 7	E7	19	-69	SE
Vessant Exterior Bloc 8	E8	19	-69	SE
Vessant Interior Bloc 1	I1	19	-92	E
Vessant Interior Bloc 2	I2	19	-92	E
Vessant Interior Bloc 3	I3	19	-113	NE
Vessant Interior Bloc 4	I4	19	-150	NE
Vessant Interior Bloc 5	I5	19	-176	N
Vessant Interior Bloc 6	I6	19	141	NO
Vessant Interior Bloc 7	I7	19	111	NO
Vessant Interior Bloc 8	I8	19	111	NO
Façana Bloc 1	F1	90	88	O
Façana Bloc 2	F2	90	88	O
Façana Bloc 3	F3	90	67	SO
Façana Bloc 4	F4	90	30	SO
Façana Bloc 5	F5	90	-4	S

Façana Bloc 6	F6	90	-39	SE
Façana Bloc 7	F7	90	-69	SE
Façana Bloc 8	F8	90	-69	SE

Figura 67: Taula amb inclinacions i orientacions de les diferents superfícies. Font: Elaboració pròpia.

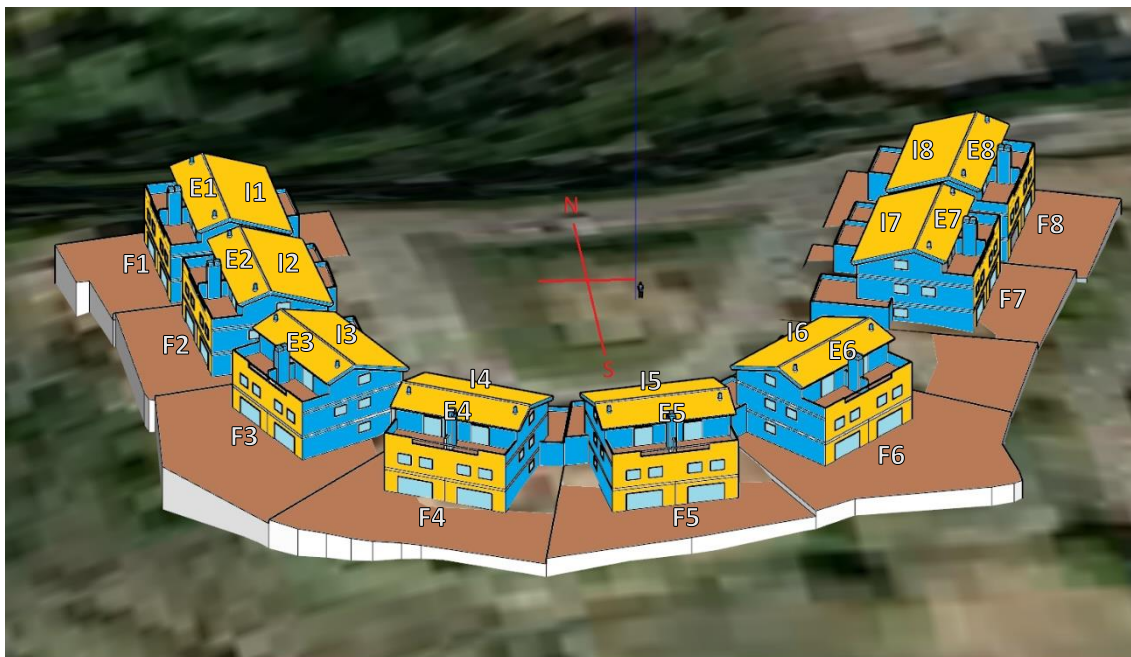


Figura 68: Identificació de les diferents superfícies amb el seu TAG. Font: Elaboració pròpia.

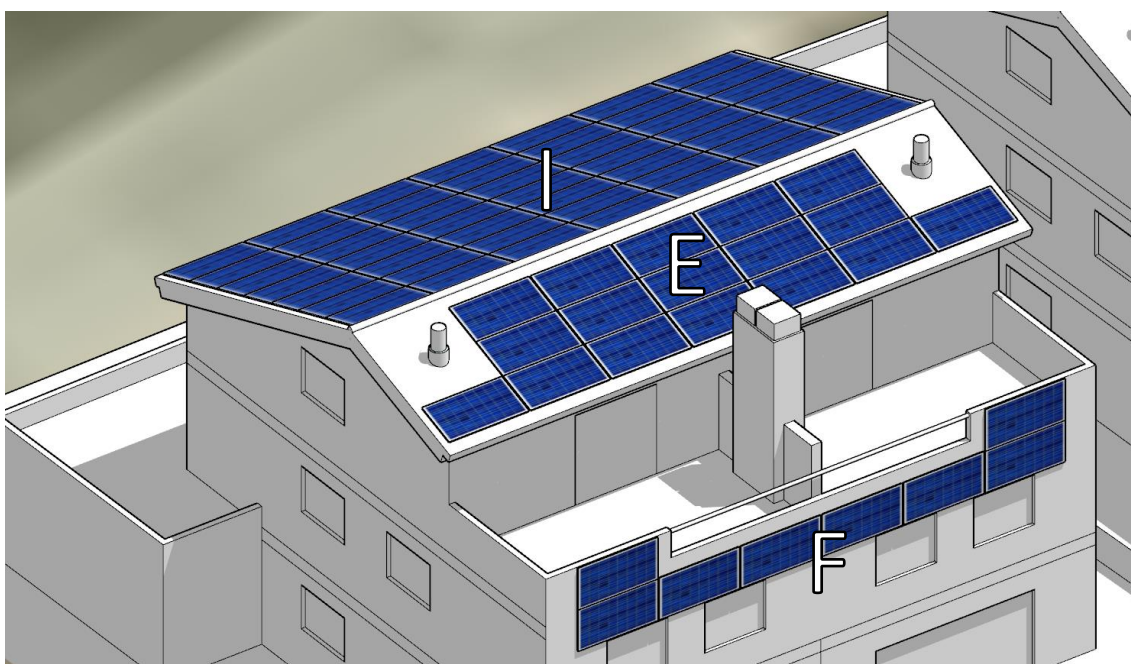


Figura 69: Identificació de les diferents superfícies segons son interiors, exteriors o façana. Font: Elaboració pròpia.

A la Figura 69 s'han representat a mode d'exemple els panells màxims de dimensions 2x1m que es podrien encabir en cada superfície. Les dades de producció s'han recopilat considerant una sola unitat d'aquests panells de 2m².

POTÈNCIA DEL PANELL: En aquesta fase inicial del treball s'ha pres com a referència un panell solar estandarditzat i disponible en moltes marques. Les característiques d'aquest panell son:

P_{max}: 330Wp
Dimensions: 2m x 1m

RESULTATS:

Les dades de producció obtingudes s'han generat amb un nivell de resolució hora a hora i s'han descarregat i formalitzat en un document Excel amb 420.480 posicions que contenen la producció hora a hora per panell de cada una de les superfícies:

$$365 \text{ dies} \times 24 \text{ hores} \times 16 \text{ habitatges} \times 3 \text{ superfícies} = 420.480 \text{ posicions}$$

Presentades amb el següent format:

Casa	Dia	Mes	Hora	Pi (kWh)	Pe (kWh)	Pf (kWh)
1	1	1	0	0,000	0,000	0,000
1	1	1	1	0,037	0,010	0,003
1	1	1	2	0,065	0,026	0,011
...

Figura 70: Taula representativa del format de formalització de dades de producció elaborat. Font: Elaboració pròpia.

On:

Pi [kWh] = producció per panell ubicat en la cara interior de la teulada (orientada cap al centre de la plaça).

Pe [kWh] = producció per panell ubicat en la cara exterior de la teulada (orientada d'esquena a la plaça).

Pf [kWh] = producció per panell ubicat en la façana de la casa (façana orientada cap a l'exterior de l'arc que formen les cases).

Aquestes dades permeten representar alguns gràfics:

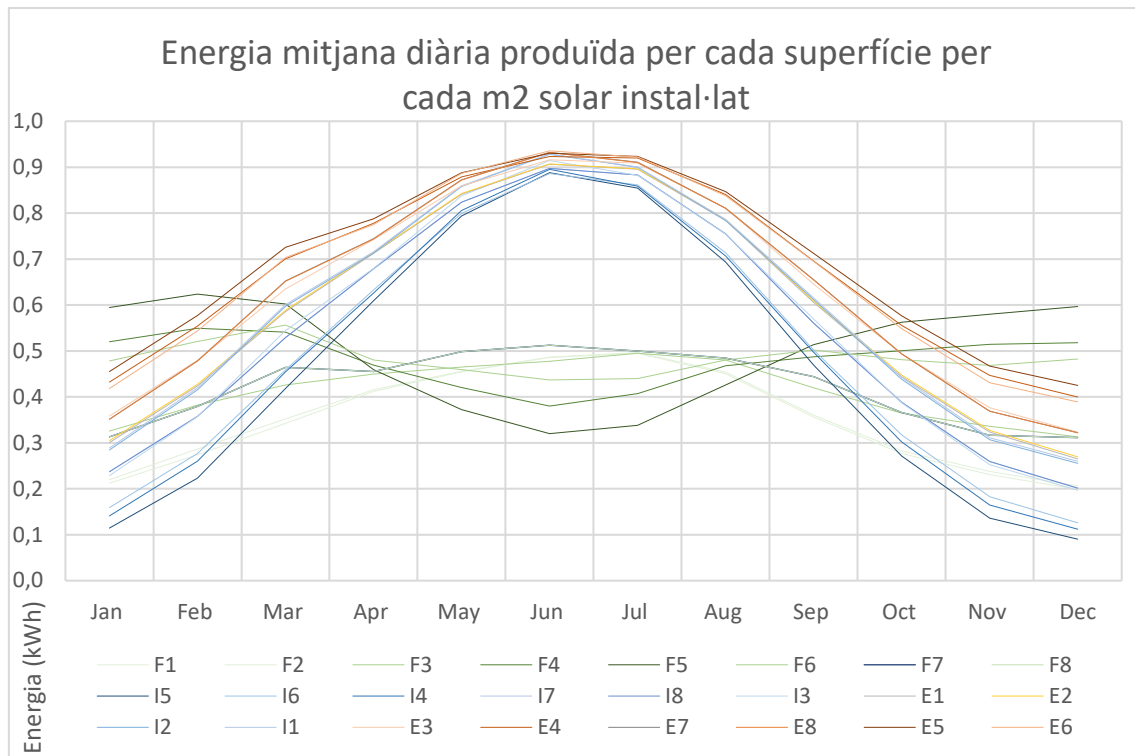


Figura 71: Gràfic d'energia mitjana diària produïda per cada superfície per m2 instal·lat. Font: Elaboració pròpia.

En aquest gràfic es mostra representada quina seria la producció que acumularia un m2 de panell al llarg d'un dia de cada un dels mesos de l'any. La única diferència entre les diferents corbes ve donada per l'orientació i inclinació de cada superfície. S'han acolorit les corbes E (vessants exteriors de cada teulada) de colors grocs i vermells. S'han acolorit les corbes I (vessants interiors de cada teulada) de colors blaus. S'han acolorit es corbes F (façanes exteriors) de colors verds.

D'aquesta figura es poden extreure algunes observacions detallades:

- La producció màxima als vessants exteriors (grocs) i interiors (blaus) es troba al solstici d'estiu, i la mínima al solstici d'hivern.
- La producció dels vessants exteriors (grocs) és superior al llarg de tot l'any respecte els vessants interiors (blaus).
- La diferència de producció entre tots els vessants interiors i exteriors és molt petita quan s'apropa el solstici d'estiu, però s'eixampla quan s'apropa el solstici d'hivern.
- La producció a les façanes (verds) descriuen dues formes diferents:
 - En aquelles façanes orientades a oest o est, la campana descriu una forma similar als vessants interiors de les teulades (màxim en solstici d'estiu i mínim en solstici d'hivern), però amb uns valors molt encongits durant l'estiu.
 - En aquelles façanes orientades a sud, la campana s'inverteix i té el seu màxim al solstici d'hivern i mínim al solstici d'estiu.

També es poden treure algunes conclusions de nivell més alt:

- Si es volguessin instal·lar panells amb l'objectiu de treure el màxim rendiment durant l'estiu, s'hauria de començar per els vessants exteriors de les teulades, en el següent ordre: E5, E4, E6,

E3, E7, E8, E2, E1. I continuar pels vessants interiors, en el següent ordre: I1, I2, I8, I7, I3, I6, I4, I5. La darrera prioritat seria instal·lar panells a les façanes.

- Si es volguessin instal·lar panells amb l'objectiu de treure el màxim rendiment durant l'hivern, s'hauria de començar per les façanes orientades a sud, en el següent ordre: F5, F4, F6. I en cas necessari, continuar amb les demés en el següent ordre: E5, E4, E6, E3, E8, E7, E8, F3, F8, E2, E1, I1, I2, I8, I7, I3, F2, F1, I6, I4, I5.

- La inclinació afecta principalment a quins mesos de l'any s'obté un major rendiment de les plaques.

- La orientació afecta principalment a quin rendiment general s'obté de les plaques, amb un accent especial a l'hivern.

4.2.3 Presentació de configuracions tècnicament possibles

L'*state of the art*⁸ del control de l'electricitat al present es troba en un punt molt prometedor, en el que la tecnologia s'ha tornat intel·ligent, flexible i gestionada a distància. Els comptadors intel·ligents, per exemple, aporten moltes possibilitats. Disposen de la capacitat de tele gestionar paràmetres com alta, baixa, talls, reconexions, control de potència i canvis de tarifa sense intervenció manual en el comptador. A més, aquesta telegestió facilita una lectura exacta en el termini del consum o la producció, permetent facturació o un us més flexible d'aquesta informació, una adaptació del consum per una millor eficiència energètica i permet a l'usuari tenir un paper més actiu en el sistema. Els comptadors intel·ligents també permeten major rapidesa en la localització i gestió d'averies.

Actualment les companyies elèctriques ja s'estan beneficiant dels avantatges que ofereixen aquests comptadors. Però no són les úniques que es podrien beneficiar dels comptadors intel·ligents. Una adequada integració de les dades obtingudes per aquests comptadors en una agrupació d'instal·lacions d'autoconsum i consumidors associats permetria crear una repartició intel·ligent dels costos, estalvis i beneficis d'aquestes produccions, canalitzant totes aquestes dades en un algoritme acordat per la comunitat, on s'extregui de la inversió el màxim profit econòmic.

De la mateixa manera, existeixen múltiples *gadgets* electrònics que permeten monitoritzar i gestionar la producció o els excedents d'una instal·lació per redirigir l'energia envers el destí que més interessa a l'usuari.

En els següents apartats es presenten diferents configuracions que són tècnicament possibles, algunes clàssiques i d'altres que s'habiliten gràcies aquesta tecnologia en els comptadors. Classificades segons nivell de cooperació entre auto-consumidors i nivell d'independència de la xarxa, podem trobar:

MODELS SENSE COOPERACIÓ

Sistemes independents entre els auto-consumidors, en els quals la producció d'un auto-consumidor només és útil per ell mateix:

SISTEMA INJECCIÓ "0"

	Principis - Hi ha producció però no emmagatzematge.
--	---

⁸ *State of the art*: Anglisme associat amb la tecnologia o el descobriment punter d'un camp d'investigació, recerca o desenvolupament.

	<ul style="list-style-type: none"> - Cada llar consumeix la seva pròpia producció durant les hores de sol. - L'excident de producció de cada llar es perd. - Cada llar compensa el dèficit de producció consumint de la xarxa pública.
<p>Amortització El cost de la instal·lació s'amortitza mitjançant l'estalvi a la factura durant les hores de sol.</p>	<p>Dimensionat</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionat independent per cada llar - Dimensionat de la instal·lació fotovoltaica per cobrir el màxim de la demanda de cada llar durant les hores de sol. - Dimensionar per tenir el mínim d'excident possible (ajustar però no sobredimensionar).

Figura 72: Principis, dimensionat i amortització d'una instal·lació d'injecció 0. Font: Elaboració pròpia.

SISTEMA POOL

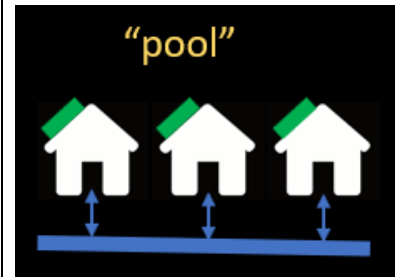

	<p>Principis</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hi ha producció però no emmagatzematge. - Cada llar consumeix la seva pròpia producció durant les hores de sol. - Cada llar injecta l'excident a la xarxa de distribució pública. - Cada llar compensa el dèficit de producció consumint de la xarxa pública.
<p>Amortització El cost de la instal·lació s'amortitza mitjançant l'estalvi de la factura durant les hores de sol i la reducció de la factura quan s'injecta excident.</p>	<p>Dimensionat</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionat independent per cada llar. - Dimensionat dependent del preu per kwh injectat a la xarxa: dimensionat per cobrir el terme complet de consum de la factura o bé dimensionar per tenir el mínim d'excident possible.

Figura 73: Principis, dimensionat i amortització d'una instal·lació pool. Font: Elaboració pròpia.

BATERIES I CONNEXIONS A XARXA INDIVIDUALS

	<p>Principis</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hi ha producció i un petit emmagatzematge - Cada llar consumeix i emmagatzema la seva pròpia producció durant les hores de sol. - Cada llar ven l'excident de producció a la companyia elèctrica a un preu inferior al de mercat. - Cada llar consumeix l'energia emmagatzemada durant les hores sense sol. - Cada llar s'alimenta de la xarxa a preu de mercat quan la bateria es buida.
	<p>Dimensionat</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionat independent per cada llar - Dimensionat de la instal·lació fotovoltaica per cobrir el consum d'un dia.

	- Dimensionat de la bateria per emmagatzemar el consum d'una nit.
Amortització El cost de la instal·lació s'amortitza mitjançant l'estalvi de la factura durant les hores de sol, l'estalvi de la factura quan s'obté l'energia de les bateries i la reducció de la factura quan s'injecta excedent a la xarxa pública.	

Figura 74: Principis, dimensionat i amortització d'una instal·lació individual amb bateries i connexió a la xarxa. Font: Elaboració pròpia.

AÏLLADA

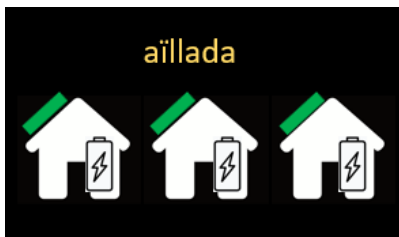
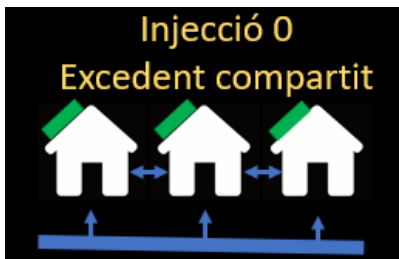
	Principis - Hi ha producció i emmagatzematge - Cada llar consumeix i emmagatzema la seva pròpia producció durant les hores de sol. - Cada llar consumeix l'energia emmagatzemada durant les hores sense sol. - Si la bateria es buida el consum queda sense energia.
	Dimensionat - Dimensionat independent per cada llar - Dimensionat de la instal·lació fotovoltaica per cobrir el consum d'un dia i omplir la bateria. - Dimensionat de la bateria per emmagatzemar el consum de diversos dies.
Amortització El cost de la instal·lació s'amortitza mitjançant l'estalvi degut a la inexistència de factures.	

Figura 75: Principis, dimensionat i amortització d'una instal·lació aïllada. Font: Elaboració pròpia.

MODELS AMB COOPERACIÓ PERÒ SISTEMES INDEPENDENTS

Aquest sistema permet la cooperació energètica entre les cases, tot i això hi ha diversos elements que es mantenen independents.

INJECCIÓ 0, EXCEDENT COMPARTIT

	Principis - Hi ha producció però no emmagatzematge - Cada llar consumeix la seva pròpia producció durant les hores de sol. - L'excedent de producció de cada casa es traspasa preferentment a veïns que tinguin dèficit. - El dèficit de producció de cada casa es compensa preferentment de veïns que tinguin excedent. - L'excedent de producció de cada casa que no es pugui traspasar a veïns es perd. - El dèficit de producció de cada casa que no es pot obtenir d'excedents de veïns s'obté de la xarxa pública.
	Dimensionat - Dimensionat independent per cada llar - Dimensionat de la instal·lació fotovoltaica per cobrir el màxim de la demanda de cada llar durant les hores de sol.

	- Dimensionat per tenir el mínim d'excident possible (ajustar però no sobredimensionar).
Finança de la comunitat	S'estableix un algoritme acordat per la comunitat que estableix el sistema de compensació i tarificació entre autoconsumidors.
Amortització	El cost de la instal·lació s'amortitza mitjançant l'estalvi a la factura durant les hores de sol i l'obtenció d'energia més econòmica dels veïns.

Figura 76: Principis, dimensionat i finançament comunitari i amortització d'una instal·lació d'injecció 0 amb excident compartit. Font: Elaboració pròpia.

EXCEDENT COMPRATIT, POOL

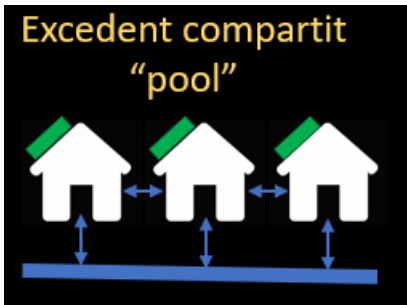
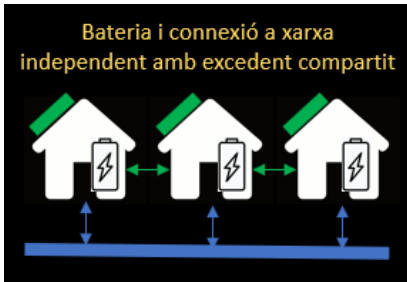
 <p>Excident compartit "pool"</p>	<p>Principis</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hi ha producció però no emmagatzematge. - Cada llar consumeix la seva pròpia producció durant les hores de sol. - L'excident de producció de cada casa es traspasa preferentment a veïns que tinguin dèficit. - El dèficit de producció de cada casa es compensa preferentment de veïns que tinguin excident. - L'excident de producció de cada casa que no es pugui traspasar a veïns s'injecta a la xarxa de distribució. - El dèficit de producció de cada casa que no es pugui compensar de veïns s'obté de la xarxa pública. <p>Dimensionat</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionat independent per cada llar. - Dimensionar depenent del preu per kWh injectat a la xarxa: dimensionat per cobrir el terme complet de consum de la factura o bé dimensionar per tenir el mínim d'excident possible.
	<p>Finança de la comunitat</p> <p>S'estableix un algoritme acordat per la comunitat que estableix el sistema de compensació i tarificació entre autoconsumidors.</p> <p>Amortització</p> <p>El cost de la instal·lació s'amortitza mitjançant l'estalvi a la factura durant les hores de Sol, l'obtenció d'energia dels veïns i la injecció d'energia a la xarxa pública.</p>

Figura 77: Principis, dimensionat i finançament comunitari i amortització d'una instal·lació connectada a la xarxa amb excident compartit. Font: Elaboració pròpia.

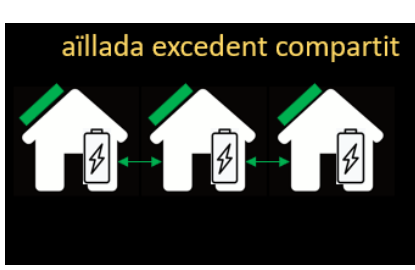
BATERIA I CONNEXIÓ A XARXA INDEPENDENT AMB EXCEDENT COMPARTIT

 <p>Bateria i connexió a xarxa independent amb excident compartit</p>	<p>Principis</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hi ha producció i un petit emmagatzematge. - Cada llar autoconsumeix i emmagatzema la seva pròpia producció durant les hores de Sol. - Cada llar consumeix l'energia emmagatzemada durant les hores sense Sol. - L'excident de producció de cada casa s'utilitza preferentment per emplenar la pròpia bateria. - L'excident de producció de cada casa quan la bateria és plena traspasa preferentment a veïns que tinguin dèficit.
--	--

	<ul style="list-style-type: none"> - Quan una llar te dèficit, utilitza preferentment l'energia emmagatzemada a la seva bateria. - El dèficit de producció de cada casa quan la bateria és buida es compensa preferentment de veïns que tinguin excedent. - L'excedent de producció de cada casa que no es pugui vendre a veïns s'injecta a la xarxa pública de distribució. - El dèficit de producció de cada casa que no es pugui obtenir de veïns s'obté de la xarxa pública. <p>Dimensionat</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionat independent per cada llar. - Dimensionat de la instal·lació fotovoltaica per cobrir el consum d'un dia. - Dimensionat de la bateria per emmagatzemar el consum d'una nit.
<p>Finança de la comunitat S'estableix un algorisme acordat per la comunitat que estableix el sistema de compensació i tarificació entre autoconsumidors.</p>	
<p>Amortització El cost de la instal·lació s'amortitza mitjançant l'estalvi de la factura durant les hores de Sol, l'obtenció d'energia dels veïns, la reducció de la factura quan s'injecta excedent i l'estalvi de la factura quan s'obté l'energia de les bateries.</p>	

Figura 78: Principis, dimensionat i finançament comunitari i amortització d'una instal·lació amb bateria i connexió a la xarxa amb excedent compartit. Font: Elaboració pròpia.

AÏLLADA EXCEDENT COMPARTIT

	<p>Principis</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hi ha producció i emmagatzematge. - Cada llar autoconsumeix i emmagatzema la seva pròpia producció durant les hores de Sol. - Cada llar consumeix l'energia emmagatzemada durant les hores sense Sol. - L'excedent de producció de cada casa s'utilitza preferentment per emplenar la pròpia bateria. - L'excedent de producció de cada casa quan la bateria és plena traspassa preferentment a veïns que tinguin dèficit. - Quan una llar te dèficit, compensa preferentment de veïns que tinguin excedent. - Quan una llar te dèficit i no es disposa d'excedent de veïns, la llar consumeix l'energia de la seva pròpia bateria. - Si la bateria es buida i no hi ha excedents d'altres veïns, la casa queda sense energia. <p>Dimensionat</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionat independent per cada llar. - Dimensionat de la instal·lació fotovoltaica per cobrir el consum d'un dia i omplir la bateria. - Dimensionat de la bateria per emmagatzemar el consum de diversos dies.
---	--

<p>Finança de la comunitat S'estableix un algoritme acordat per la comunitat que estableix el sistema de compensació i tarificació entre autoconsumidors.</p>
<p>Amortització El cost de la instal·lació s'amortitza mitjançant l'absència de factures i l'intercanvi d'excedents entre veïns.</p>

Figura 79: Principis, dimensionat i finançament comunitari i amortització d'una instal·lació aïllada amb excedent compartit. Font: Elaboració pròpia.

MODELS TOTALMENT COOPERATIUS

Aquest sistema converteix totes les cases en una sola xarxa, en la qual la producció, l'emmagatzematge i la obtenció d'energia de la xarxa s'unifica.

INJECCIÓ 0, EXCEDENT COMPARTIT, FACTURA ÚNICA

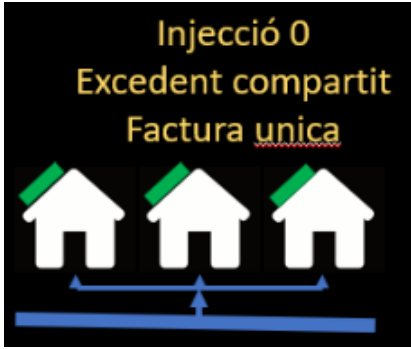
 <p>Injecció 0 Excedent compartit Factura única</p>	<p>Principis</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hi ha producció però no emmagatzematge. - La producció durant les hores de Sol de totes les teulades es consumeix per totes les cases. - L'excedent de producció de les teulades es perd. - El dèficit de producció de les cases es compra a la xarxa, a preu de mercat amb un únic comptador. <p>Dimensionat</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionat comú. - Dimensionat de la instal·lació fotovoltaica per cobrir el màxim de demanda de la plaça durant les hores de Sol. - Dimensionat per tenir el mínim d'excedent possible (ajustar però no sobredimensionar).
<p>Finança de la comunitat El pagament de l'amortització de la instal·lació comunitària es realitza en funció de les proporcions d'autoconsum de cada consumidor. El pagament de la factura de consum a la xarxa es reparteix segons el pes en el consum a xarxa de cada consumidor.</p>	
<p>Amortització El cost de la instal·lació s'amortitza mitjançant l'estalvi a la factura durant les hores de Sol, la unificació de diversos trams fixos de factura a un de sol.</p>	
<p>Unificació d'aparells S'unifica el consum a xarxa en un sol comptador. Es pot unificar en un sol inversor central.</p>	

Figura 80: Principis, dimensionat, finança comunitària, amortització i unificació d'aparells en una instal·lació d'injecció 0, excedent compartit i factura única. Font: Elaboració pròpia.

EXCEDENT COMPARTIT, POOL CONJUNT

	<p>Principis</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hi ha producció però no emmagatzematge. - La producció durant les hores de Sol de totes les teulades es consumeix per totes les cases. - L'excedent de producció de les teulades s'injecta a la xarxa de distribució pública. - El dèficit de producció de les cases s'obté de la xarxa pública.
--	---

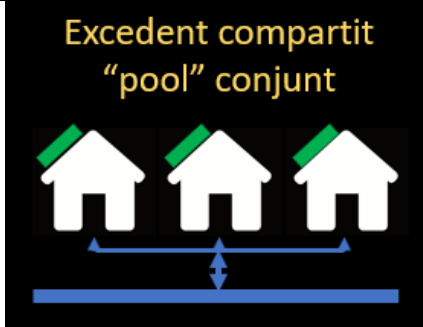
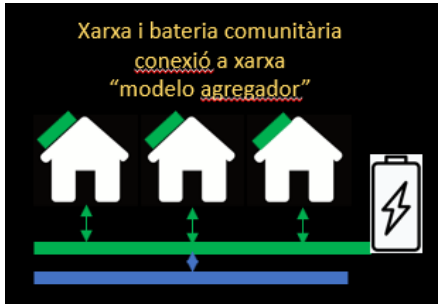
 <p>Excedent compartit "pool" conjunt</p>	<p>Dimensionat</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionat comú. - Dimensionat de la instal·lació fotovoltaica per cobrir el màxim de demanda de la plaça durant les hores de Sol. - Dimensionat depenent del preu per kWh injectat a la xarxa: dimensionar per cobrir el terme complet de consum de la factura o bé dimensionar per tenir el mínim d'excedent possible.
<p>Finança de la comunitat</p> <p>El pagament de l'amortització de la instal·lació comunitària es realitza en funció de les proporcions d'autoconsum de cada consumidor.</p> <p>El pagament de la factura de consum a la xarxa es reparteix segons el pes en el consum a xarxa de cada consumidor.</p>	
<p>Amortització</p> <p>El cost de la instal·lació s'amortitza mitjançant l'estalvi a la factura durant les hores de Sol, l'obtenció d'energia dels veïns i la injecció d'energia a la xarxa pública.</p>	
<p>Unificació d'aparells</p> <p>S'unifica el consum a xarxa en un sol comptador.</p> <p>S'unifica la injecció a xarxa en un sol comptador.</p> <p>Es pot unificar en un sol inversor central.</p>	

Figura 81: Principis, dimensionat, finança comunitària, amortització i unificació d'aparells en una instal·lació d'excedent compartit i *pool* conjunt. Font: Elaboració pròpia.

XARXA I BATERIA COMUNITÀRIA AMB CONNEXIÓ A XARXA

 <p>Xarxa i bateria comunitària connexió a xarxa "modelo agregador"</p>	<p>Principis</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hi ha producció i emmagatzematge. - Hi ha una xarxa interna connectada a una bateria comunitària. - La producció durant les hores de Sol de totes les teulades es consumeix per totes les cases. - La plaça consumeix l'energia emmagatzemada durant les hores amb dèficit de producció o sense Sol. - L'excedent de producció de les teulades s'utilitza preferentment per carregar la bateria. - L'excedent de producció de les teulades quan la bateria es plena s'exporta a la xarxa de distribució pública. - Quan la bateria es buida, el dèficit de producció de les cases es compensa de la xarxa pública. <p>Dimensionat</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionat comú. - Dimensionat de la instal·lació fotovoltaica per cobrir el consum de la plaça d'un dia. - Dimensionat de la bateria per emmagatzemar el consum de la plaça d'una nit.
<p>Finança de la comunitat</p> <p>El pagament de l'amortització de la instal·lació comunitària es realitza en funció de les proporcions d'autoconsum de cada consumidor.</p>	

El pagament de la factura de consum a la xarxa es reparteix segons el pes en el consum a xarxa de cada consumidor.
<p>Amortització</p> <p>El cost de la instal·lació s'amortitza mitjançant l'estalvi de la factura durant les hores de Sol, l'obtenció d'energia dels veïns, la reducció de la factura quan s'injecta excedent i l'estalvi de la factura quan s'obté l'energia de les bateries.</p>
<p>Unificació d'aparells</p> <p>S'unifica el consum a xarxa en un sol comptador.</p> <p>S'unifica la injecció a xarxa en un sol comptador.</p> <p>S'unifica una sola bateria.</p> <p>Es pot unificar en un sol inversor central.</p>

Figura 82: Principis, dimensionat, finança comunitària, amortització i unificació d'aparells en una instal·lació connectada a la xarxa i amb bateria comunitària. Font: Elaboració pròpia.

COMUNITAT AÏLLADA

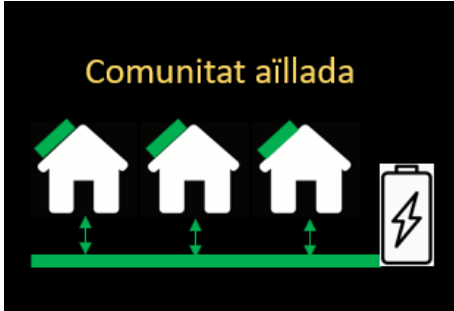
 <p>Comunitat aïllada</p>	<p>Principis</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hi ha producció i emmagatzematge. - Hi ha una xarxa interna connectada a una bateria comunitària. - La producció durant les hores de Sol de totes les teulades es consumeix per totes les cases. - L'excedent de producció carrega les bateries. - La plaça consumeix l'energia emmagatzemada durant les hores sense Sol o amb dèficit de producció. - Si la bateria queda buida, la plaça perd l'energia.
	<p>Dimensionat</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionat comú. - Dimensionat de la instal·lació fotovoltaica per cobrir el consum de la plaça d'un dia i omplir la bateria. - Dimensionat de la bateria per emmagatzemar el consum de la plaça per diversos dies.
<p>Finança de la comunitat</p> <p>El pagament de l'amortització de la instal·lació comunitària es realitza en funció de les proporcions de consum de cada consumidor.</p>	
<p>Amortització</p> <p>El cost de la instal·lació s'amortitza mitjançant la inexistència de factures.</p>	
<p>Unificació d'aparells</p> <p>S'unifica una sola bateria.</p> <p>S'unifica en un sol inversor central.</p>	

Figura 83: Principis, dimensionat, finança comunitària, amortització i unificació d'aparells en una instal·lació comunitària aïllada. Font: Elaboració pròpia.

4.2.4 Encaix de les configuracions imaginades en la regulació legal vigent

La legislació vigent a l'estat, tot i oferir un marc legal per a les instal·lacions d'autoconsum, es troba endarrerit pel que fa a les possibilitats que ofereix la tecnologia. Algunes de les crítiques que ha rebut el real decret aprovat recentment son:

- **Coefficients de repartiment fixes entre consumidors associats:** quan hi ha consumidors associats a una o diverses produccions d'energia, la repartició de l'energia, en lloc de ser

en funció del consum instantani de cada consumidor, es fa mitjançant un coeficient de repartiment fixe. Aquest sistema suposa que cada consumidor associat disposa d'una proporció de la producció instantània que es fixa, tant si el consumeix com si no. Això crea escenaris en que l'energia produïda no s'aprofita per cap usuari i s'aboca a la xarxa, sent valorada a un preu inferior. (Solar Tradex Blog, 2019)

Exemple:

Suposem que dos veïns son consumidors associats d'una instal·lació de producció. A un consumidor li pertoca un coeficient fixe del 0,2 de la producció i a l'altre un 0,8. En un instant determinat, la instal·lació produeix 10kW de potència. Al primer li pertoqueu 2kW, mentre que al segon 8kW. En aquell instant, però, el primer consumidor està consumit 5kW i el segon 5kW. En aquest instant, el primer consumidor rebria els seus 2kW i hauria de comprar a la xarxa els 3kW de dèficit. Al mateix temps, al segon consumidor li sobrien 3kW d'energia que injectaria a la xarxa a un valor més baix.

Aquest model suposa pèrdua constant d'eficiència, fet que redueix la rendibilitat de les configuracions comunitàries. Un model intel·ligent permetria que la repartició de la producció fos adaptable al consum instantani de cada consumidor, fent un recompte al final de cada període de facturació.

- **Unificació de comptadors:** la legislació espanyola no prohibeix la unificació de comptadors, sempre i quan les diferents parcel·les que s'unifiquin formin part del mateix propietari. La unificació de comptadors entre diferents auto consumidors, doncs, no és possible.
- **Creació de xarxes interiors:** la creació de línies de connexió entre diverses parcel·les amb referències cadastral diferents no està regulada per la legislació. Els contractes de subministrament amb les distribuïdores inclouen sempre una clàusula que prohibeix subministrar l'energia a un altre usuari que no sigui el titular. En el cas que la xarxa es trobi aïllada de la xarxa pública de distribució no existeix cap legislació vigent que ho prohibeixi, i es podria instal·lar entre diferents propietaris sempre que no ocupi via pública.
- **Facturació entre veïns:** La legislació vigent no estableix cap sistema simplificat de tarifació entre consumidors i productors associats d'una instal·lació elèctrica, ja que no contempla la possibilitat d'aquest escenari. Només preveu l'autoconsum instantani de l'energia produïda per part dels consumidors associats. En el cas d'excedent, un consumidor no pot cedir el seu excés d'energia a un altre, sinó que té l'obligació d'injectar-lo a la xarxa. Desenvolupar una normativa que permeti la tarifació d'energia entre auto consumidors col·lectius permetria aplicar models molt mes independents de la xarxa.

Cal mencionar que per aquest treball no s'ha contemplat la opció de crear una cooperativa energètica, ja que queda fora dels objectius i focus del treball. Seria interessant, però, estudiar com la creació d'una cooperativa energètica podria ajudar als socis a millorar les economies de la seva producció.

A continuació es repassen mostren les diferents opcions tècnicament contemplades, es mostra el seu encaix amb la legislació vigent, i se'n valora la seva viabilitat per criteris legals:

MODELS SENSE COOPERACIÓ

Sistemes independents entre els auto consumidors, en els quals la producció d'un auto consumidor només és útil per ell mateix. Aquests models clàssics són els que menys variacions han patit, ja es trobaven legisllats anteriorment i son possibles:

SISTEMA INJECCIÓ "0"

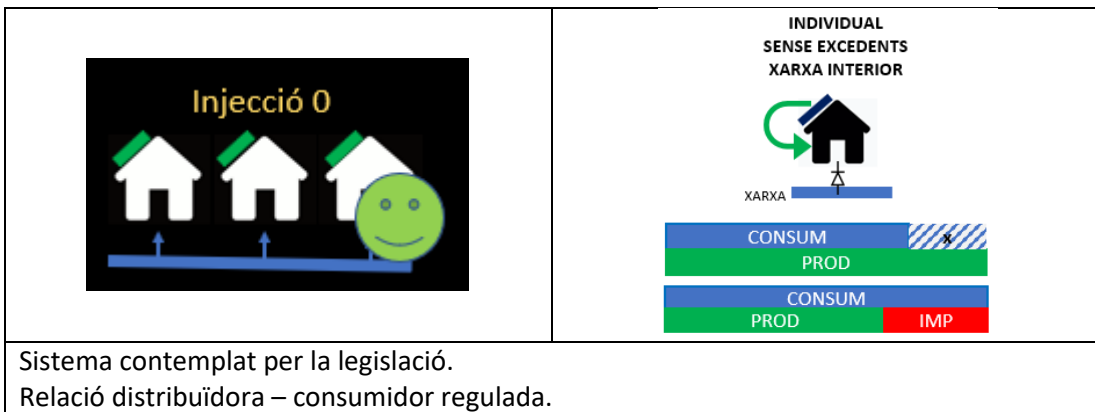


Figura 84: Legalitat vigent envers un sistema individual d'injecció 0. Font: Elaboració pròpia.

SISTEMA POOL i SISTEMA BATERIES I CONNEXIONS A XARXA INDEPENDENTS

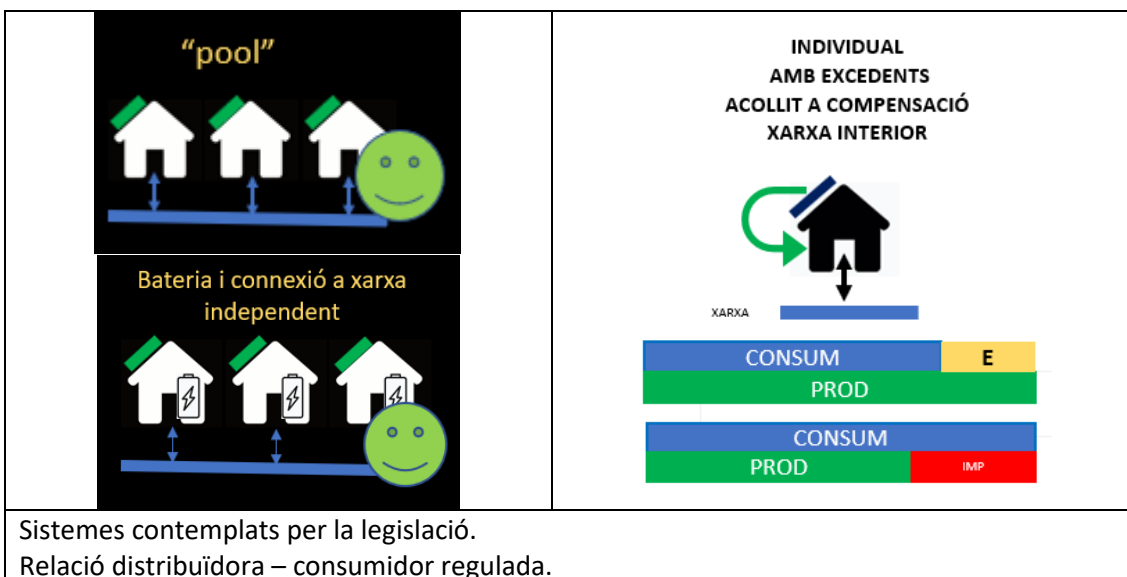


Figura 85: Legalitat vigent envers un sistema individual pool amb connexió a la xarxa i bateries. Font: Elaboració pròpia.

AÏLLADA

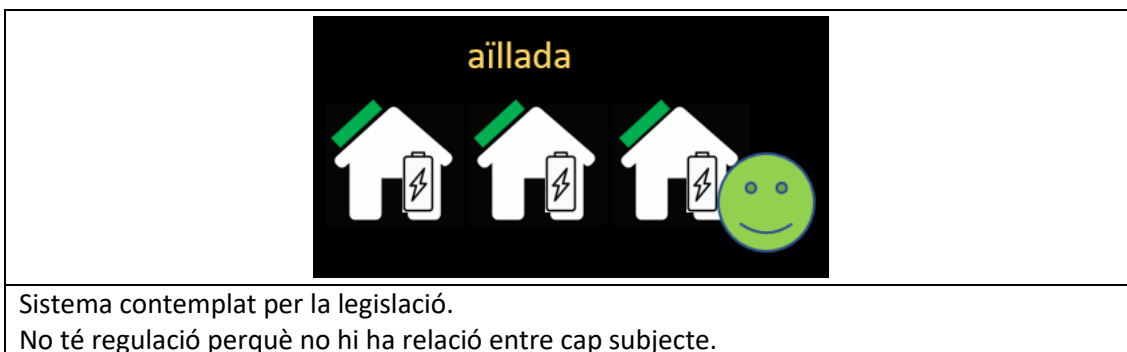


Figura 86: Legalitat vigent envers un sistema individual aïllat. Font: Elaboració pròpia.

MODELS AMB COOPERACIÓ PERÒ SISTEMES INDEPENDENTS

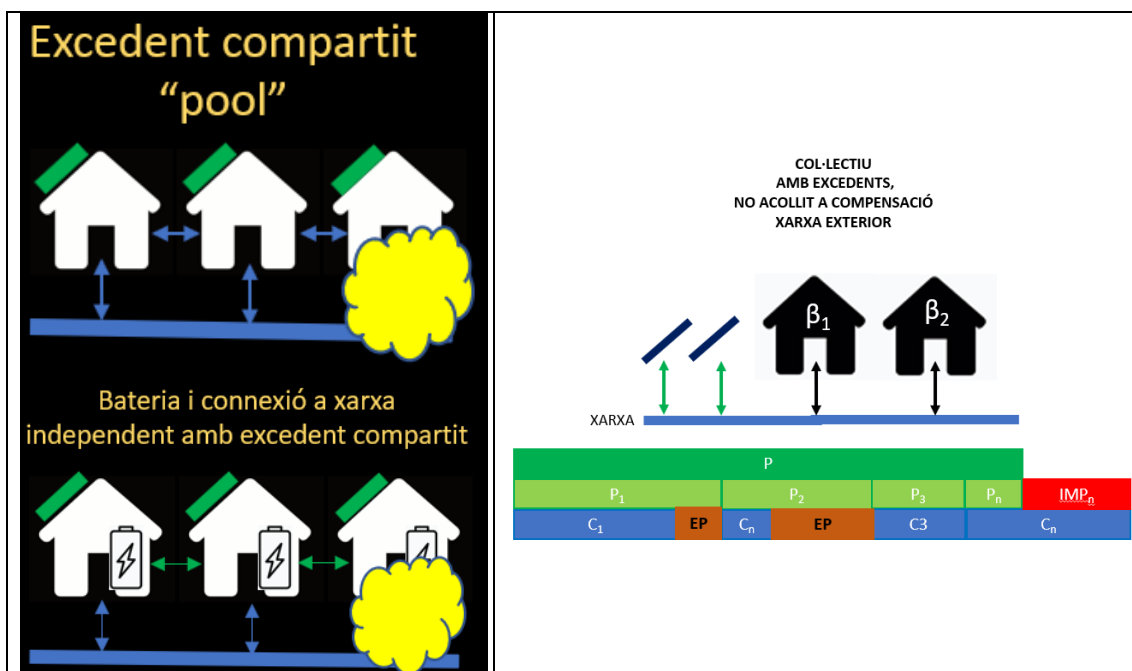
Aquest sistema permet la cooperació energètica entre les cases però hi ha diversos elements que es mantenen independents.

INJECCIÓ 0, EXCEDENT COMPARTIT



Figura 87: Legalitat vigent envers un sistema comunitari connectat a la xarxa, amb excedent compartit i injecció 0.
 Font: Elaboració pròpia.

EXCEDENT COMPARTIT "POOL" i BATERIA I CONNEXIÓ A XARXA INDEPENDENT AMB EXCEDENT COMPARTIT



D'aquesta configuració existeixen 3 possibles modalitats

PRODUCCIONS CONNECTADES A UNA XARXA INTERIOR DELS USUARIS

Com que el grup de cases estudiat no és una comunitat de veïns, aquesta xarxa interior és inexistent. Tampoc és legal la creació d'aquesta xarxa interior. És una modalitat que està prevista per blocs de pisos on ja existeix aquesta xarxa.

PRODUCCIONS CONNECTADES A LA XARXA INTERIOR DE CADA USUARI I AUTOCONSUM PER XARXA

En aquesta modalitat trobem pel que fa a l'aspecte legal molta ambigüitat, comentada a la part final de l'apartat 3.3.2 Situació actual a Espanya. Podria ser legal la connexió de les

diferents produccions a la xarxa interior de cada auto consumidor, però a l'actualitat encara es troba en discussió i aplicació per part dels agents del sector.

PRODUCCIONS CONNECTADES A LA XARXA DE DISTRIBUCIÓ I AUTOCONSUM PER XARXA
La modalitat a través de xarxa requereix que cada instal·lació de producció estigui connectada a la xarxa i que cada una subscrigui un contracte de connexió i consum.
El cost fixe d'aquests contractes reduiria en gran mesura la rendibilitat del sistema.
En aquest model també hi ha lloc a la interpretació sobre si l'excedent es pot compensar o no.

En tots tres models, la repartició d'excedents entre els veïns seria per coeficients fixes, restant eficiència econòmica com s'ha comentat a l'apartat 3.3.2 Situació actual a Espanya.

Figura 88: Legalitat vigent envers un sistema comunitari connectat a la xarxa, amb excedent compartit i *pool*. Font: Elaboració pròpia.

AÏLLADA EXCEDENT COMPARTIT



Figura 89: Legalitat vigent envers un sistema comunitari aïllat amb excedent compartit. Font: Elaboració pròpia.

MODELS TOTALMENT COOPERATIUS

Aquest sistema converteix totes les cases en una sola xarxa, en la qual la producció, l'emmagatzematge i la obtenció d'energia de la xarxa s'unifica.

INJECCIÓ 0, EXCEDENT COMPARTIT, FACTURA ÚNICA; EXCEDENT COMPARTIT, POOL CONJUNT o XARXA I BATERIA COMUNITÀRIA AMB CONNEXIÓ A XARXA

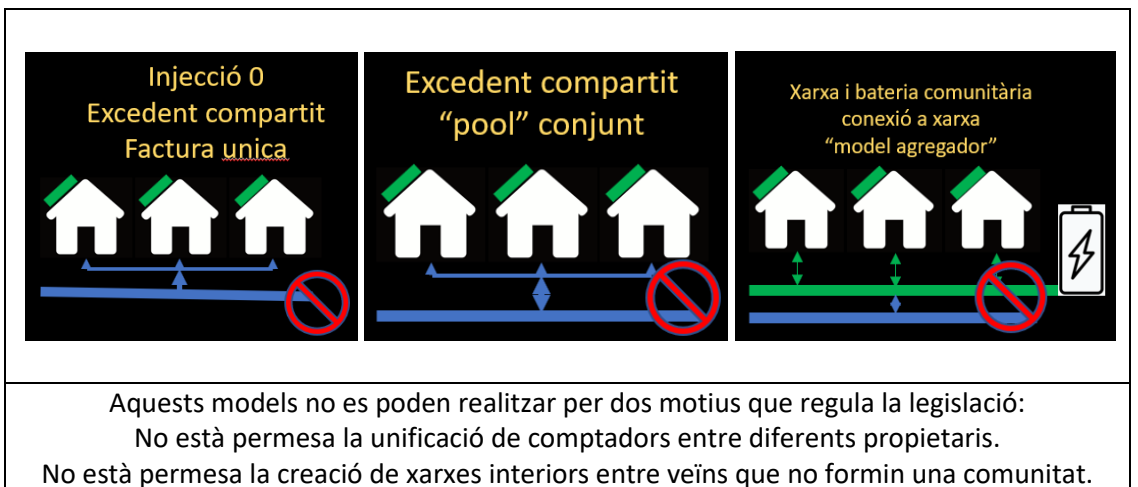


Figura 90: Legalitat vigent envers sistemes comunitaris connectats a la xarxes, injecció 0, excedent compartit, factura única; excedent compartit, pool conjunt o xarxa i bateria comunitària amb connexió a xarxa. Font: Elaboració pròpia.

COMUNITAT AÏLLADA



Figura 91: Legalitat vigent envers un sistema comunitari aïllat. Font: Elaboració pròpia.

4.2.5 Conclusions parcials de l'encaix tècnic i legal

En aquest punt de la recerca s'ha recopilat una gran quantitat d'informació tècnica i legal que permet dibuixar una imatge de les possibilitats més viables o menys. S'ha observat que la tecnologia permet una gran quantitat de configuracions imaginables, que la legislació en bloqueja algunes, en condiciona d'altres i també en facilita d'altres; i també que determinades configuracions es troben en un espai permès però no regulat.

No obstant, amb els aprenentatges adquirits fins ara, es pot concloure que, pel que fa al marc legal:

- Tots els models individuals imaginats en el treball són legalment possibles:

Autoconsum individual sense excedents i amb connexió a la xarxa.

Autoconsum individual amb excedents i compensació.

Autoconsum individual amb emmagatzematge i compensació.

Autoconsum individual aïllat.

- Els models cooperatius que fan ús de la xarxa de distribució no es poden realitzar tal com s'havien imaginat. En canvi, s'han d'ajustar al sistema marcat per la regulació vigent, que es àmpliament interpretable i de la que els agents participants encara no n'han creat un marc d'aplicació. En aquest projecte suposarem que serà finalment aplicable aquest model:

Un autoconsum compartit entre els 16 habitatges suposaria la creació de instal·lacions de producció connectades a la xarxa de distribució, cada una amb el seu contracte d'accés i consum; i un contracte entre productors i consumidors amb una repartició fixa de l'energia segons coeficients.

- Els models cooperatius aïllats no estan prohibits però tampoc tenen un marc legal que els contempli. Es podrien aplicar però caldria respectar diversos factors legals:

Les xarxes interiors dels habitatges haurien d'estar completament aïllades de la xarxa de distribució pública.

La xarxa interna d'autoconsum entre els veïns no podria utilitzar la xarxa de distribució ni ocupar espai d'ús públic.

La tarifació d'excedents i consums entre veïns no disposaria d'un marc regulatori. Una opció per sustentar aquest model seria la creació d'una cooperativa veïnal.

4.3 Anàlisi i discussió

La darrera fase del procés de decisió passa per analitzar les dades de consum i producció, per valorar-ne la viabilitat i eficiència en termes energètics i econòmics, creant una comparativa entre l'absència d'autoconsum i cada una de les modalitats proposades. Aquest anàlisi es realitza superposant les dades de consum i producció en un document de càlcul elaborat a mida.

4.3.1 Unificació de dades de consum i producció

EINA DE DIMENSIONAT

Per poder dimensionar adequadament les instal·lacions i entendre al detall el pes que té cada input en el resultat econòmic de la instal·lació, s'ha creat una eina de càlcul pròpia en Microsoft Excel que permet calcular amb precisió la rendibilitat econòmica de la instal·lació. Creuant les dades de consum, producció, i preus de l'energia, es pot obtenir una previsió de l'estalvi potencial que hauria tingut una instal·lació concreta al llarg de l'any 2019 en una llar específica. Aquesta eina de càlcul s'ha realitzat per a les següents configuracions:

1. Individual amb excedents i compensació
2. Individual aïllat
3. Comunitària amb compensació simplificada i repartició flexible

En l'estudi econòmic mitjançant aquesta eina s'han omès algunes configuracions legalment possibles:

- **Individual sense excedents i amb connexió a la xarxa:** s'ha omès per ser gairebé idèntica a l'individual amb compensació però menys rentable.
- **Autoconsum compartit amb repartició per coeficients fixes i compensació:** el model amb repartició per coeficients fixes és el que es troba regulat, però a nivell econòmic té menys sentit que aquell amb coeficients flexibles.
- **Comunitària aïllada:** per la seva dificultat a nivell social i legal, s'ha omès.

A continuació s'explica al detall l'eina de càlcul dissenyada per cada cas, i els resultats obtinguts.

INSTAL·LACIONS INDIVIDUALS ACOLLIDES A COMPENSACIÓ SIMPLIFICADA

S'ha creat un document de càlcul per cada vivenda amb les següents característiques:

Dates			Energia											Preu			Resultat econòmic				
Dia	Mes	Hora	Consum (kWh)	Pi (kWh)	Pe (kWh)	Pf (kWh)	PI (kWh)	PE (kWh)	PF (kWh)	PTOT (kWh)	COB (kWh)	EXC (kWh)	IMP (kWh)	pvpoc (€/kWh)	PVPC (€/kWh)	PEX (€/kWh)	FACT NOFV (€)	IMP (€)	INI (€)	FACT FV (€)	ESTALVI (€)
1	1	15	0,617	0,016	0,177	0,240	0,000	0,177	0,000	0,177	0,177	0,000	0,440	0,138	0,176	0,044	0,109	0,061	0,000	0,077	0,031
...

Figura 92: Taula representació de la fulla de càlcul d'instal·lacions individuals acollides a compensació simplificada. Font: Elaboració pròpia.

On:

Dia/mes/hora: 8760 posicions representant l'any 2019. Hores representades del 0 al 23. Mesos representats del 1 al 12. Dies representats de l'1 al 28, 30 o 31.

Consum: dades detallades de consum hora a hora obtingudes amb els mètodes mencionats. Expressat en kWh. Aquest valor varia hora a hora.

Pi (producció interior): producció a una hora concreta d'una instal·lació amb 1 panell solar de 330Wp col·locat al vessant interior de la teulada. en kWh. Aquest valor varia hora a hora.

Pe (producció exterior): producció a una hora concreta d'una instal·lació amb 1 panell solar de 330Wp col·locat al vessant interior de la teulada. Expressats en kWh. Aquest valor varia hora a hora.

Pf (producció façana): producció a una hora concreta d'una instal·lació amb 1 panell solar de 330Wp col·locat a la façana exterior. Expressats en kWh. Aquest valor varia hora a hora.

PI (producció interior): producció a una hora concreta d'una instal·lació amb N panells solars de 330Wp col·locats al vessant interior de la teulada. Màxim 24 panells. Expressat en kWh. Aquest valor varia hora a hora.

PE (producció exterior): producció a una hora concreta d'una instal·lació amb N panells solars de 330Wp col·locats al vessant exterior de la teulada. Màxim 8 panells. Expressats en kWh. Aquest valor varia hora a hora.

PF (producció façana): producció a una hora concreta d'una instal·lació amb N panells solars de 330Wp col·locats a la façana exterior. Màxim 6 panells. Expressat en kWh. Aquest valor varia hora a hora.

PTOT (producció total): suma de la producció a una hora concreta de la combinació de panells. Expressat en kWh. Aquest valor varia hora a hora.

COB (cobertura): quantitat d'energia consumida que és obtinguda instantàniament de la producció fotovoltaica. Expressat en kWh. Aquest valor varia hora a hora.

EXC (excedent): quantitat d'energia excedentària i abocada a la xarxa. Expressat en kWh. Aquest valor varia hora a hora.

IMP (importació): quantitat d'energia consumida de la xarxa. Expressat en kWh. Aquest valor varia hora a hora.

pvpc (preu voluntari al petit consumidor): preu de l'energia hora a hora consumida segons la tarifa regulada 2.0A sense discriminació horària abans d'impostos. Expressat en €/kWh. Aquest valor varia hora a hora.

PVPC (preu voluntari al petit consumidor): preu de l'energia hora a hora consumida segons la tarifa regulada 2.0A sense discriminació després d'impostos (impost sobre l'electricitat 5,11% i IVA 21%). Expressat en €/kWh. Aquest valor varia hora a hora.

PEX (preu de l'excedent): preu de l'energia excedentària hora a hora en instal·lacions d'autoconsum regulada des de l'1 d'Abril de 2019. Expressat en €/kWh. Aquest valor varia hora a hora des de l'1 d'Abril de 2019. En el període anterior (01 de Gener a 31 de Març) s'utilitza la mitja de 0,44€/kWh.

FACTNOFV (factura sense autoconsum fotovoltaic): preu a pagar pel consumidor pel terme d'energia consumida de la xarxa hora a hora. Expressat en €. Aquest valor varia hora a hora.

IMP (importació): valor de l'energia importada en cas de tenir autoconsum. Expressat en €. Aquest valor varia hora a hora.

INJ (injecció): valor en € de l'energia excedentària en cas de tenir autoconsum. Expressat en €. Aquest valor varia hora a hora.

FACT FV (factura amb autoconsum fotovoltaic): preu a pagar pel consumidor pel terme d'energia consumida de la xarxa menys el valor de l'excedent. Expressat en €. Aquest valor varia hora a hora.

ESTALVI: diferència de preu a pagar entre el consum amb o sense autoconsum fotovoltaic. Expressat en €. Aquest valor varia hora a hora.

S'ha creat un conjunt de 3 botons (groc) que permeten variar ràpidament el nombre de panells a cada superfície. Aquests botons modifiquen el multiplicador de nombre de panells en cada una de les superfícies estudiades. De forma automàtica, s'actualitzen els càlculs d'energia, econòmics i s'actualitza la visualització de les gràfiques.

Nombre de panells 330Wp			Potència instal·lada			
Interior	Exterior	Façana	WpI	WpE	WpF	WpTOT
0	3	3	0	990	990	1980

Figura 93: Botons de control per la fulla de càlcul d'instal·lacions individuals acollides a compensació simplificada. Font: Elaboració pròpia.

Finalment, s'ha afegit un còmput global pel temps d'amortització aproximat, on s'ha considerat un cost de l'instal·lació de 0,9€/Wp. El còmput es presenta de la següent manera:

Wp TOT	Cost estimatiu	Estalvi anual	Anys Amortització
1980	660€	61,43€	10,74

Figura 94: Exemple de resultat obtingut a la fulla de càlcul d'instal·lacions individuals acollides a compensació simplificada. Font: Elaboració pròpia.

Aquesta eina ens permet representar gràfiques de consum i producció per cada llar, que s'actualitzen amb la configuració de captadors triada:

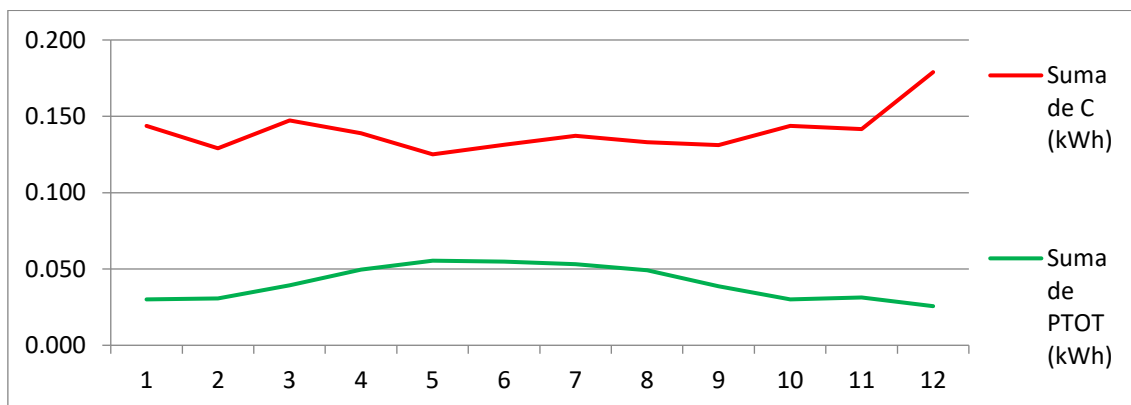


Figura 95: Gràfica exemple de producció i consum mensual al llarg d'un any. Font: Elaboració pròpia.

Exemple de representació possible: Suma de consum i producció total mensual d'una configuració de IOE1F0 per la vivenda 8.

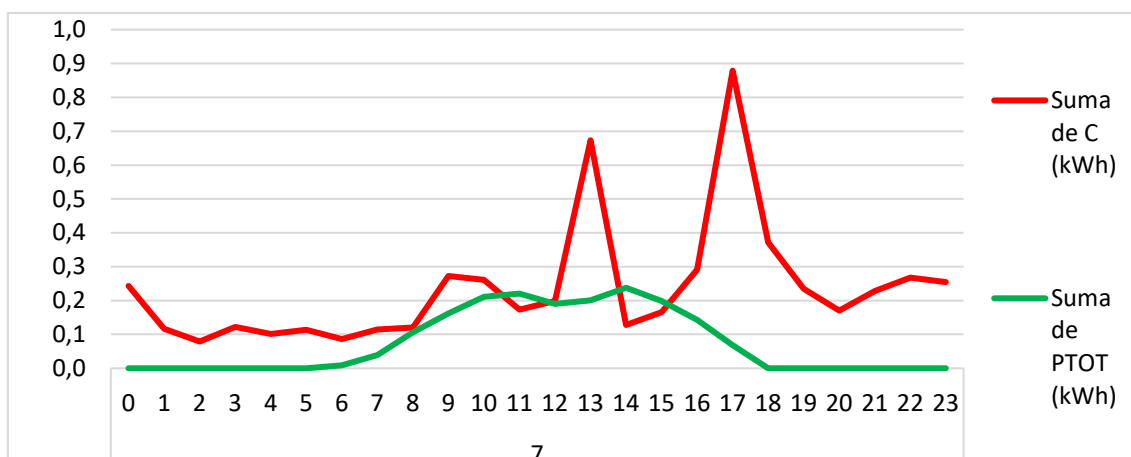


Figura 96: Gràfica exemple de producció i consum d'un dia. Font: Elaboració pròpia.

Exemple de representació: Consum i producció hora a hora del dia 7/04/2019 a la vivenda 8 en una configuració IOE1F0.

S'han representat múltiples configuracions en cada vivenda, observant tendències. També s'han recopilat dades del temps d'amortització per les diferents vivendes i distribucions de panells.

Després de realitzar aquestes múltiples simulacions s'ha pogut observar que per instal·lacions individuals connectades a la xarxa i amb compensació d'excedents, el retorn d'inversió més ràpid es amb una sola placa:

Resultats dels còmput anual per instal·lacions d'una placa:

Casa	Cost (€)	Estalvi an (€)	T. amort. (anys)	Cob/Prod %	Exc/Prod %	Cob/Con %	Imp/Con %
1	297€	59 €	5,1	99,6	0,4	13,3	86,7
2	297€	59 €	5,1	99,0	0,1	12,5	87,5
3	297€	59 €	5,1	93,9	0,6	9,1	90,9
4	297€	57 €	5,2	93,9	6,1	9,1	90,9
5	297€	63 €	4,7	99,4	0,6	14,2	85,8
6	297€	60 €	4,9	92,6	7,4	19,0	81,0
7	297€	59 €	5,1	75,2	24,8	14,3	85,7
8	297€	62 €	4,8	82,0	18,0	23,8	86,2
9	297€	59 €	5,1	71,0	29,0	18,6	81,4
10	297€	70 €	4,3	98,5	1,5	14,3	85,7
11	297€	67 €	4,4	98,6	1,4	15,1	84,9
12	297€	64 €	4,6	90,2	9,8	8,2	91,8
13	297€	63€	4,7	98,6	1,4	14,0	86,0
14	297€	61 €	4,9	93,8	6,2	7,6	92,4
15	297€	49 €	6,0	61,6	38,4	17,8	8,22
16	297€	62 €	4,8	96,7	3,3	13,6	86,4

Figura 97: Resultats econòmics i ecològics per a instal·lacions d'una sola placa. Font: Elaboració pròpia.

Els factors que afecten a aquesta rentabilitat i proporcionen aquest resultat son els següents:

- El preu al que es paga l'excedent injectat a xarxa és tant baix, que no té sentit augmentar el tamany de la instal·lació amb l'objectiu de vendre excedent. Per tant, cal dimensionar per cobrir el màxim de demanda instantània però generant el mínim excedent.

- El consum elèctric de les vivendes estudiades és tan baix, que la instal·lació perd rendibilitat a mida que la potència pic fotovoltaica instal·lada augmenta, ja que el pic s'acaba abocant a la xarxa.
- La orientació de les plaques (O, SO, S, SE E) té un impacte molt petit en comparació als altres factors
- Les cases amb major consum o amb un consum més acusat durant les hores de sol aprofiten millor aquesta producció i per tant tenen major rentabilitat.
- En totes les vivendes, el temps d'amortització de la instal·lació amb 1 sola placa és de 4 a 6 anys.
- A mida que augmentem la quantitat de plaques, augmentem la proporció d'autoconsum i tenim una llar més ecològica, però reduïm la rentabilitat.

INSTAL·LACIONS INDIVIDUALS AÏLLADES

S'ha creat un document de càlcul per cada vivenda amb les següents característiques:

Dates			Energia										Diners		
Dia	Mes	Hora	Consum (kWh)	Pi (kWh)	Pe (kWh)	Pf (kWh)	Pl (kWh)	PE (kWh)	PF (kWh)	PTOT (kWh)	COB (kWh)	EXC (kWh)	SOC (kWh)	pvpcc (€/kWh)	Terme ener.(€)
1	1	15	0,617	0,016	0,177	0,240	0,000	0,177	0,000	0,177	0,177	0,000	0,440	0,138	0,109
...

Figura 98: Taula representació de la fulla de càlcul d'instal·lacions individuals aïllades. Font: Elaboració pròpia.

On es mantenen les mateixes columnes que en el cas anterior però amb les següents addicions:

SOC ("State of Charge"): energia disponible emmagatzemada a la bateria (kWh)

Terme ener. (€): preu a pagar abans d'impostos pel consumidor pel terme d'energia consumida de la xarxa si no hi hagués autoconsum.

S'ha creat un conjunt de 4 botons (groc) que permeten variar ràpidament el nombre de panells a cada superfície i la capacitat de la bateria. Ens permet actualitzant ràpidament càlculs i visualitzar gràfiques.

Nombre de panells 330Wp			Potència instal·lada				Bateria
Interior	Exterior	Façana	WpI	WpE	WpF	WpTOT	Capacitat (kW)
0	3	3	0	990	990	1980	20

Figura 99: Botons de control per la fulla de càlcul d'instal·lacions individuals aïllades. Font: Elaboració pròpia.

S'ha creat un càlcul que simula la factura anual en cas de no disposar d'autoconsum:

Terme de potència	38,04	€/kWh/Any	Obtingut de la tarifa PVPC 2.0 DH
Potència contractada	6	kW	Potència mitja contractada pels veïns
	228,26	€/Any	
Terme d'energia	186,06	€/Any	Sumatori columna Terme ener. (€)

Impost electricitat	5,1127	%	
	21,18	€/Any	
Energia amb impost	435,50	€/Any	
Lloguer comptador	6	€/Any	
Suma pre-IVA	441,50	€/Any	
IVA	21	%	
	92,72	€	
Import Final	534,22	€/Any	Resultat preu factura anual

Figura 100: Fulla de càlcul amb simulació de la factura elèctrica sense autoconsum. Font: Elaboració pròpia.

I s'ha creat un càlcul que mostra el retorn de l'inversió, considerant un cost de l'instal·lació de 0,9€/Wp de producció i de 450€/kWh d'emmagatzematge instal·lats. Per l'estalvi anual s'ha considerat el resultat de la factura simulada. El còmput es presenta de la següent manera:

Wp TOT	Capacitat (kWh)	Cost estimatiu	Estalvi anual	Anys Amortització
2310	20kW	14.020€	534,22€	26

Figura 101: Exemple de resultat obtingut a la fulla de càlcul d'instal·lacions individuals aïllades. Font: Elaboració pròpia.

Aquesta eina ens permet representar gràfiques de consum, producció i estat de la bateria per cada llar, que s'actualitzen amb la configuració de captadors i bateria triada:

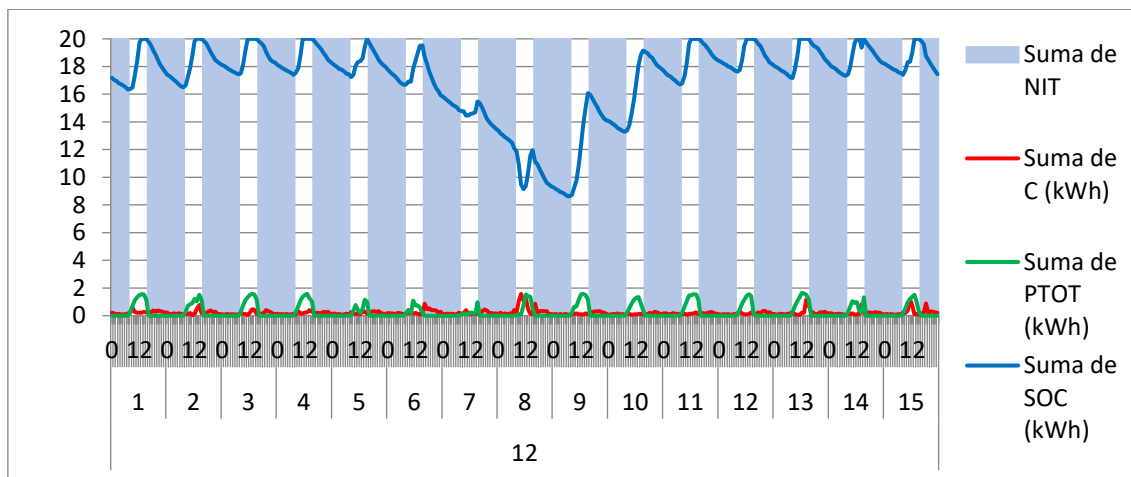


Figura 102: Gràfica exemple de producció, consum i estat de càrrega de la bateria al llarg d'un mes. Font: Elaboració pròpia.

Exemple: Consum, producció i estat de la bateria hora a hora de la primera quinzena de desembre a la vivenda 8 en una configuració IOE1F6 i una bateria de 20kW.

S'han representat múltiples configuracions en cada vivenda, ajustant la capacitat mínima de la bateria i la quantitat mínima de panells per garantir energia durant l'any sencer.

Casa	Factura anual sense autoconsum	Cost de la instal·lació	Amortització (anys)	Distribució panells	Capacitat (kWh)
1	744€	13.300€	18	I8E8F6	15

2	770€	21.000€	27	I8E8F4	16
3	866€	13.300€	15	I8E8F6	15
4	1076€	32.400€	30	I18E8F6	24
5	866€	20.200€	23	I8E8F4	15
6	693€	13.280€	19	I5E5F3	10
7	757€	36.540€	48	I20E8	26
8	534€	8.660€	16	I0E8F6	10
9	642€	11.030€	17	I8E8F6	17
10	916€	13.300€	14	I8E8F6	15
11	866€	12.800€	15	I8E8F6	14
12	1200€	22.800€	19	I10E8F6	35
13	866€	14.200€	16	I8E8F6	17
14	1286€	137.200€	106	I24E8F6	280
15	576€	9.850€	17	I6E6F6	10
16	870€	18.400€	21	I8E10F6	25

Figura 103: Resultats econòmics per una instal·lació aïllada autosuficient. Font: Elaboració pròpia.

Després de realitzar múltiples observacions s’han obtingut algunes primeres conclusions pel que fa a les instal·lacions individuals aïllades per les vivendes de la plaça:

- El temps d’amortització d’aquesta configuració comprèn entre els 14 i 30 anys.
- La rendibilitat d’aquesta configuració varia principalment segons la variància del consum de les llars, on una llar amb un consum molt constant permet ajustar la instal·lació a aquest consum constant, mentre que en el cas contrari, cal ajustar la instal·lació al pic de consum més elevat.
- Aquest tipus d’instal·lació reclama d’una gran consciència i constància dels usuaris pel que fa al consum, ja que l’aparició de valors atípics pot fàcilment sobrepassar el sistema.

COMUNITÀRIA AMB COMPENSACIÓ D’EXCEDENT I REPARTICIÓ FLEXIBLE

A nivell econòmic, aquesta configuració es pot simplificar com la suma dels consums de les vivendes i la suma de la producció de les superfícies, amb l’avantatge que és possible aprofitar al màxim la producció de les superfícies amb millor orientació.

S’ha creat un document de càlcul per totes les vivendes amb les següents característiques:

Dates			Energia											Preu				Resultat econòmic				
Dia	Mes	Hora	X16 vivendes																			
			Cn (kWh)	CTOT (kWh)	Pin (kWh)	Pen (kWh)	Pfn (kWh)	Pin (kWh)	PEn (kWh)	PFn (kWh)	PTOT (kWh)	COB (kWh)	EXC (kWh)	IMP (kWh)	pvp (€/kWh)	PVPC (€/kWh)	PEX (€/kWh)	FACT NOFV (€)	IMP (€)	INJ (€)	FACT FV (€)	ESTALVI (€)
1	1	15	0,013	0,617	0,016	0,177	0,240	0,000	0,177	0,000	0,177	0,177	0,000	0,440	0,138	0,176	0,044	0,109	0,061	0,000	0,077	0,031
...

Figura 104: Taula representació de la fulla de càlcul de la instal·lació d’autoconsum compartit. Font: Elaboració pròpia.

On:

Cn: dades reals de consum hora a hora de la casa n. 16 columnes, una per cada casa.

Pin(producció interior): producció a una hora concreta d'una instal·lació amb 1 panell solar de 330Wp col·locat al vessant interior de la teulada a la casa n. 16 columnes, una per cada casa.

Pen(producció exterior): producció a una hora concreta d'una instal·lació amb 1 panell solar de 330Wp col·locat al vessant interior de la teulada a la casa n. 16 columnes, una per cada casa.

Pfn (producció façana): producció a una hora concreta d'una instal·lació amb 1 panell solar de 330Wp col·locat a la façana exterior a la casa n. 16 columnes, una per cada casa.

Pin (producció interior): producció a una hora concreta d'una instal·lació amb N panells solars de 330Wp col·locats al vessant interior de la teulada a la casa n. 16 columnes, una per cada casa.

Pen (producció exterior): producció a una hora concreta d'una instal·lació amb N panells solars de 330Wp col·locats al vessant exterior de la teulada a la casa n 16 columnes, una per cada casa.

Pfn (producció façana): producció a una hora concreta d'una instal·lació amb N panells solars de 330Wp col·locats al la façana exterior a la casa n. 16 columnes, una per cada casa.

PTOT (producció total): suma de la producció a una hora concreta de la combinació de panells.

S'ha creat una taula de botons que permeten variar ràpidament el nombre de panells a cada superfície, actualitzant els càlculs i visualitzant gràfiques.

Representació de l'aspecte dels botons, remarcats amb línia gruixuda.

Vivenda	Nombre de panells 330Wp			Potència instal·lada			
	Interior	Exterior	Façana	WpI	WpE	WpF	WpTOT
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	8	0	0	2640	0	2640
10	0	8	0	0	2640	0	2640
11	0	8	0	0	2640	0	2640
12	0	8	0	0	2640	0	2640
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0

Figura 105: Botons de control per la fulla de càlcul de la instal·lació d'autoconsum compartit. Font: Elaboració pròpia.

Finalment, s'ha afegit un còmput global pel temps d'amortització aproximat, on s'ha considerat un cost de la instal·lació de 0,9€/Wp. El còmput es presenta de la següent manera:

Wp TOT	Cost estimatiu	Estalvi anual	Anys Amortització
21120	19.000€	3.372€	5,6

Figura 106: Exemple de resultat obtingut a la fulla de càlcul de l'instal·lació d'autoconsum compartit. Font: Elaboració pròpia.

En el càlcul de l'estalvi, no s'ha considerat l'estalvi derivat de l'unificació de comptadors.

Aquesta eina ens permet representar gràfiques de consum i producció pel conjunt de la plaça, que s'actualitzen amb la configuració de captadors triada:

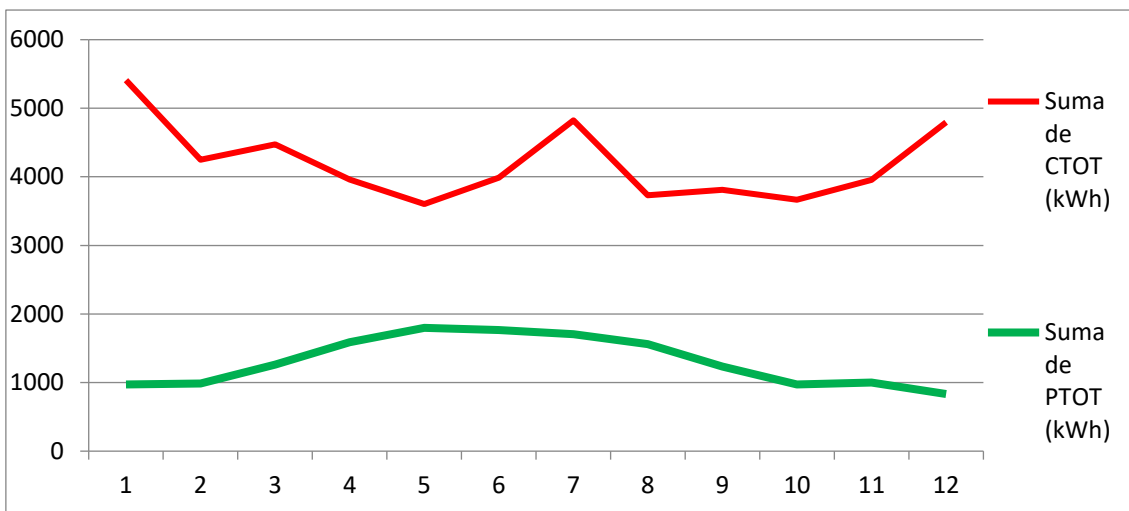


Figura 107: Gràfica exemple de producció i consum al llarg de l'any de la instal·lació d'autoconsum compartit. Font: Elaboració pròpia.

Exemple de representació possible: Suma de consum i producció total mensual del conjunt de la plaça per un total de 64 plaques distribuïdes entre les 8 vessants més productives.

S'han representat múltiples configuracions i s'han observat les tendències. Tot seguit es mostren dos models que ens permeten comparar aquesta configuració amb les seves equivalents individuals:

Model temps d'amortització ajustat:

Cas	Cost (€)	Estalvi an (€)	T. amort. (anys)	Cob/Prod %	Exc/Prod %	Cob/Con %	Imp/Con %
Individual	297	61	4,9	90,48	9,31	14,03	81,97
Col·lectiu	742	152	4,9	79,50	20,5	30,7	69,30

Figura 108: Model temps d'amortització ajustat. Font: Elaboració pròpia.

Aquest model s'ha creat buscant una configuració que aporti el mateix temps d'amortització que la mitjana. Aquest model requereix una inversió inicial més gran per part de cada llar que el model individual, però s'aconsegueix que una major part de la producció caigui en consum propi de la plaça, el qual suposa un major estalvi anual i un retorn de l'inversió igual.

Model autoconsum ajustat:

Cas	Cost (€)	Estalvi an (€)	T. amort. (anys)	Cob/Prod %	Exc/Prod %	Cob/Con %	Imp/Con %
Individual	297	61	4,9	90,48	9,31	14,03	81,97

Col·lectiu	278	65	4,3	99,2	0,8	14,6	85,4
------------	-----	----	-----	------	-----	-------------	------

Figura 109: Model autoconsum ajustat. Font: Elaboració pròpia.

Aquest model s'ha creat buscant una configuració que mantingui el mateix nivell de petjada ecològica que les instal·lacions individuals. En aquest cas, s'aconsegueix igualar la proporció d'autoconsum de les instal·lacions individuals i es redueix la inversió inicial, augmenta l'estalvi anual i es redueix el temps d'amortització.

Es pot afirmar que l'autoconsum comunitari permet millorar la sostenibilitat tant econòmica com ecològica de les instal·lacions.

4.3.1 Perspectiva social

En la perspectiva social es discuteix sobre la acceptació que podria rebre cada una de les propostes entre els veïns, i la facilitat o dificultat amb que es podria implantar un model així pel que fa a la capacitat d'acord i confiança entre veïns.

Una instal·lació d'autoconsum fotovoltaic en el seu model més individualitzat, requereix com a mínim, d'una acceptació per part de l'usuari a invertir part del seu capital, iniciar un procés d'obres a la seva propietat i dedicar una part del seu temps en controlar l'estat de la instal·lació. Els models individuals que hem contemplat s'han estat implantant àmpliament a la societat, i molts usuaris poden compartir la seva experiència, fet que aporta confiança als potencials autoconsumidors.

En els models on s'hi suma l'emmagatzematge, l'usuari, a més, ha d'afegir un autocontrol sobre el consum i també una revisió periòdica de l'estat de les bateries. Aquests models demanen d'un autoconsumidor més conscient i disposat a cenyir el seu consum en moment determinats.

En els models col·laboratius, l'usuari ha de comprendre el funcionament i les regles que regeixen el sistema, n'ha d'acceptar les normes i confiar-hi al llarg de la seva vida útil. Si el sistema està regulat per la legislació, aquesta aporta seguretat i confiança a l'usuari. Si el sistema no ho està, la comunitat energètica s'ha de basar en la confiança entre mutus.

És per això que en la perspectiva social, els models més atractius són aquells individuals, que no requereixen de compromís ni confiança. A mida que el sistema augmenta en complexitat, el rebuig que pot generar sobre els potencials consumidors augmenta.

4.4 Tria de la configuració òptima

En aquest punt del treball hem escombrat les perspectives tècniques, econòmiques, socials i legals de múltiples configuracions que ens ofereix una perspectiva general prou detallada com per extreure'n la configuració òptima.

Per la tria de la configuració òptima, s'utilitza una matriu de decisió:

	Individual anti-abocat	Individual amb injecció i compensació	Individual aïllada	Comunitària amb repartició d' excedent coeficients fixes	Comunitària amb repartició d' excedents intel·ligent	Comunitària aïllada
Amortització	Entre 4 a 6 anys	Entre 4 a 6 anys	Entre 14 i 30 anys	No valorat	Entre 4 i 12 anys	No valorat
Marc legal	Regulat	Regulat	Regulat	Regulat	En procés	Inexistent
Acceptació social	Simple	Simple	Variable	Complexa	Complexa	Molt complexa
Tècnicament	Viable	Viable	Viable	Viable	Viable	viable
Proporció d'autoconsum	14%	14%	100%	No valorat <30%	30%	100%

Figura 110: Matriu de decisió de la solució òptima.

L'estudi de viabilitat ens ha permès observar que les configuracions individuals tendeixen a ser més simples d'aplicar gràcies a que el seu marc legal es troba més evolucionat i l'acceptació social es més senzilla.

Les comunitats energètiques encara es troben en una fase desconeguda socialment, cosa que pot provocar reticències en un primer moment. A més, la regulació es troba en una fase molt prematura, en la que els models comunitaris regulats son rígids i poc eficients.

Les configuracions aïllades tenen un temps d'amortització proper a la vida útil de la instal·lació, pel que com a inversió manquen de sentit.

La configuració en comunitat energètica connectada a la xarxa amb repartició d'excedents intel·ligent és la configuració més òptima econòmicament, ja que pot arribar a tenir un temps d'amortització molt curt. La manca de regulació vigent la converteix en inviable a hores d'ara.

L'objectiu de la fase d'estudi es definir quina configuració seria la més òptima. Si es consideren totes les vessants del projecte, l'opció més òptima és la Individual amb injecció i compensació d'excedents. Ara bé, l'objectiu del treball és oferir una configuració comunitària. Tot i que actualment, la repartició flexible no es troba regulada, el Reial Decret 244/2019, atorga a la Ministra de la transició ecològica el poder d'activar la regulació per coeficients flexibles. Un document publicat per l'IDAE aclareix aquesta informació: "El real decreto introduce y aclara el concepto de autoconsumo colectivo, y establece un sistema de reparto de la energía generada

entre los consumidores asociados que es estático: es decir, la energía se reparte siempre en la misma proporción entre los consumidores, independientemente de si éstos la estan utilizando en cada momento o no. Es un sistema sencillo y fácil de comprender, que sin embargo no permite hacer un óptimo aprovechamiento del potencial del autoconsumo compartido, ya que no permite que un usuario que sí está en casa en ese momento utilice el excedente de otro que no esté usando su parte correspondiente de la energía. La disposición de desarrollo normativo fija que mediante orden de la Ministra para la Transición Ecológica se desarrollarán los mecanismos y requisitos necesarios para permitir la implantación de coeficientes de reparto dinámicos. Esto significa que la energía que se genere en un sistema compartido se podrá compartir entre los usuarios en función de quién esté consumiendo en cada momento, y por tanto un mejor aprovechamiento de la instalación.” (IDAE, 2019) Això aporta pistes sobre la imminència de l'aparició d'una regulació que ho permeti.

A vistes que en un futur, aquesta configuració estigui regulada legalment, la tria per aquest treball serà la realització d'un estudi per implantar a la plaça, una:

Comunitat energètica amb repartició d'excedents intel·ligent, connectada a la xarxa i amb compensació simplificada.

Cal mencionar que caldrà fer algunes assumpcions al llarg del dimensionat degut a aquesta manca de regulació vigent.

4.5 Dimensionat, especificació

L'objectiu del dimensionat serà la obtenció d'una instal·lació amb els següents criteris:

1. Reducció del consum de xarxa de la plaça d'un 30% al llarg d'un any.

El càlcul d'aquesta reducció del consum es farà segons el següent algoritme:

$$\text{Reducció (\%)} = \frac{\sum COB}{\sum CON}$$

On:

COB (cobertura)= consum hora a hora cobert per la producció del sistema (kWh)

CON (consum)= consum hora a hora de la plaça.

2. Menor temps d'amortització possible.

El càlcul del temps d'amortització es farà segons el següent algoritme:

$$T (\text{anys}) = \frac{COST}{Fnofv - Ffv}$$

On:

COST = cost total estimat de la instal·lació (€).

Fnofv = factura de la plaça durant l'any 2019, amb consum únicament de xarxa.

Ffv = factura de la plaça durant l'any 2019 suposant una instal·lació d'autoconsum.

Per aquest dimensionat, considerarem que la plaça és reconvertida en una comunitat de propietaris privada en la que les canalitzacions elèctriques entre el grup de cases passa a ser propietat de la comunitat; o que la distribuïdora autoritza al grup de propietaris l'accés i transport d'energia a través de la xarxa ja instal·lada.

Per tal que el temps d'amortització sigui el més curt possible, cal ubicar les plaques sobre les superfícies més òptimes. Per a això, s'ha calculat l'estalvi anual que genera una sola placa sobre cada superfície:

Cases	Superfícies		
	Interior	Exterior	Façana
Casa 1	59 €	59 €	34 €
Casa 2	59 €	59 €	34 €
Casa 3	59 €	59 €	34 €
Casa 4	59 €	59 €	34 €
Casa 5	54 €	63 €	41 €
Casa 6	54 €	63 €	41 €
Casa 7	48 €	68 €	49 €
Casa 8	48 €	68 €	49 €
Casa 9	46 €	70 €	51 €
Casa 10	46 €	70 €	51 €

Casa 11	48 €	68 €	49 €
Casa 12	48 €	68 €	49 €
Casa 13	48 €	63 €	42 €
Casa 14	48 €	63 €	42 €
Casa 15	48 €	63 €	42 €
Casa 16	48 €	63 €	42 €

Figura 111: Taula d'estalvis anuals que genera la addició d'una placa a les diferents superfícies. Font: Elaboració pròpia.

Les primeres plaques, doncs, caldrà instal·lar-les sobre les vessants exteriors de les cases 9 i 10, seguint per les 7, 8, 11 i 12. Ja que la vessant exterior de cada casa té una capacitat de 8 plaques, és possible afegir plaques fins a un màxim de 16. Això ens garanteix situar les plaques sobre les superfícies més rentables en primer lloc.

Amb l'ajuda de la mateixa eina s'afegeixen progressivament noves plaques fins a obtenir una reducció del consum de la xarxa del 30%.

La configuració restant, doncs, serà:

Potència nominal: 13,2kW

Nº de plaques: 40

Distribució:

8 plaques als vessants exteriors de les cases 7, 8, 9, 10 i 11.

Cost: 11.880€

Temps d'amortització: 4,8 anys

Assumint una vida útil mínima de la instal·lació de 20 anys, obtenim un retorn de l'inversió de

ROI: 4,1

A continuació es mostra la distribució de plaques a les superfícies més òptimes.

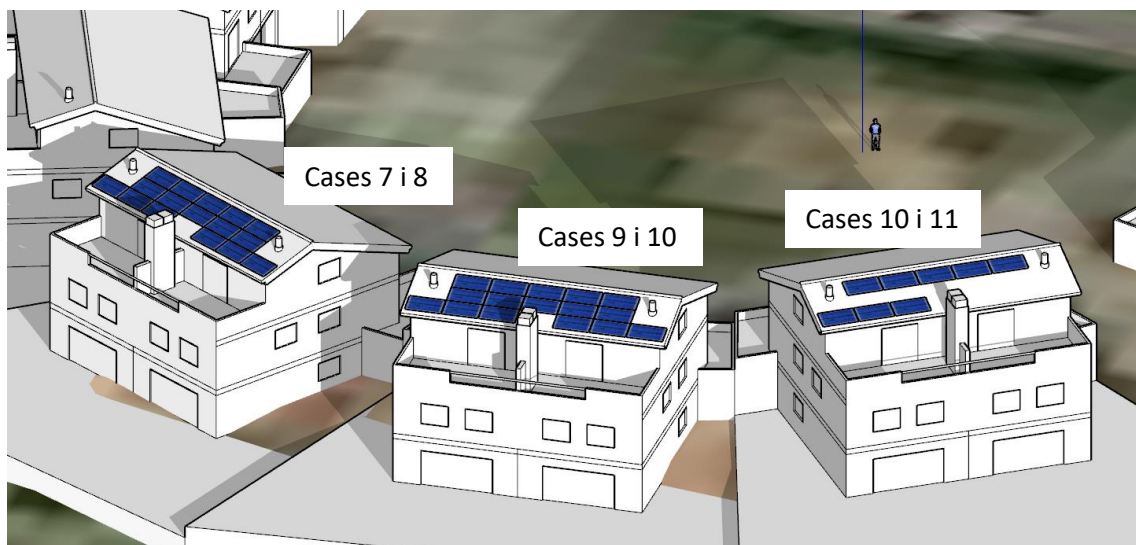


Figura 112: Representació de les plaques instal·lades sobre les superfícies escollides. Font: Elaboració pròpia.

4.6 Components de la instal·lació. Característiques tècniques

4.6.1 Panells fotovoltaics

Els panells escollits son els CS6U-330P de la marca Canadian Solar, de tecnologia Policristalina:


Canadian Solar CS6U-330P		
Especificacions mecàniques		
Dimensions	1960 x 992 x 40 mm	
Massa	22,4Kg	
Nº de cel·les	72	
Especificacions Elèctriques		
Potència màxima nominal	330W	
Corrent de curt circuit	9,45A	
Voltatge de circuit obert	45,6V	
Eficiència del mòdul	16,97%	
Preu	100€ / unitat	

Figura 113: Panells fotovoltaics triats. Font: Elaboració pròpia.

4.6.2 Inversor/s

S'instal·laràn 3 inversors, un per cada bloc de cases.

El bloc de cases 7 i 8 assoleix una potència global del conjunt de 5,28kWp


Fronius Primo 4.0-1		Bloc cases 7 i 8
Especificacions tècniques		
Nº MPPT	2	
Maxima corrent d'entrada	12A	
Corr. curt. circ. max per serie	18A	
Rang tensió d'entrada	80 – 1000V	
Rang de tensió MPP	210 – 800V	
Potència nominal	4000W	
Freqüència	50Hz	
Preu	981€ / unitat	

Figura 114: Inversor triat pel bloc de cases 7 i 8. Font: Elaboració pròpia.

El bloc de cases 9 i 10 assoleix una potència global del conjunt de 5,28kWp


Fronius Primo 4.0-1		Bloc cases 9 i 10
Especificacions tècniques		
Nº MPPT	2	
Maxima corrent d'entrada	12A	
Corr. curt. circ. max per serie	18A	
Rang tensió d'entrada	80 – 1000V	
Rang de tensió MPP	210 – 800V	
Potència nominal	4000W	
Freqüència	50Hz	
Preu	981€ / unitat	

Figura 115: Inversor triat pel bloc de cases 9 i 10. Font: Elaboració pròpia.

El bloc de cases 10 i 11 assoleix una potència global del conjunt de 2,64kWp

Fronius Primo 3.0-1		Bloc cases 9 i 10
Especificacions tècniques		


Nº MPPT	2	
Maxima corrent d'entrada	12A	
Corr. curt. circ. max per serie	18A	
Rang tensió d'entrada	80 – 1000V	
Rang de tensió MPP	210 – 800V	
Potència nominal	3000W	
Freqüència	50Hz	
Preu	892€ / unitat	

Figura 116: Inversor triat pel bloc de cases 11 i 12. Font: Elaboració pròpia.

4.6.3 Estructura de suport

Caldrà utilitzar estructures de suport adequades per teulada espanyola, amb placa paral·lela a la teulada:


Estructura E-02-204		
Especificacions tècniques		
Tipus de muntatge		
Per teula espanyola, muntatge paral·lel a la superfície. Per teulada inclinada.		
Anclatges		
Pletines per teula espanyola, sense perforació		
Quantitat de mòduls per estructura		
4 mòduls		
Quantitat d'estructures	1 estruct. / 4 mòduls 40 mòduls 10 estructures	
Preu	96€ / unitat	

Figura 117: Estructures de suport triades.

4.6.4 Cablejat DC

El conxionat entre els panells i inversors es realitza amb cable especialitzat per instal·lacions fotovoltaïques. La secció del cable es calcula a partir de l'intensitat màxima que hi pot córrer. EN el nostre cas, la corrent de curt circuit de cada string: 9,45A. Com que cada string va connectat al seu connector MPPT de l'inversor, no tenim plaques en paral·lel.

Afegim un factor de seguretat de 125%: $9,45A \times 2,25 = 21,3A$

El nombre de cables carregats que podrien arribar a córrer per un mateix conducte serien 4, dos per cada MPPT.

Segons la imatge nº 29 del reglament de baixa tensió (UNE 20 460-5-S23:2004), cal tenir en compte el factor d'agrupament, segons següent taula:

Factores de reducción para agrupamiento de varios circuitos o varios cables multiconductores. Grupos homogéneos de cables cargados por igual

Norma UNE 20 460-5-523

DISPOSICIÓN DE LOS CABLES CONTIGUOS	Nº de circuitos o cables multiconductores									
	1	2	3	4	5	9	12	16	20	
Empotrados o embutidos. Métodos A1/A2 y B1/B2	1,00	0,80	0,70	0,70	0,58	0,50	0,45	0,40	0,40	
Capa única sobre muros, suelos o bandejas no perforadas. Método C	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	.	.	.	
Capa única en el techo. Método C	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	.	.	.	
Capa única sobre bandejas perforadas. Métodos E y F.	1,00	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	.	.	.	
Capa única sobre escaleras de cables, abrazaderas, etc Métodos E y F.	1,00	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	.	.	.	

Figura 118: Taula de factors de reducció per seccions de cable. Font: UNE 20 460-5-S23:2004.

D'entre els diferents factors, triarem el més desfavorable per garantir la seguretat.
 $26,19A/0,7= 37A$

Amb l'ajuda de la taula extreta del catàleg del fabricant Top Cable, basada en el reglament de baixa tensió, seleccionem la secció amb un cert marge:

Cross-section mm ²	Single cable free in air A	Single cable on surfaces A	To cables adjacent on surface A	Voltage drop V/A·km
1 x 1,5	30	29	24	38,2
1 x 2,5	41	39	33	23,0
1 x 4	55	52	44	14,3
1 x 6	70	67	57	9,49
1 x 10	98	93	79	5,46
1 x 16	132	125	107	3,47
1 x 25	176	167	142	2,23
1 x 35	218	207	176	1,58
1 x 50	276	262	221	1,10
1 x 70	347	330	278	0,772
1 x 95	416	395	333	0,585
1 x 120	488	464	390	0,457
1 x 150	566	538	453	0,368
1 x 185	644	612	515	0,301
1 x 240	775	736	620	0,228

Figura 119: Secció de cables recomanats per diferents tipus de cable i amperatge. Font: Top Cable.

La secció recomanable amb una garantia de seguretat és també la més petita disponible al catàleg de referència d'AlbaSolar


Cable solar CV-01-200		
Tamany secció		
4 mm ²		
Longitud		
50m, Negre i vermell		
Preu	59€ / unitat	59€ x 2 unitats = 118€

Figura 120: Cable de corrent contínua seleccionat. Font: Elaboració pròpia.

4.5.6 Cablejat AC

Per al cablejat AC ens referenciem de nou sobre la normativa.

La intensitat màxima que circularà per la sortida de l'inversor serà $I_{max}=P_{max}/V_{max}$. Per tant,
 $I_{max}= 4000W/230V = 17A$

Intensidades máximas admisibles (A) en instalaciones interiores, para conductores de aluminio en tubos, tensión de aislamiento hasta 1 KV y temperatura ambiente 40°C

Norma: UNE 20 460-5-523

Conductores aislados en tubos (incluyendo canaletas y conductos de sección circular) en montaje superficial o empotrados en obra. Método B1.		PVC3		PVC2		XLPE3		XLPE2	
		2,5	13,5	14	16	17	18	20	27,5
Cables multiconductores en tubos (incluyendo canaletas y conductos de sección circular) en montaje superficial o empotrados en obra. Método B2.		PVC3		PVC2		XLPE3		XLPE2	
		2,5	13,5	14	16	17	18	20	27,5
Sección mm ²	2,5	13,5	14	16	17	18	20	27,5	
	4	24	25	28	30	31	36		
	6	32	34	38	42	42	50		
	10	42	46	51	56	57	66		
	16	54	61	64	71	72	84		
	25	67	75	78	88	89	104		
	35	80	90	96	106	108	127		
	50		116	122	136	139	162		
	70		140	148	167	169	197		
	95		162	171	193	196,5	228		
	120		187	197	223	227	264		
	150		212	225	236	259	301		
	185		248	265	300	306	355		

Figura 121: Taula de secció de conductor. Font: UNE 20 460-5-523.

La secció pels cables d'alterna serà de 4mm.


Cable solar CV-01-200		
Tamany secció		
4 mm ²		
Longitud		
50m, Blau, marró i terra		
Preu	14€ / pack	14€ x 1 unitat = 14€

Figura 122: Cable per alterna seleccionat. Font: Elaboració pròpia.

4.5.5 Proteccions DC

Per a les proteccions DC s'utilitzaran únicament fusibles de contínua. Els fusibles han de permetre un pas de 9,45A però saltar en superar aquest valor. S'utilitzaran doncs fusibles de 10A amb els seus portafusibles. En caldran 2 unitats per cada MPPT (fusible per positiu i negatiu).


Fusible 1000V DC, 10A		
Dimensions		
D11 x 38mm		
Carcassa necessària		
Si, portafusibles estàndard		
Preu	2€ / unitat	2€ x 10 unitat = 20€

Figura 123: Fusible seleccionat. Font: Elaboració pròpia.


Base portafusible STI 10x38 1P		
Dimensions del fusible		
D11 x 38mm		
Amplada		
65mm		
Preu	2€ / unitat	2€ x 10 unitat = 20€

Figura 124: Base portafusible seleccionat. Font: Elaboració pròpia.

4.5.7 Proteccions AC

Ja que la intensitat màxima que circularà per la part alterna serà de 18A, s'instal·laran proteccions de 25A, tant magneto tèrmics com diferencials amb una sensibilitat de 30mA.



DIFERENCIAL 2P 25A 30MA 230V		
Amplada		
2 espais		
Sensibilitat		
30mA		
Preu	16€ / unitat	
MAGNETOTÈRMIC C60H PIA 2P 25A CURVA C		
Amplada		
2 espais		
Sensibilitat		
30mA		
Preu	18€ / unitat	

Figura 125: Diferencial i magnetotèrmic seleccionats. Font: Elaboració pròpia.

Aquestes proteccions es situaran a l'espai lliure disponible en els quadres de protecció de cada bloc.

4.5.8 Sistema de posada a terra

La tirada de posada a terra provinent de l'inversor i les plaques s'unirà a la posada a terra de les llars, compartint la pica.

4.5.9 Esquema unifilar

S'ha creat un esquema unifilar amb la distribució de components elèctrics, la seva interconnexió i la ubicació que es pot trobar a l'annex XXX.

CAPÍTOL 5. PRESSUPOST

Amb l'objectiu doble de realitzar un pressupost i comprovar els resultats econòmics calculats amb l'eina que s'ha creat anteriorment, es repeteix la simulació completa de la instal·lació amb el software professional de dimensionat PVSyst. Aquest software permet introduir informació sobre tots i cada un dels factors que influeixen en la productivitat, rendibilitat i funcionament en general d'un sistema fotovoltaic, realitzant càlculs i oferint un informe molt detallat i fiable sobre la instal·lació desitjada.

L'informe tècnic-econòmic detallat generat per PVSyst d'aquesta instal·lació es pot trobar als annexos. A continuació es resumeixen els trets més importants de l'estudi:

Es realitza una simulació introduint les següents dades:

Plaça dels Quatre Vents, - Simulació connectat a xarxa

Paràmetres d'orientació

Tipus de camp: Vàries orientacions

3 orientacions: inclinació/azimut = 19°/30°, 19°/-4°, 19°/-39°,

Compatibilitat entre definicions de sistemes:

Orientació #1 inclinació/azimut = 19° / 30°

1 subconjunt PNom = 5.3 kWp, àrea de mòduls = 30 m²

PV modules: 2 strings of 8 modules in series, 16 total

Pnom = 330 Wp Pnom array = 5.3 kWp, Area = 30 m²

Inverters (4.20 kWac) 2 MPPT inputs, Total 4 kWac,

Orientació #2 inclinació/azimut = 19° / -4°

1 subconjunt PNom = 5.3 kWp, àrea de mòduls = 30 m²

Mòduls Foto: 2 strings de 8 mòduls en serie, 16 total

Pnom = 330 Wp Pnom sistema = 5.3 kWp, Àrea = 30 m²

Inversors (4.20 kWac) 2 MPPT inputs, Total 4 kWac,

Orientació #3 inclinació/azimut = 19° / -39°

1 subconjunt PNom = 2.64 kWp, àrea de mòduls = 15 m²

PV mòduls: 1 strings of 8 mòduls en serie, 8 total

Pnom = 330 Wp Pnom sistema = 2.64 kWp, Area = 15 m²

Inversors (3.00 kWac) 1 unitats, Total 3 kWac, PNom

5.1 Cost

A partir del catàleg d'Albasolar es recopilen els preus de compra de tots els materials especificats per l'instal·lació, considerant un descompte del 40%.

L'informe complet del software es pot trobar als annexos.

A continuació es detallen les dades més rellevants que s'han introduït i obtingut mitjançant l'ús del software:

Costos d'instal·lació			
Mòduls FV			
CS3L-330P HE	40 unitats	100 EUR / unitat	4.000 EUR
Soports per mòduls	10 unitats	96 EUR / unitat	960 EUR
Inversors			
4,2 KWac amb 2MPPT	2 unitats	981 EUR / unitat	1.962 EUR
3KWac	1 unitat	892 EUR / unitat	892 EUR
Estudis i anàlisis			
Enginyeria			2.500 EUR
Permisos i tràmits			200 EUR
Instal·lació			
Transport			20 EUR
Accessoris			20 EUR
Ajust			50 EUR
Connexió a la xarxa			1.080 EUR
TOTAL			11.884 EUR

Figura 126: Càlcul de costos de la instal·lació. Font: Elaboració pròpia.

El cost obtingut és molt proper a l'estimat anteriorment, rondant els 0,9-1€/Wp.

PVsyst també permet calcular l'amortització i retorn de la inversió. Per a obtenir aquests resultats s'han introduït al software les dades de consum de la placa hora a hora i els preus de l'electricitat, tant els termes fixos de potència com els termes d'energia:

Tarifa d'alimentació (preu per potència) = 0,14 EUR / kWh

Tarifa de consum (preu per consum) = 0,14 EUR / kWh

Amb aquestes dades, el software mostra un resultat d'estalvi anual de 2.292 EUR anuals. Això suposa un temps d'amortització de 4,2 anys. Aquest resultat és molt similar a l'obtingut mitjançant l'eina elaborada manualment.

Temps d'amortització: 4,2 anys

El software també permet introduir la vida útil de la instal·lació i calcula el ROI. S'introdueix una vida útil de 20 anys:

ROI: 376%

Aquest resultat també es molt similar a l'obtingut en l'estimació manual que s'ha fet inicialment al treball.

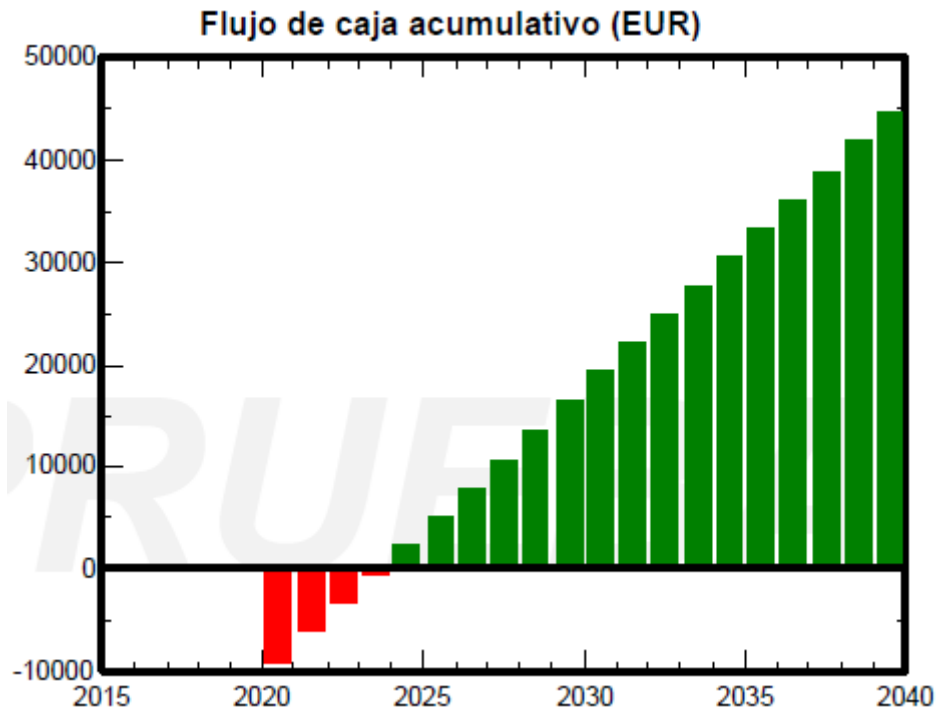


Figura 127: Flux de caixa acumulatiu. Font: Estudi realitzat amb PVSyst.

CAPÍTOL 7. CONCLUSIONS

7.1 Resultats

L'objectiu principal d'aquest projecte era recopilar tots aquells factors que cal considerar per al disseny d'una instal·lació fotovoltaica residencial comunitària, ponderant els avantatges o inconvenients de les diverses opcions tècniques, i arribant a un punt de decisió del qual se n'extrauria una configuració que seria dimensionada, especificada i analitzada.

Per assolir aquest objectiu s'han realitzat les següents accions prèvies:

- S'ha recopilat informació tècnica dels sistemes fotovoltaics, el seu funcionament i les configuracions tècnicament possibles.
- S'ha recopilat la informació legal vigent a Espanya que afecta al les instal·lacions fotovoltaiques residencials.
- S'ha recopilat informació sobre consums del cas d'estudi: un grup de 16 vivendes residencials d'Ullastrell.
- S'han definit i analitzat les superfícies disponibles en quan a potencial de producció.
- S'ha creat una eina de càlcul basada en el creuament de dades de consum, producció, preus de l'energia i costos d'instal·lació que ha permès estimar la rendibilitat de diferents configuracions.
- S'ha elaborat una discussió sobre la complexitat d'aplicar les diferents configuracions per que fa a l'acceptació social.

A partir de tot el conjunt d'informació obtingut s'ha realitzat una matriu de decisió, tenint en compte tots els criteris mencionats i també l'interès acadèmic del treball. S'ha seleccionat l'opció:

Comunitat energètica amb repartició d'excedents intel·ligent, connectada a la xarxa i amb compensació simplificada.

Com a l'opció més interessant a implantar. Un cop triada la configuració més atractiva, s'ha aprofundit en aquesta:

- S'han especificat els criteris de rendibilitat i grau d'autoconsum i s'ha dimensionat la instal·lació complint-los.
- S'ha verificat la instal·lació amb l'ajuda un software de disseny professional i s'ha contrastat amb els resultats obtinguts amb l'eina.
- S'ha realitzat un llistat de components, un esquema unifilar i un pressupost.

7.2 Conclusions

Aquest projecte va partir de l'enumeració d'alguns principi fonamentals i una hipòtesis a resoldre:

Principis:

- Les economies d'escala permeten que una instal·lació gran sigui més econòmica que diverses instal·lacions petites que sumin la mateixa potència.
- Diversos consumidors probablement produiran un consum més repartit al llarg del dia envers un de sol, que tindrà pics instantanis.
- El cas d'estudi té una distribució de superfícies molt favorable a la producció al llarg del dia ja que disposa de superfícies orientades d'est a oest cobrint tot el ventall que passa pel sud.

Hipòtesis:

- Si diversos productors/consumidors s'uneixen en forma d'autoconsum compartit, podran obtenir una instal·lació més econòmica i el consum resultant, més distribuït, podrà ser cobert d'una forma més eficient per la instal·lació de producció.
- Si els diversos productors/consumidors tenen superfícies disponibles orientades a Est, Sud i Oest, podran aportar energia durant tot el dia.

És per això que el treball presenta el títol: Estudi d'un sistema d'autoconsum fotovoltaic compartit per 16 habitatges residencials.

Al llarg del treball s'ha anat observant que algunes d'aquestes hipòtesis eren incorrectes:

- Les economies d'escala tenen un impacte petit en instal·lacions de mida residencial. L'impacte es perceptible en grans instal·lacions de producció amb objectiu comercial.
- Les orientacions a Est i Oest, tot i ser més eficients al matí i tarda que les orientacions a Sud, no són prou eficients a nivell global del dia com per millorar la rendibilitat de la instal·lació.

Sí que s'ha pogut corroborar, però, que una instal·lació fotovoltaica compartida permet, gràcies a un consum més distribuït al llarg del dia, fer que la instal·lació compartida sigui més rendible i més ecològica:

Cas	T. amort. (anys)	Cob/Con %
Individual	4,9	14,03
Col·lectiu	4,9	30,7

Figura 128: Comparativa de cobertura respecte a consum a igualtat de temps d'amortització entre instal·lacions individuals o una instal·lació comunitària. Font: Elaboració pròpia.

A mateix temps d'amortització, la instal·lació col·lectiva utilitza més energia solar i menys de xarxa que la individual.

Cas	T. amort. (anys)	Cob/Con %
Individual	4,9	14,03
Col·lectiu	4,3	14,6

Figura 129: Comparativa de temps d'amortització a igualtat de cobertura respecte a consum entre instal·lacions individuals o una instal·lació comunitària. Font: Elaboració pròpia.

A mateixa proporció de cobertura respecte el consum, la instal·lació col·lectiva aconsegueix un temps d'amortització més curt.

En resum, podem afirmar que amb una instal·lació col·lectiva aconseguim ser més ecològics pel mateix preu.

7.3 Futurs treballs

- Aquest treball pot trobar com a continuació un model de negoci per la creació de comunitats de propietaris auto consumidors. La combinació dels aprenentatges adquirits en aquest projecte amb un perfil més tècnic elèctric i electrònic poden oferir a la societat inversions d'autoconsum amb una bona rendibilitat.
- Un futur treball d'ampliació seria la millora de l'eina d'estimació per fer-la més pràctica i adaptable a múltiples configuracions.

- Amb mes amplis coneixements d'anàlisi de dades es podria obtenir encara més informació sobre els consumidors i modelar amb més precisió les instal·lacions. Es podria arribar a fer partícips a les comunitats del mercat elèctric.

CAPÍTOL 8. BIBLIOGRAFIA

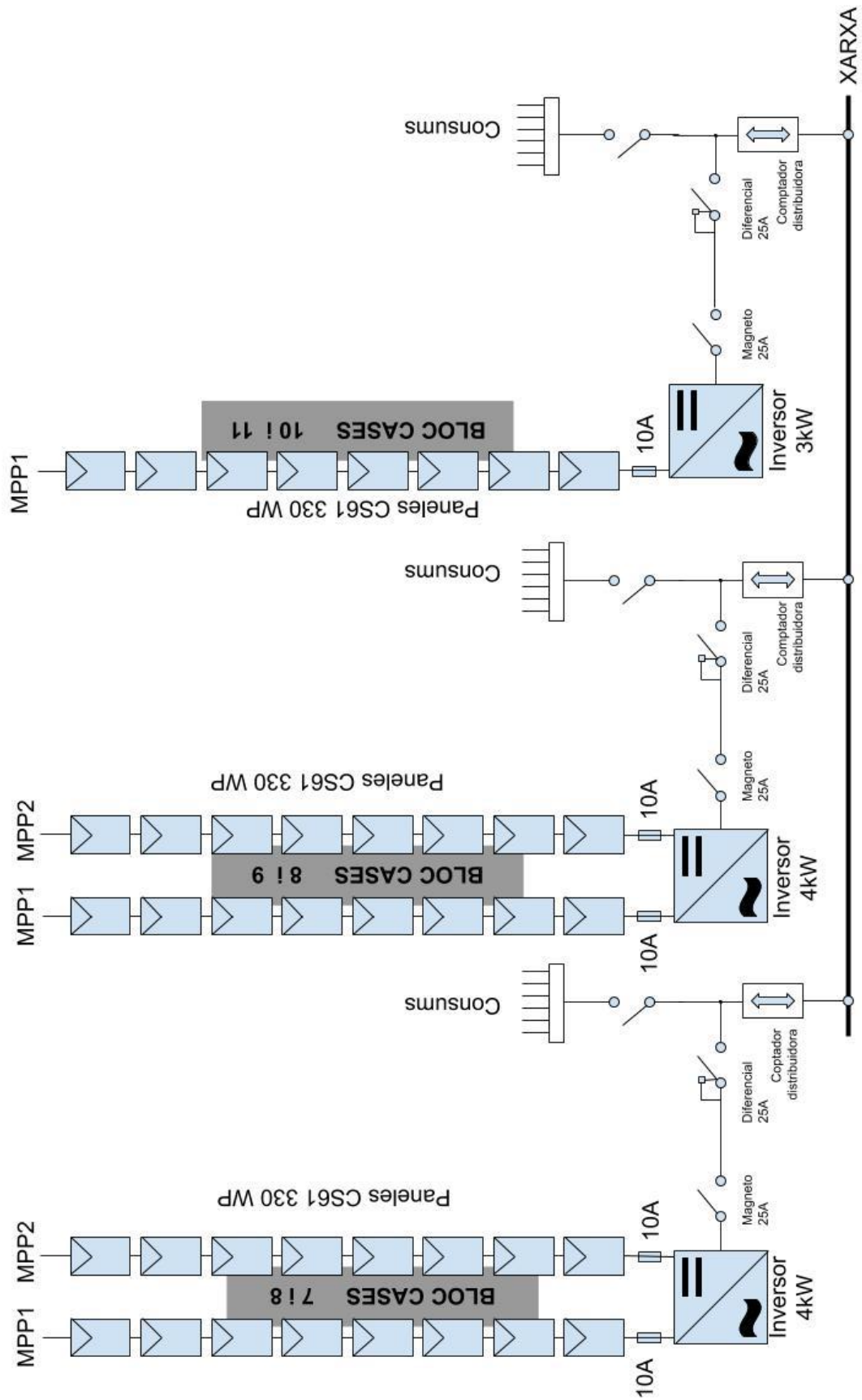
- Andreu, F. (2020). Entrevista a Frederic Andreu, director de SolarTradex. (S. Cañadell, Entrevistador)
- Anònims. (2020). *Climate Change Denial*. Recollit de Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_change_denial#cite_note-NYT-20151105-26
- Anònims. (2020). *Greenhouse gas*. *Wikipedia*. Recollit de Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_gas#cite_note-IPCC_AR4-SYR-1
- Bayón, P. (2019). António Guterres: "Estoy decepcionado con los resultados de la COP25". *rtve*.
- Characteristics, P. M. (sense data). *e-education.psu.edu*. Recollit de <https://www.e-education.psu.edu/ae868/node/518>
- Coll, C. (7 / Maig / 2020). Entrevista a Càrol Coll, responsable de facturació de la cooperativa SomEnergia. (S. Cañadell, Entrevistador)
- Editorial C de Comunicación. (sense data). El autoconsumo se percibe en España como una forma de ahorro en el recibo de luz. *C de Comunicación*.
- Endesa. (2020). Recollit de Historia de la electricidad: <https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-historia-de-la-electricidad>
- EU SCIENCE HUB. (2019). *Data sources and calculation methods*. Recollit de <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/methods>
- europapress.es. (2012). Recollit de <https://www.europapress.es/economia/noticia-elena-salgado-ficha-consejera-distribuidora-endesa-chile-20120305110708.html>
- ExeoEnergy. (2020). Recollit de <https://www.exeoenergy.co.uk/solar-panels/how-much-do-solar-panels-cost/>
- Fresneda, C., & Guerrero, T. (2019). Los españoles ante el cambio climático: "La sociedad está en modo cambio". *El Mundo*.
- Fundación desarrollo sostenible. (2019).
- Gilpérez, L. M. (2020). *cincodias.elpais*. Recollit de España sostenible y renovable: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2020/06/29/datalab/1593446107_112057.htm
- Heggarty, T. (2019). Chasing the sun: Spain's solar PV boom. *Wood Mackenzie*.
- IDAE. (2019). Recollit de https://www.idae.es/sites/default/files/imagenes/idae/areas_de_actividad/energias_renovables/otras_novedades_del_real_decreto_de_autoconsumo_que_facilitan_su_desarrollo.pdf
- Instituto de tecnologías educativas. (2017). *Efecto del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la irradiancia*. Recollit de https://fjferreer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/11_efecto_del_ángulo_de_incidencia_de_los_rayos_solares_sobre_la_irradiancia.html
- J Ripple, W., Wolf, C., Newsome, T. M., Bernard, P., & Moomaw, W. R. (2020). World Scientists' Warning of a Climate Emergency. *BioScience*, 8-12.

- Julie Ann Wrigley Global Institute of Sustainability*. (2016). Recollit de Arizona State University: <https://web.archive.org/web/20160304083411/https://sustainability.asu.edu/person/wallace-broecker/>
- Ministerio de la presidencia, relaciones con las cortes y memoria democrática. (2002). Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. España.
- Ministerio para la transición ecológica. (2019). *Secretaría de estado de energía*. Recollit de <https://energia.gob.es/electricidad/autoconsumo-electrico/Paginas/preguntas-frecuentes-autoconsumo.aspx>
- Mundo, B. (2017). *BBC Mundo*. Recollit de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-40113224>
- NASA. (2019). *Forcings in GISS Climate Model*.
- Ojea, L. (2019). El reparto dinámico de los excedentes abre el debate sobre la fiscalidad y las oportunidades de negocio en el autoconsumo compartido. *El periódico de la energía*.
- Rastreator.com. (2016). *Rastreator.com*. Recollit de <https://www.rastreator.com/sala-de-prensa/notas-de-prensa/2016-11-tarifa-electrica-por-horas.aspx>
- Real Decreto-ley 15/2018, d. 5. (2018). Espanya.
- Red Eléctrica de España. (2019). *La demanda de energía eléctrica de España desciende un 3,9% en septiembre*. Recollit de <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/2019/10/la-demanda-de-energia-electrica-de-espana-desciende-un-3-9-por-ciento-en-septiembre#>
- Redacción Crónica Global. (2019). El precio de la luz subirá un 8% adicional en 2019. *Crónica Global*.
- Solar Tradex Blog. (2019). *Solar Tradex*. Recollit de <https://solartradex.com/blog/>
- UOCx. (2011). *Conceptos básicos de energía solar fotovoltaica*. EducaciOnline.
- Valencia Sáiz, Á., Arias Maldonado, M., & Vázquez García, R. (2010). *Ciudadanía y conciencia*. Consejo Editorial de la colección Opiniones y Actitudes.
- Wikipedia. (2020). *Wikipedia*. Recollit de Svanthe Arrhenius: https://en.wikipedia.org/wiki/Svante_Arrhenius
- World Climate Conference; 4th session; Declaration of the World Climate Conference. (1979)., (p. 5).

CAPÍTOL 9. ANNEXOS

Accés al vídeo explicatiu de l'eina dissenyada per al dimensionat i estimació de rendibilitat de les diferents instal·lacions:





PVSYST 7.0.10		14/09/20		Página 1/9																											
Sistema conectado a la red: Parámetros de simulación																															
Proyecto : Plaça dels Quatre Vents - Connectat a la xarxa																															
Sitio geográfico		Ullastrell		País España																											
Situación		Latitud 41.52° N		Longitud 1.95° E																											
Tiempo definido como		Hora Legal Zona horaria UT+1		Altitud 303 m																											
Albedo 0.20																															
Datos meteo:		Ullastrell PVGIS api TMY - TMY																													
Variante de simulación : Nueva variante de simulación																															
Fecha de simulación		14/09/20 23h03																													
Parámetros de simulación		Tipo de sistema Sin escena 3D definida, sin sombras																													
3 orientaciones		inclin./acimuts 19°/30°, 19°/-4°, 19°/-39°																													
Modelos usados		Transposición Perez		Difuso Importado Circunsolar separado																											
Horizonte		Horizonte libre																													
Sombreados cercanos		Sin sombreados																													
Necesidades del usuario :		Ext. definida como archivo Consums plaça sencera.csv																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ene.</th> <th>Feb.</th> <th>Mar.</th> <th>Abr.</th> <th>Mayo</th> <th>Jun.</th> <th>Jul.</th> <th>Ago.</th> <th>Sep.</th> <th>Oct.</th> <th>Nov.</th> <th>Dic.</th> <th>Año</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5409</td> <td>4249</td> <td>4476</td> <td>3960</td> <td>3603</td> <td>3987</td> <td>4825</td> <td>3732</td> <td>3810</td> <td>3665</td> <td>3954</td> <td>4795</td> <td>50465 kWh</td> </tr> </tbody> </table>						Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año	5409	4249	4476	3960	3603	3987	4825	3732	3810	3665	3954	4795	50465 kWh
Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año																			
5409	4249	4476	3960	3603	3987	4825	3732	3810	3665	3954	4795	50465 kWh																			
Características de los conjuntos FV (3 Tipo de conjunto definido)																															
Módulo FV		Si-poly		Modelo CS3L-330P HE																											
Base de datos PVsyst original		Fabricante		Canadian Solar Inc.																											
Subconjuntos																															
#1 - Subconjunto #1		Orientación #1		Inclinación/Azimet 19°/30°																											
Número de módulos FV		En series 8 módulos		En paralelo 2 cadenas																											
Número total de módulos FV		núm. de módulos 16		Unidad Nom. Potencia 330 Wp																											
Potencia global del conjunto		Nominal (STC) 5.28 kWp		En cond. de funcionam. 4786 Wp (50°C)																											
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp 233 V		I mpp 21 A																											
#2 - Subconjunto #2		Orientación #2		Inclinación/Azimet 19°/-4°																											
Número de módulos FV		En series 8 módulos		En paralelo 2 cadenas																											
Número total de módulos FV		núm. de módulos 16		Unidad Nom. Potencia 330 Wp																											
Potencia global del conjunto		Nominal (STC) 5.28 kWp		En cond. de funcionam. 4786 Wp (50°C)																											
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp 233 V		I mpp 21 A																											
#3 - Subconjunto #3		Orientación #3		Inclinación/Azimet 19°/-39°																											
Número de módulos FV		En series 8 módulos		En paralelo 1 cadenas																											
Número total de módulos FV		núm. de módulos 8		Unidad Nom. Potencia 330 Wp																											
Potencia global del conjunto		Nominal (STC) 2640 Wp		En cond. de funcionam. 2393 Wp (50°C)																											
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp 233 V		I mpp 10 A																											
Total		Potencia global conjuntos Nominal (STC) 13 kWp		Total 40 módulos																											
		Área del módulo 74.0 m ²		Área celular 66.1 m ²																											
Subconjuntos - Inversores																															
#1 - Subconjunto #1		Modelo 4.2 kWac inverter with 2 MPPT																													
Base de datos PVsyst original		Fabricante Generic																													
Características		Unidad Nom. Potencia 4.20 kWca		Voltaje de funcion. 125-500 V																											
Paquete de inversores		Potencia total 4.2 kWca		Proporción Pnom 1.26																											
		Núm. de inversores 2 * MPPT 50%																													

PVSYST 7.0.10		14/09/20	Página 2/9					
Sistema conectado a la red: Parámetros de simulación								
#2 - Subconjunto #2								
Modelo	4.2 kWac inverter with 2 MPPT							
Base de datos PVsyst original	Fabricante	Generic						
Características	Unidad Nom. Potencia	4.20 kWca	Voltaje de funcion. 125-500 V					
Paquete de inversores	Potencia total	4.2 kWca	Proporción Pnom 1.28					
	Núm. de inversores	2 * MPPT 50%						
#3 - Subconjunto #3								
Modelo	3 kWac inverter							
Base de datos PVsyst original	Fabricante	Generic						
Características	Unidad Nom. Potencia	3.00 kWca	Voltaje de funcion. 125-440 V					
Paquete de inversores	Potencia total	3.0 kWca	Proporción Pnom 0.88					
	Núm. de inversores	1 unidades						
Factores de pérdida del conjunto FV								
Factor de pérdida térmica	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s					
Pérdida óhmica en el cableado	Conjunto #1	188 m ·	Fracción de pérdida 1.5 % en STC					
	Conjunto #2	188 m ·	Fracción de pérdida 1.5 % en STC					
	Conjunto #3	377 m ·	Fracción de pérdida 1.5 % en STC					
	Global		Fracción de pérdida 1.5 % en STC					
Pérdida de calidad módulo			Fracción de pérdida -0.4 %					
Pérdidas de desajuste de módulo			Fracción de pérdida 2.0 % en MPP					
Pérdidas de desajuste de cadenas			Fracción de pérdida 0.10 %					
#1 - Subconjunto #1								
Efecto de incidencia (IAM): Perfil definido por el usuario								
10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1.000	1.000	1.000	0.990	0.990	0.970	0.920	0.760	0.000
#2 - Subconjunto #2								
Efecto de incidencia (IAM): Perfil definido por el usuario								
10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1.000	1.000	1.000	0.990	0.990	0.970	0.920	0.760	0.000
#3 - Subconjunto #3								
Efecto de incidencia (IAM): Perfil definido por el usuario								
10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1.000	1.000	1.000	0.990	0.990	0.970	0.920	0.760	0.000

PVSYS 7.0.10		14/09/20	Página 3/9
--------------	--	----------	------------

Sistema conectado a la red: Resultados principales

Proyecto : Plaça dels Quatre Vents - Connectat a la xarxa
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Principales parámetros del sistema		Tipo de sistema	Sin escena 3D definida, sin sombras	
Orientación campo FV		3 orientaciones	Inclinación/Azimut = 19°/30°, 19°/-4°, 19°/-39°	
Módulos FV		Modelo	CS3L-330P HE	Pnom 330 Wp
Conjunto FV		Núm. de módulos	40	Pnom total 13.20 kWp
Inversor		Modelo	4.2 kWac inverter with 2 MPPT	4200 W ac
Inversor		Modelo	3 kWac inverter	3000 W ac
Paquete de inversores		Núm. de unidades	3.0	Pnom total 11.40 kW ac
Necesidades del usuario		Ext. definida como archivo	Consums plaça sencera.	Global 50.5 MWh/año

Resultados principales de simulación				
Producción del sistema	Energía producida	20.53 MWh/año	Prod. específica	1555 kWh/kWp/año
	Proporción de rendimiento (PR)	84.22 %	Fracción solar (SF)	32.44 %
Inversión	Global	11'884.00 EUR	Específico	0.90 EUR/Wp
Costo anual	A anualidades	0.00 EUR/año	Costos de funcionamiento	26.87 EUR/año
LCOE		0.03 EUR/kWh	Período de recuperación	4.2 años

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 13.20 kWp

Lc: Pérdida de colección (pérdidas del conjunto FV) 0.64 kWh/kWp/día
 Ls: Pérdida del sistema (inversor, ...) 0.15 kWh/kWp/día
 Yt: Energía útil producida (salida inversor) 4.26 kWh/kWp/día

Proporción de rendimiento (PR)

PR: Índice de rendimiento (Yt/Yn): 0.842

Nueva variante de simulación Balances y resultados principales

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Enero	72.3	23.75	4.29	106.4	103.9	1.297	5.409	1.107	0.145	4.302
Febrero	88.7	31.42	3.83	116.5	113.9	1.416	4.249	1.156	0.210	3.092
Marzo	129.9	48.61	7.07	152.9	150.1	1.817	4.476	1.437	0.315	3.039
Abril	159.0	60.92	12.32	171.4	168.5	1.978	3.960	1.456	0.453	2.505
Mayo	206.2	72.98	17.07	211.5	207.9	2.389	3.603	1.732	0.574	1.871
Junio	212.6	75.75	20.60	212.6	209.0	2.374	3.987	1.805	0.487	2.182
Julio	230.0	70.20	23.00	233.3	229.5	2.577	4.825	2.076	0.411	2.749
Agosto	191.6	63.77	22.63	202.8	199.6	2.250	3.732	1.625	0.547	2.107
Septiembre	132.1	55.41	19.29	148.3	145.6	1.684	3.810	1.313	0.311	2.496
Octubre	98.9	43.65	13.37	122.3	119.7	1.441	3.665	1.032	0.358	2.632
Noviembre	65.6	29.60	8.81	89.0	86.8	1.071	3.954	0.831	0.200	3.123
Diciembre	54.5	23.06	3.01	79.7	77.7	0.983	4.795	0.798	0.150	3.997
Año	1641.3	599.13	12.99	1846.7	1812.0	21.276	50.465	16.370	4.161	34.096

Legendas: GlobHor Irradiación horizontal global
 DiffHor Irradiación difusa horizontal
 T_Amb T amb.
 GlobInc Global incidente plano receptor

GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
 EArray Energía efectiva a la salida del conjunto
 E_User Energía suministrada al usuario
 E_Solar Energía del sol
 E_Grid Energía inyectada en la red
 EFrGrid Energía de la red

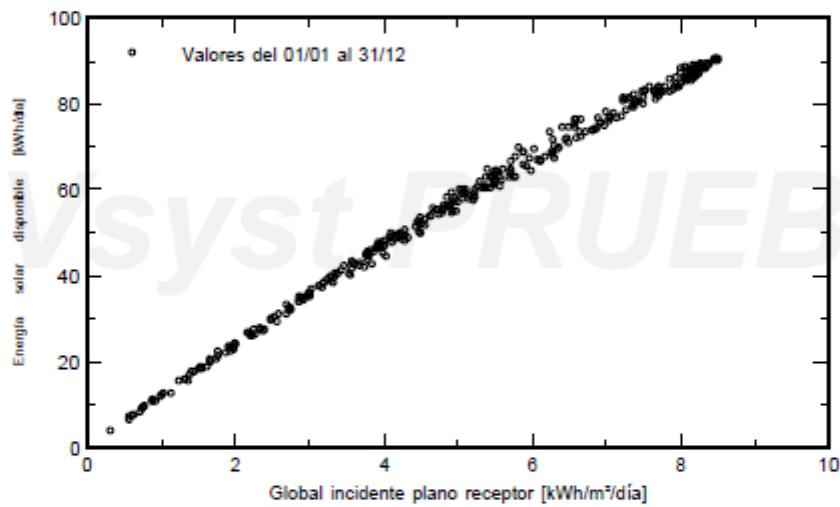
PVsyst Evaluation mode Traducción sin garantía. Solo el texto en inglés es la referencia.

Sistema conectado a la red: Gráficos especiales

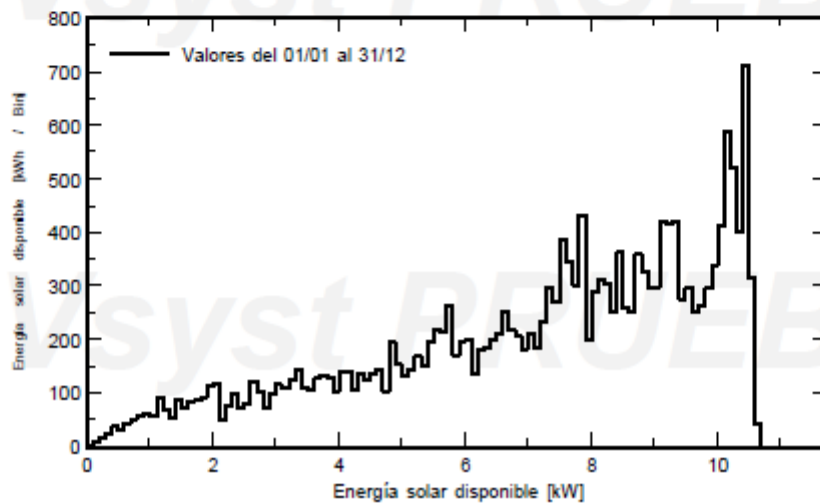
Proyecto : Plaça dels Quatre Vents - Connectat a la xarxa
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Principales parámetros del sistema	Tipo de sistema	Sin escena 3D definida, sin sombras		
Orientación campo FV	3 orientaciones	Inclinación/Azimut = 19°/30°, 19°/-4°, 19°/-39°		
Módulos FV	Modelo	CS3L-330P HE	Pnom	330 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	40	Pnom total	13.20 kWp
Inversor	Modelo	4.2 kWac inverter with 2 MPPT	4200 W ac	
Inversor	Modelo	3 kWac inverter	3000 W ac	
Paquete de inversores	Núm. de unidades	3.0	Pnom total	11.40 kW ac
Necesidades del usuario	Ext. definida como archivo	Consums plaça sencera.	Global	50.5 MWh/año

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de potencia de salida del sistema



PVSYST 7.0.10	14/09/20	Página 5/9
---------------	----------	------------

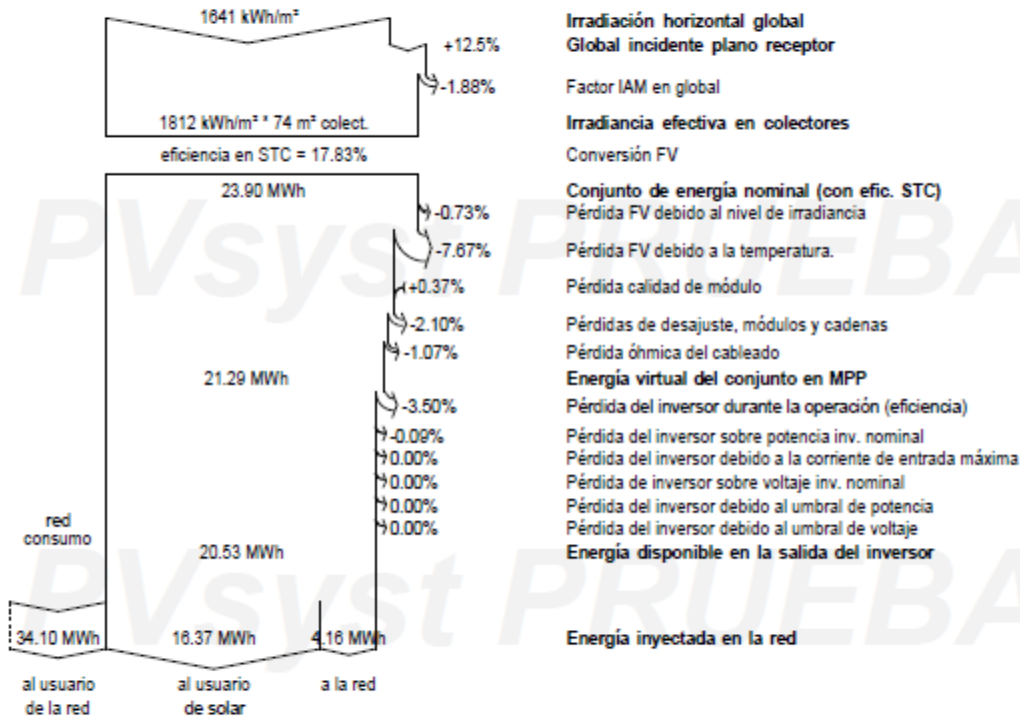
Sistema conectado a la red: Diagrama de pérdida

Proyecto : Plaça dels Quatre Vents - Connectat a la xarxa

Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Principales parámetros del sistema	Tipo de sistema	Sin escena 3D definida, sin sombras	
Orientación campo FV	3 orientaciones	Inclinación/Azimut = 19°/30°, 19°/-4°, 19°/-39°	
Módulos FV	Modelo	CS3L-330P HE	Pnom 330 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	40	Pnom total 13.20 kWp
Inversor	Modelo	4.2 kWac inverter with 2 MPPT	4200 W ac
Inversor	Modelo	3 kWac inverter	3000 W ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	3.0	Pnom total 11.40 kW ac
Necesidades del usuario	Ext. definida como archivo	Consums plaça sencera.	Global 50.5 MWh/año

Diagrama de pérdida durante todo el año



PVSYST 7.0.10		14/09/20	Página 6/9
Sistema conectado a la red: Costo del sistema			
Proyecto : Plaça dels Quatre Vents - Connectat a la xarxa			
Variante de simulación : Nueva variante de simulación			
Principales parámetros del sistema	Tipo de sistema	Sin escena 3D definida, sin sombras	
Orientación campo FV	3 orientaciones	Inclinación/Azimut = 19°/30°, 19°/-4°, 19°/-39°	
Módulos FV	Modelo	CS3L-330P HE	Pnom 330 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	40	Pnom total 13.20 kWp
Inversor	Modelo	4.2 kWac inverter with 2 MPPT	4200 W ac
Inversor	Modelo	3 kWac inverter	3000 W ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	3.0	Pnom total 11.40 kW ac
Necesidades del usuario	Ext. definida como archivo	Consums plaça sencera.	Global 50.5 MWh/año
Costes de instalación			
Módulos FV			
CS3L-330P HE	40 unidades	100.00 EUR/unidad	4'000.00 EUR
Soportes para módulos	10 unidades	96.00 EUR/unidad	960.00 EUR
Inversores			
4.2 kWac inverter with 2 MPPT	2 unidades	981.00 EUR/unidad	1'962.00 EUR
3 kWac inverter			892.00 EUR
Estudios y análisis			
Ingeniería			2'500.00 EUR
Permisos y otras tarifas admin.			200.00 EUR
Instalación			
Transporte			20.00 EUR
Accesorios, sujetadores			20.00 EUR
Cableado			200.00 EUR
Ajustes			50.00 EUR
Conexión a la red			1'080.00 EUR
		Total	11'884.00 EUR
		Activo amortizable	7'834.00 EUR
Costos de operación			
Mantenimiento			
Reparación			10.00 EUR/año
Limpieza			10.00 EUR/año
		Total (OPEX)	20.00 EUR/año
		Incluyendo inflación (3.00%)	26.87 EUR/año
Resumen del sistema			
Costo total de instalación		11'884.00 EUR	
Costos de operación (Incl. inflación 3.00%/año)		26.87 EUR/año	
Energía no utilizada		16.4 MWh/año	
Energía vendida a la red		4.2 MWh/año	
Costo de la energía producida (LCOE)		0.030 EUR/kWh	

PVSYST 7.0.10		14/09/20	Página 7/9
Sistema conectado a la red: Análisis financiero			
Proyecto : Plaça dels Quatre Vents - Connectat a la xarxa			
Variante de simulación : Nueva variante de simulación			
Principales parámetros del sistema	Tipo de sistema	Sin escena 3D definida, sin sombras	
Orientación campo FV	3 orientaciones	Inclinación/Azimut = 19°/30°, 19°/-4°, 19°/-39°	
Módulos FV	Modelo	CS3L-330P HE	Pnom 330 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	40	Pnom total 13.20 kWp
Inversor	Modelo	4.2 kWac inverter with 2 MPPT	4200 W ac
Inversor	Modelo	3 kWac inverter	3000 W ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	3.0	Pnom total 11.40 kW ac
Necesidades del usuario	Ext. definida como archivo	Consums plaça sencera.	Global 50.5 MWh/año
Parámetros financieros			
Período de simulación			
Vida del proyecto	20 años	Año de inicio	2020
Variación del ingreso a lo largo del tiempo			
Inflación		3.00 %/año	
Variación de producción		0.00 %/año	
Tasa de descuento		0.00 %/año	
Gastos dependientes de ingresos			
Tasa de impuesto sobre la renta		0.00 %/año	
Otro impuesto sobre la renta		0.00 %/año	
Dividendos		0.00 %/año	
Financiamiento			
Fondos propios		11'884.00 EUR	
Venta de electricidad			
Tarifa de alimentación		0.14 EUR/kWh	
Duración de la garantía de tarifas		20 años	
Impuesto de conexión anual		0.00 EUR	
Variación de tarifa anual		0.0 %/año	
Reducción de tarifa de alimentación después de la garantía		0.00 %	
Autoconsumo			
Tarifa de consumo		0.14 EUR/kWh	
Evolución de tarifas		0.0 %/año	
Retorno de la inversión			
Período de recuperación		4.2 años	
Valor presente neto (VPN)		44'647.85 EUR	
Retorno de la inversión (ROI)		375.7 %	

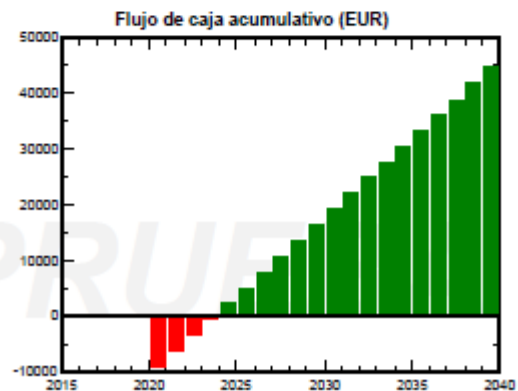
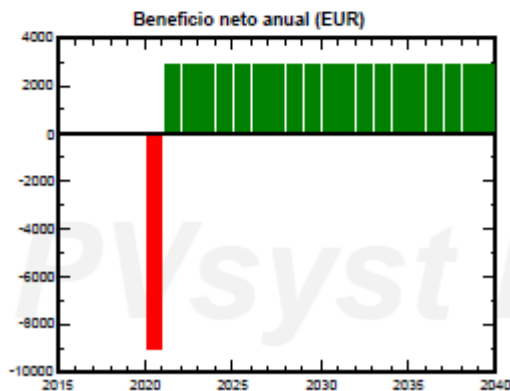
Sistema conectado a la red: Análisis financiero

Proyecto : Plaça dels Quatre Vents - Connectat a la xarxa
 Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Principales parámetros del sistema	Tipo de sistema	Sin escena 3D definida, sin sombras		
Orientación campo FV	3 orientaciones	Inclinación/Azimut = 19°/30°, 19°/-4°, 19°/-39°		
Módulos FV	Modelo	CS3L-330P HE	Pnom	330 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	40	Pnom total	13.20 kWp
Inversor	Modelo	4.2 kWac inverter with 2 MPPT		4200 W ac
Inversor	Modelo	3 kWac inverter		3000 W ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	3.0	Pnom total	11.40 kW ac
Necesidades del usuario	Ext. definida como archivo	Consums plaça sencera.	Global	50.5 MWh/año

Resultados económicos detallados (EUR)

	Ingresos brutos	Costos de func.	Subsidio de amortización	Ingreso imponible	Impuestos	Beneficio después de impuestos	Ahorro de consumo	Cumul lucro	% amorti.
2020	562	20	0	542	0	542	2'292	-9'051	23.8%
2021	562	21	0	541	0	541	2'292	-6'218	47.7%
2022	562	21	0	541	0	541	2'292	-3'385	71.5%
2023	562	22	0	540	0	540	2'292	-554	95.3%
2024	562	23	0	539	0	539	2'292	2'277	119.2%
2025	562	23	0	539	0	539	2'292	5'107	143.0%
2026	562	24	0	538	0	538	2'292	7'937	166.8%
2027	562	25	0	537	0	537	2'292	10'766	190.6%
2028	562	25	0	536	0	536	2'292	13'594	214.4%
2029	562	26	0	536	0	536	2'292	16'421	238.2%
2030	562	27	0	535	0	535	2'292	19'248	262.0%
2031	562	28	0	534	0	534	2'292	22'074	285.7%
2032	562	29	0	533	0	533	2'292	24'909	309.5%
2033	562	29	0	532	0	532	2'292	27'723	333.3%
2034	562	30	0	531	0	531	2'292	30'546	357.0%
2035	562	31	0	531	0	531	2'292	33'368	380.8%
2036	562	32	0	530	0	530	2'292	36'190	404.5%
2037	562	33	0	529	0	529	2'292	39'010	428.3%
2038	562	34	0	528	0	528	2'292	41'829	452.0%
2039	562	35	0	527	0	527	2'292	44'648	475.7%
Total	11'234	537	0	10'697	0	10'697	45'835	44'648	475.7%



PVSYST 7.0.10		14/09/20	Página 9/9
Sistema conectado a la red: CO2 Balance			
Proyecto : Plaça dels Quatre Vents - Connectat a la xarxa			
Variante de simulación : Nueva variante de simulación			
Principales parámetros del sistema			
Tipo de sistema	Sin escena 3D definida, sin sombras		
Orientación campo FV	3 orientaciones		
Módulos FV	Modelo	CS3L-330P HE	Pnom 330 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	40	Pnom total 13.20 kWp
Inversor	Modelo	4.2 kWac inverter with 2 MPPT	4200 W ac
Inversor	Modelo	3 kWac inverter	3000 W ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	3.0	Pnom total 11.40 kW ac
Necesidades del usuario	Ext. definida como archivo	Consums plaça sencera.	Global 50.5 MWh/año
Emisiones generadas			
	Total:	23.94 tCO ₂	
	Fuente:	Cálculo detallado de la siguiente tabla:	
Emisiones reemplazadas			
	Total:	176.8 tCO ₂	
	Sistema de producción:	20.53 MWh/año	Toda la vida: 30 años
			Degradación anual: 1.0%
	Emisiones del ciclo de vida de la red:	287 gCO ₂ /kWh	
	Fuente:	Lista IEA	País: Spain
Balance de emisiones de CO₂			
	Total:	129.4 tCO ₂	
Detalles de emisiones del ciclo de vida del sistema:			
Artículo	Módulos	Soportes	Inversores
LCE	1713 kgCO ₂ /kWp	1.91 kgCO ₂ /kg	190 kgCO ₂ /unidades
Cantidad	13.2 kWp	400 kg	3.00 unidades
Subtotal [kgCO ₂]	22608	766	569

CAPÍTOL 10. ÍNDEX DE FIGURES

Figura 1: Emissions derivades de combustibles fòssils (Gt CO ₂ /any) en els escenaris representatius de concentració. Font: CDIAC; Fuss et al. (2014); Global Carbon Budget 2017; Le Quéré et al. (2017).....	11
Figura 2: Estructura de generació de gener a juny del 2019. Font: Nota de premsa (2019); Red Eléctrica de España.....	11
Figura 3: Estructura de consum d'energia elèctrica (GWh) per branques d'activitat (%) l'any 2015. Font: IDAE, Balanços energètics. Elaboració: Energiaysociedad.es.....	12
Figura 4: Mapa d'irradiació global horitzontal a Espanya. Font: SolarGis.....	12
Figura 5: Evolució del preu de l'electricitat a Espanya. Font: Eurostat (2018).....	13
Figura 6: Evolució del preu de les cèl·lules fotovoltaïques. Font: ExeoEnergy.....	13
Figura 7: Efecte del recorregut del planeta al voltant del Sol sobre la incidència dels raigs sobre la superfície. Font: First-Learn.com.....	16
Figura 8: Recorregut del Sol en dos dies d'estacions diferents vist des de la superfície. Font: Wikipedia.....	17
Figura 9: Representació dels angles de mesura de la ubicació del Sol en un instant del dia. Font: eGFI.....	18
Figura 10: Recorregut i pèrdues de la radiació al seu pas per l'atmosfera. Font: BBC News.....	19
Figura 11: Possibles recorreguts de la radiació solar fins la superfície. Font: Raj, S. Principles of solar energy.....	19
Figura 12: Efecte de l'angle d'incidència dels raigs solars sobre la irradiància. Font: Instituto de tecnologías educativas.....	20
Figura 13: Angles de mesura de l'angle d'incidència i inclinació solar. Font: ResearchGate.....	20
Figura 14: Corba de producció tipus. Font: Wikipedia.....	21
Figura 15: Equivalència d'una corba de producció real amb la seva equivalent imaginària en forma d'HSP. Font: Mohd Shawal Jadin Faculty of Electrical & Electronic Engineering.....	22
Figura 16: Cèl·lula fotovoltaïca. Font: Wikipedia.....	22
Figura 17: Cèl·lula monocristal·lina. Font: Wikipedia.....	23
Figura 18: Cèl·lula policristal·lina. Font: Wikipedia.....	23
Figura 19: Cèl·lula amorfa. Font: Wikipedia.....	23
Figura 20: Taula-resum classificació de mòduls fotovoltaïcs segons diferents paràmetres. Font: elaboració pròpia.....	24
Figura 21: Taula-resum classificació de mòduls fotovoltaïcs segons nombre de cèl·lules. Font: elaboració pròpia.....	24
Figura 22: Corba I-V tipus. Font: Tecnoslab.....	26
Figura 23: Corbes I-V representades comparativament sota diferents temperatures. Font: UOCx, conceptos básicos de energia solar fotovoltaïca.....	27
Figura 24: Corbes I-V representades comparativament davant de diferents nivells de radiació. Font: Tecnoslab.....	27
Figura 25: Representació d'una string formada per 3 panells. Càlcul de la diferència de potencial de l'string. Font: elaboració pròpia.....	28
Figura 26: Representació de dues strings connectades en paral·lel. Càlcul de la intensitat resultant. Font: elaboració pròpia.....	28
Figura 27: Taula de sistemes d'autoconsum connectats a la xarxa. Font: elaboració pròpia.....	31
Figura 28: Taula de sistemes d'autoconsum aïllats. Font: elaboració pròpia.....	31
Figura 29: Taula-resum de les configuracions contemplades dins el nou Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energia eléctrica. Font: IDAE.....	38
Figura 30: Representació gràfica de la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL i SENSE EXCEDENTS en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.....	39
Figura 31: Representació gràfica de la repartició energètica en la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL i SENSE EXCEDENTS en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.....	39
Figura 32: Representació gràfica de la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL i SENSE EXCEDENTS en XARXA EXTERIOR. Font: Elaboració pròpia.....	40
Figura 33: Representació gràfica de la repartició energètica en la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL i SENSE EXCEDENTS en XARXA EXTERIOR. Font: Elaboració pròpia.....	40
Figura 34: Representació gràfica de la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.....	41
Figura 35: Representació gràfica de la repartició energètica en la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.....	41
Figura 36: Representació gràfica de la modalitat d'autoconsum COL·LECTIU, AMB EXCEDENTS, ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.....	42
Figura 37: Representació gràfica de la repartició energètica en la modalitat d'autoconsum COL·LECTIU, AMB EXCEDENTS, ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.....	43
Figura 38: Representació gràfica de la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.....	43
Figura 39: Representació gràfica de la repartició energètica en la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.....	44
Figura 40: Representació gràfica de la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.....	44
Figura 41: Representació gràfica de la repartició energètica en la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA INTERIOR. Font: Elaboració pròpia.....	45
Figura 42: Representació gràfica de la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA EXTERIOR. Font: Elaboració pròpia.....	45
Figura 43: Representació gràfica de la repartició energètica en la modalitat d'autoconsum INDIVIDUAL, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA EXTERIOR. Font: Elaboració pròpia.....	46
Figura 44: Representació gràfica de la modalitat d'autoconsum COL·LECTIU, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA EXTERIOR. Font: Elaboració pròpia.....	46

Figura 45: Representació gràfica de la repartició energètica en la modalitat d'autoconsum COL-LECTIU, AMB EXCEDENTS, NO ACOLLIT A COMPENSACIÓ en XARXA EXTERIOR. Font: Elaboració pròpia.	47
Figura 46: Vista satèl·lit del conjunt de cases del projecte. Font: Google Maps	52
Figura 47: Representació gràfica del recorregut solar (blau) en diferents mesos de l'any a Ullastrell. Font: WeatherSpark.	53
Figura 48: Gràfic amb hora posta de sol i, migdia solar i crepuscle a Ullastrell. Font: WeatherSpark.	54
Figura 49: Disseny tridimensional del grup de cases i classificació de les superfícies per colors. Perspectiva Nord. Font: Elaboració pròpia.	55
Figura 50: Disseny tridimensional del grup de cases i classificació de les superfícies per colors. Perspectiva Sud. Font: Elaboració pròpia.	55
Figura 51: Taula classificació de les diferents superfícies de les cases. Font: Elaboració pròpia.	55
Figura 52: Superfícies assolellades o ombrívols. Bloc 1. Font: Elaboració pròpia.	56
Figura 53: Superfícies assolellades o ombrívols. Bloc 2. Font: Elaboració pròpia.	56
Figura 54: Superfícies assolellades o ombrívols. Bloc 3. Font: Elaboració pròpia.	56
Figura 55: Superfícies assolellades o ombrívols. Bloc 4. Font: Elaboració pròpia.	57
Figura 56: Superfícies assolellades o ombrívols. Bloc 5. Font: Elaboració pròpia.	57
Figura 57: Superfícies assolellades o ombrívols. Bloc 6. Font: Elaboració pròpia.	57
Figura 58: Superfícies assolellades o ombrívols. Bloc 7. Font: Elaboració pròpia.	57
Figura 59: Superfícies assolellades o ombrívols. Bloc 8. Font: Elaboració pròpia.	58
Figura 60: Llegenda de superfícies. Font: Elaboració pròpia.	58
Figura 61: Pèrdua mensual deguda a les ombres a cada superfície estudiada. Font: Elaboració pròpia.	58
Figura 62: Taula de dades de consum obtingudes. Font: Elaboració pròpia.	59
Figura 63: Taula d'obtenció de dades hora a hora per totes les cases. Font: Elaboració pròpia.	59
Figura 64: Gràfic de consum de la plaça sencera durant el 2019. Font: Elaboració pròpia.	60
Figura 65: Gràfic de consum per casa i mes al llarg del 2019. Font: Elaboració pròpia.	61
Figura 66: Gràfic de perfil mitjà de consum al llarg d'un dia per cada una de les 16 cases. Font: Elaboració pròpia.	61
Figura 67: Taula amb inclinacions i orientacions de les diferents superfícies. Font: Elaboració pròpia.	63
Figura 68: Identificació de les diferents superfícies amb el seu TAG. Font: Elaboració pròpia.	63
Figura 69: Identificació de les diferents superfícies segons son interiors, exteriors o façana. Font: Elaboració pròpia.	63
Figura 70: Taula representativa del format de formalització de dades de producció elaborat. Font: Elaboració pròpia.	64
Figura 71: Gràfic d'energia mitjana diària produïda per cada superfície per m2 instal·lat. Font: Elaboració pròpia.	65
Figura 72: Principis, dimensionat i amortització d'una instal·lació d'injecció 0. Font: Elaboració pròpia.	67
Figura 73: Principis, dimensionat i amortització d'una instal·lació <i>pool</i> . Font: Elaboració pròpia.	67
Figura 74: Principis, dimensionat i amortització d'una instal·lació individual amb bateries i connexió a la xarxa. Font: Elaboració pròpia.	68
Figura 75: Principis, dimensionat i amortització d'una instal·lació aïllada. Font: Elaboració pròpia.	68
Figura 76: Principis, dimensionat i finançament comunitari i amortització d'una instal·lació d'injecció 0 amb excedent compartit. Font: Elaboració pròpia.	69
Figura 77: Principis, dimensionat i finançament comunitari i amortització d'una instal·lació connectada a la xarxa amb excedent compartit. Font: Elaboració pròpia.	69
Figura 78: Principis, dimensionat i finançament comunitari i amortització d'una instal·lació amb bateria i connexió a la xarxa amb excedent compartit. Font: Elaboració pròpia.	70
Figura 79: Principis, dimensionat i finançament comunitari i amortització d'una instal·lació aïllada amb excedent compartit. Font: Elaboració pròpia.	71
Figura 80: Principis, dimensionat, finança comunitària, amortització i unificació d'aparells en una instal·lació d'injecció 0, excedent compartit i factura única. Font: Elaboració pròpia.	71
Figura 81: Principis, dimensionat, finança comunitària, amortització i unificació d'aparells en una instal·lació d'excedent compartit i <i>pool</i> conjunt. Font: Elaboració pròpia.	72
Figura 82: Principis, dimensionat, finança comunitària, amortització i unificació d'aparells en una instal·lació connectada a la xarxa i amb bateria comunitària. Font: Elaboració pròpia.	73
Figura 83: Principis, dimensionat, finança comunitària, amortització i unificació d'aparells en una instal·lació comunitària aïllada. Font: Elaboració pròpia.	73
Figura 84: Legalitat vigent envers un sistema individual d'injecció 0. Font: Elaboració pròpia.	75
Figura 85: Legalitat vigent envers un sistema individual <i>pool</i> amb connexió a la xarxa i bateries. Font: Elaboració pròpia.	75
Figura 86: Legalitat vigent envers un sistema individual aïllat. Font: Elaboració pròpia.	75
Figura 87: Legalitat vigent envers un sistema comunitari connectat a la xarxa, amb excedent compartit i injecció 0. Font: Elaboració pròpia.	76
Figura 88: Legalitat vigent envers un sistema comunitari connectat a la xarxa, amb excedent compartit i <i>pool</i> . Font: Elaboració pròpia.	77
Figura 89: Legalitat vigent envers un sistema comunitari aïllat amb excedent compartit. Font: Elaboració pròpia.	77
Figura 90: Legalitat vigent envers sistemes comunitaris connectats a la xarxes, injecció 0, excedent compartit, factura única; excedent compartit, <i>pool</i> conjunt o xarxa i bateria comunitària amb connexió a xarxa. Font: Elaboració pròpia.	77
Figura 91: Legalitat vigent envers un sistema comunitari aïllat. Font: Elaboració pròpia.	78
Figura 92: Taula representació de la fulla de càlcul d'instal·lacions individuals acollides a compensació simplificada. Font: Elaboració pròpia.	79
Figura 93: Botons de control per la fulla de càlcul d'instal·lacions individuals acollides a compensació simplificada. Font: Elaboració pròpia.	81
Figura 94: Exemple de resultat obtingut a la fulla de càlcul d'instal·lacions individuals acollides a compensació simplificada. Font: Elaboració pròpia.	81

Figura 95: Gràfica exemple de producció i consum mensual al llarg d'un any. Font: Elaboració pròpia.	81
Figura 96: Gràfica exemple de producció i consum d'un dia. Font: Elaboració pròpia.	82
Figura 97: Resultats econòmics i ecològics per a instal·lacions d'una sola placa. Font: Elaboració pròpia.	82
Figura 98: Taula representació de la fulla de càlcul d'instal·lacions individuals aïllades. Font: Elaboració pròpia.	83
Figura 99: Botons de control per la fulla de càlcul d'instal·lacions individuals aïllades. Font: Elaboració pròpia.	83
Figura 100: Fulla de càlcul amb simulació de la factura elèctrica sense autoconsum. Font: Elaboració pròpia.	84
Figura 101: Exemple de resultat obtingut a la fulla de càlcul d'instal·lacions individuals aïllades. Font: Elaboració pròpia.	84
Figura 102: Gràfica exemple de producció, consum i estat de càrrega de la bateria al llarg d'un mes. Font: Elaboració pròpia.	84
Figura 103: Resultats econòmics per una instal·lació aïllada autosuficient. Font: Elaboració pròpia.	85
Figura 104: Taula representació de la fulla de càlcul de la instal·lació d'autoconsum compartit. Font: Elaboració pròpia.	85
Figura 105: Botons de control per la fulla de càlcul de la instal·lació d'autoconsum compartit. Font: Elaboració pròpia.	86
Figura 106: Exemple de resultat obtingut a la fulla de càlcul de l'instal·lació d'autoconsum compartit. Font: Elaboració pròpia.	87
Figura 107: Gràfica exemple de producció i consum al llarg de l'any de la instal·lació d'autoconsum compartit. Font: Elaboració pròpia.	87
Figura 108: Model temps d'amortització ajustat. Font: Elaboració pròpia.	87
Figura 109: Model autoconsum ajustat. Font: Elaboració pròpia.	88
Figura 110: Matriu de decisió de la solució òptima.	89
Figura 111: Taula d'estalvis anuals que genera la addició d'una placa a les diferents superfícies. Font: Elaboració pròpia.	92
Figura 112: Representació de les plaques instal·lades sobre les superfícies escollides. Font: Elaboració pròpia.	92
Figura 113: Panells fotovoltaics triats. Font: Elaboració pròpia.	93
Figura 114: Inversor triat pel bloc de cases 7 i 8. Font: Elaboració pròpia.	93
Figura 115: Inversor triat pel bloc de cases 9 i 10. Font: Elaboració pròpia.	93
Figura 116: Inversor triat pel bloc de cases 11 i 12. Font: Elaboració pròpia.	94
Figura 117: Estructures de suport triades.	94
Figura 118: Taula de factors de reducció per seccions de cable. Font: UNE 20 460-5-S23:2004.	94
Figura 119: Secció de cables recomanats per diferents tipus de cable i amperatge. Font: Top Cable.	95
Figura 120: Cable de corrent contínua seleccionat. Font: Elaboració pròpia.	95
Figura 121: Taula de secció de conductor. Font: UNE 20 460-5-523.	96
Figura 122: Cable per alterna seleccionat. Font: Elaboració pròpia.	96
Figura 123: Fusible seleccionat. Font: Elaboració pròpia.	96
Figura 124: Base portafusible seleccionat. Font: Elaboració pròpia.	97
Figura 125: Diferencial i magnetotèrmic seleccionats. Font: Elaboració pròpia.	97
Figura 126: Càlcul de costos de la instal·lació. Font: Elaboració pròpia.	100
Figura 127: Flux de caixa acumulatiu. Font: Estudi realitzat amb PVSyst.	101
Figura 128: Comparativa de cobertura respecte a consum a igualtat de temps d'amortització entre instal·lacions individuals o una instal·lació comunitària. Font: Elaboració pròpia.	104
Figura 129: Comparativa de temps d'amortització a igualtat de cobertura respecte a consum entre instal·lacions individuals o una instal·lació comunitària. Font: Elaboració pròpia.	104