



**EPS**

Escola Politècnica  
Superior

## Treball final de grau

**Estudi:** Grau d'Arquitectura Tècnica

**Títol:** Estudi de la integració Fotovoltaica en els edificis i l'aplicació per al disseny a una edificació existent

**Document:** Conclusions

**Alumne:** Rafael Suares Cañete

**Director/Tutor:** Emili Sagrera Busquets

**Departament:** D'Arquitectura i Enginyeria de la construcció

**Àrea:** Construccions Arquitectòniques

**Convocatòria** (mes/any): JUNY/2015

## 01. CONCLUSIONS (C)

---

### **Situació de l'energia FV i canvi normatiu.**

Com hem pogut observar, el mercat fotovoltaic ha crescut a l'última dècada a un ritme notable. Fins i tot, durant la difícil situació econòmica viscuda, també hem pogut comprovar que està en camí de convertir-se en una important font de d'energia eficient per al món. Ja que, per primera vegada comencem a veure els nostres edificis com a generadors d'energia i no com a consumidors de la mateixa.

Després d'observar les dades registrades creixements en el 2011 (segons l'informe de l'EPIA sobre el mercat fotovoltaic), el mercat fotovoltaic mundial es va estabilitzar al 2012, i va tornar a créixer de manera significativa fins a dia d'avui. Això ens diu, que és un mercat que pateix canvis i com a la majoria de mercats és evolutiu. Per tant, podem dir doncs, que pateix una constant evolució tecnològica, produint uns canvis significatius pel que fa mercat mundial en funció de les necessitats de les persones.

El paper d'Europa com el líder indiscutible en el mercat fotovoltaic ha arribat a la seva fi. Mentre que Europa va representar el 74% de les noves instal·lacions d'energia fotovoltaica del món en 2011, i fins i tot al voltant de 55% a l'any següent, la regió només representat el 29% de les noves instal·lacions fotovoltaiques del món en 2013, segons EPIA (European Photovoltaic Industry Association). Dit això, també hem de tenir en compte que hi han diversos mercats de Europa que encara tenen potencial fort i gairebé sense explotar per al creixement FV significativa en els propers anys.

El 2013, el creixement es va deure principalment als països d'Àsia i especialment la Xina i el Japó, que eren en el rang dels primer i segon mercats globals, respectivament. Els mercats a les Amèriques van créixer més lentament de l'esperat, però el creixement exponencial es va observar en els EUA, Canadà i Mèxic. En altres regions del món, l'interès en la FV encara no s'ha traduït en el desenvolupament del mercat més significatiu.

Els mercats fotovoltaics a Europa hi ha tot el món tenen un ràpid progrés cap a la competitivitat en el sector de l'electricitat. Per tant, la lògica és que el preu del kW FV haguí de disminuir. Tot i això, la tecnologia i preus de l'electricitat han anat a la pujada. Això a ajudat a l'impuls conegut com a la "paritat de xarxa dinàmica" (quan l'estalvi en costos d'electricitat i / o els ingressos generats per la venda d'electricitat fotovoltaica al mercat són igual o més alta que la de llarg termini cost de la

instal·lació i el finançament d'un sistema fotovoltaic). Això fa plantejar a moltes persones de si és o no és una bona eina per emprar als nostres habitatges.

Això ve degut, a que en la majoria dels països, la FV segueix sent un mercat basat en polítiques. La introducció, modificació o “phasingout” dels sistemes nacionals de suport, que en gran mesura afecten el desenvolupament dels mercats fotovoltaics i indústries en aquests països, també influeixen significativament les previsions i escenaris que podríem aconseguir. Energèticament parlant, de fet, la disminució de política suport a la FV ha portat als mercats reduïts a diversos països europeus (Itàlia, Bèlgica, França i Espanya, per exemple), mentre que la implementació de noves polítiques aranzelàries, com és el cas del “feed-in” ha portat a un dramàtic augment dels mercats d'altres països (com la Xina i el Japó). Ho com és el cas del “Net Metering” a EUA. Aquestes són eines que ens permeten incentivar les energies renovables, i en concret la fotovoltaica, mitjançant unes retribucions que reben els usuaris per la seva energia cedida a la xarxa.

Al nostre País, en concret, hem pogut observar que gràcies a la Llei 24/2013 del sector elèctric ens regula la nostre producció elèctrica i ens delimita quins són els “peatges” a pagar per l'autoconsum d'aquesta instal·lació o a més a més per l'energia excedent de la mateixa. Aquesta llei, en concret, és un obstacle alhora de visualitzar el nostre edifici com un generador. Ja que, ens proposa més traves per poder realitzar el nostre propòsit d'integrar aquest tipus d'instal·lacions en els nostres edificis.

També hem pogut observar que a Catalunya en tenim unes 3600 instal·lacions tipus fetes, les quals generen uns 226 MW aproximadament. Això vol dir que tot i que no hi ha el creixement que presenten d'altres països. La Generalitat continua tramitant les sol·licituds d'inscripció en el Registre d'Instal·lacions de Producció en Règim Especial, d'acord amb el procediment establert per el Reial Decret 661/2007, el Reial Decret 1699/2011 i els procediments de la Direcció General d'Energia, Mines i Seguretat Industrial.

Per tant, una conclusió que en podem treure de tot això, és que, no hi ha suficient activitat política i això fa que ens manqui implementar algun sistema del tipus “Feed-in” o “Net Metering” al nostre país per poder fomentar l'ús de l'energia FV en els usuaris i poder aconseguir així edificis més eficients energèticament parlant. Per tant, aconseguir veure els edificis amb l'objectiu de que siguin generadors d'energia i no pas consumidors de la mateixa.

## Desenvolupament exponencial de la FV en els edificis.

En l'energia fotovoltaica, com he pogut observar, la principal palanca per el desenvolupament és la reducció dels costos que és troba en la millora de l'eficiència dels elements que incorpora una instal·lació fotovoltaica integrada en qualsevol edifici (mòduls fotovoltaics, inversors, cablejats,...). Aquest increment de l'eficiència es podria produir si féssim una reducció de la superfície de mòdul per Wp, lo que ens a minora els costos unitaris del mòdul, estructura metàl·lica, cablejat, inversors per Wp.

Per altre banda, la millora dels processos productius i de desenvolupament de les plantes de producció d'aquets elements a major escala també ens permet reduir els costos de forma significativa. Com hem comprovat, el rendiment de la majoria d'inversors ronda el 90-95%, per tant, podem considerar satisfactòria aquesta part del sistema FV. Tot i així, com hem dit abans, hem de reduir la superfície de mòdul per Wp. Concloent, amb que, hem d'augmentar els rendiments proporcionat per el silici, tant en cèl·lules, mono com multicristal·lines. Una alternativa a aquesta problemàtica és la tecnologia emprada de nanopartícules en la pintura d'alta conductivitat elèctrica, optant així a un canvi de material (el grafeno) que aportaria millors prestacions elèctriques als nostres mòduls fotovoltaics augmentant així el seu rendiment i, per tant, el rendiment de la instal·lació fotovoltaica integrada en l'edifici.

També hem pogut observar, en aquest Treball Final de Grau. Les diferents possibilitats de disseny que tenim ahora de fer una integració fotovoltaica. Com son, les dimensions i forma del mòdul, l'estructura constructiva del mòdul, la forma i dimensió de les cèl·lules, el color de les cèl·lules, la transparència del mòdul o el número de cèl·lules i la seva disposició. Tots aquest factors ens aporten una experiència que ha donat bons resultats al llarg del temps en aquest tipus d'instal·lacions d'energia renovable. A aquets factors de disseny, també hem d'afegir, que hem vist com pot funcionar a la pell d'aquets edificis en diferents situacions. Concretament en 4 tipus de tancaments verticals (façana ventilada, mur cortina, sistemes de finestres i lames/para-sols de protecció solar) i un de tres tipus de tancaments horitzontals (cobertes vegues inclinades, cobertes cegues planes i lluernaris/atris envidrats) analitzant com pot ser la seva integració fotovoltaica òptima. Una vegada analitzada aquestes diferents situacions a la pell de l'edifici, hem definit uns criteris generals exigibles als tancaments, com són: la seva vida útil, el seu comportament estructural, el moviment de l'edifici i toleràncies, la permeabilitat a l'aire, les prestacions tèrmiques, la seguretat i resistència, l'aïllament acústic, la resistència al foc i les tensions tèrmiques en el vidre. Aquets requeriments són de caire general per a qualsevol instal·lació fotovoltaica i ens marquen unes directrius/consells per a tenir en compte en qualsevol instal·lació d'aquest tipus.

A part d'aquesta reducció dels costos, els elements tradicionals que incorporen la instal·lació fotovoltaica i les possibilitats de disseny que tenim. També hem pogut observar diferents tècniques innovadores fotovoltaiques. Com és el cas de la pintura d'alta conductivitat elèctrica, la producció elèctrica mitjançant cobertes enjardinades o bé els panells Sandwich amb integració fotovoltaica. Aquestes sistemes/tècniques mostren una aptitud de la comunitat de professionals que és dediquen a aquest camp. La qual va aportant, cada vegada més, les diferents solucions innovadores que podem integrar en les nostres edificacions.

A més a més, com hem pogut observar en el Treball Final de Grau. Hi han noves iniciatives per millorar l'emmagatzematge d'aquest tipus de tecnologies. Com és el cas de les bateries d'emmagatzematge de Tesla Motors. Aquestes bateries ens obren una possibilitat per poder emmagatzemar energia en el nostre edifici, i per tant, per poder-la utilitzar en qualsevol moment en que els nostres panells solars no donin la suficient energia per el consum d'aquest edifici. Conseqüentment, ens obra una altre porta alhora de dissenyar el consum de qualsevol edificació i les diferents possibilitats que tenim alhora d'utilitzar aquesta energia.

També hem observat d'altres iniciatives, com són els diferents projectes exposats en aquest Treball Final de Grau. Com és el cas del projecte de Jujuy, el projecte LOW3, el projecte RESSÒ o el projecte ETREE. Aquets projectes, són projectes totalment diferents, però tenen una cosa en comú. I és que són projectes d'aptitud, ja que ens marquen una aptitud alhora d'afrontar un problema mundial com és el sobreescalfament de la terra degut a les grans emissions de CO<sub>2</sub>. Per tant, són solucions arquitectòniques diverses, però totes busquen el benestar de les persones. Mitjançant aquest tipus de tecnologia renovable, per tant, per un bé comú de la societat.

Podem concloure doncs, amb que tot aquest desenvolupament d'energia fotovoltaica ens aporta un nou model com a societat energètica. Ja que, podem veure l'energia fotovoltaica com una energia d'un futur pròxim per poder alimentar grans o petites ciutats (smart cities). Un exemple d'aquest tipus d'abastament energètic és el proposat per la PIME trama tecnoambiental. Tal i com hem vist en aquest Treball Final de Grau, aquesta PIME és dedica a interconnectar poblacions aïllades en lo que anomena unes micro-xarxes. Aquesta idea fa possible que diverses poblacions aïllades del tot el món (majoritàriament a l'Àfrica) puguin estar abastides d'energia elèctrica sense la necessitat de grans infraestructures elèctriques d'alta i mitja tensió.

Per tant, ens estalviaríem des de la implantació d'aquestes mega estructures, fins a el contacte tradicional amb les grans companyies elèctriques del país. Veient així un nou model de societat energètica des d'un punt de vista més sostenible i eficient. Ens trobem doncs en un escenari, el qual alguns anomenen com la tercera revolució industrial. Com és el cas de l'economista Jeremy Rifkin, que recolza la teoria d'una revolució científica-tècnica o revolució de la intel·ligència. Veient

així la capacitat científica-tècnica de l'home a ser capaç de reajustar la seva conducta ràpidament en consonància amb les necessitats de canvi.

### **Dimensionament del sistema FV i Desenvolupament les principals característiques tècniques i econòmiques.**

Primer de tot, hem de saber que, el fet de realitzar aquesta integració fotovoltaica en aquesta edificació no sortiria a compte avui en dia. Aquest fet és degut, en gran mesura, per la normativa vigent que regula aquest tipus d'instal·lacions amb règim especial. Ja que, segons aquesta normativa, en concret la Llei 24/2013. Ens marca les diferents "càrregues" o "peatges" a pagar per part de l'usuari per tenir aquesta instal·lació integrada en l'edifici (obtenció de la instal·lació, el manteniment, el consum excedent de la mateixa,..) dificultant així poder amortitzar la vida útil de la instal·lació o el fet d'obtenir algun benefici de la mateixa per part de l'usuari, econòmicament parlant a curt o mig termini.

A més a més, la mateixa Llei regula la tipologia d'instal·lacions que podem tenir en el nostre edifici. Aquesta regulació dificulta el poder implementar a aquesta instal·lació bateries. Les quals facilitarien el propòsit d'acumular energia en l'edifici i poder-la destinar a hores en les quals la captació és de major dificultat. La Llei engloba únicament dos tipologies: les instal·lacions injectades a la xarxa per a nuclis urbans (sense bateries) i les instal·lacions amb bateries per a zones remotes, a les quals, no hi ha tanta facilitat de que arribi l'energia convencional.

Tenint en compte això, hem de tenir present el per que vam triar aquest edifici. Concretament va ser per tres motius:

Un primer, que podem observar en els objectius d'aquest Treball final de Grau (TfG), que consisteix en reduir la dependència energètica envers l'energia tradicional en l'edifici. En concret, per aquest Treball final de Grau, hem volgut reduir la dependència en l'energia emprada alhora instal·lar un sistema de ventilació i clima mecanitzat en l'edifici (sistema mixta independent amb recuperació de calor). Ens basem doncs en dades de consum per al disseny a que respon aquest sistema en concret. Hem comprovat que gràcies als mòduls fotovoltaics tenim una producció d'energia injectada de quasi uns 30kWh i la nostra instal·lació mecanitzada de ventilació i clima té un consum d'uns 112,36 kWh en frigories i uns 125,23kWh en calories a ple rendiment. D'aquestes dades ens podem extreure que obtenim unes reduccions del 27% i el 24% en el consum elèctric d'aquestes instal·lacions de clima-ventilació a ple rendiment. Per tant, hem aconseguit una reducció d'¼ de l'energia que necessitem per condicionar aquest edifici en aquest aspecte.

Aquesta reducció és pot veure incrementada, si tenim en compte lo que hem esmentat anteriorment, i és que, si canviem el material que ens transmet l'energia elèctrica (Silici per Grafeno), aconseguim

reduir la superfície de mòdul per kW, augmentant el rendiment del mateix mòdul fotovoltaic. Per tant, el rendiment de tota la instal·lació fotovoltaica integrada en l'edifici. Aconseguint així més energia injectada en el mateix edifici pel seu ús i benefici. Aquest fet, no deixa de ser, com hem dit anteriorment, una aptitud, alhora d'afrontar aquest "problema" observat en la integració d'aquesta instal·lació FV en l'edifici en aquest cas d'aplicació estudiat per aquest Treball final de Grau.

Un segon motiu era que aquest edifici constava d'una coberta de fibrociment. La qual, té una retirada obligada per normativa. Aprofitant aquest motiu, hem retirat la mateixa i integrat a aquesta zona de l'edifici una coberta fotovoltaica. Aquesta coberta, consta d'uns 61 mòduls fotovoltaics exactament, els quals proporcionen uns 13,09 kWh en 177,97 m<sup>2</sup> de superfície fotovoltaica. Si considerem que en la mateixa superfície fotovoltaica situada a façana, amb mateixa orientació però diferent inclinació, obtenim uns 10,57 kWh. Per tant, hem pogut observar, que aprofitant el fet de que hem de treure aquesta coberta i la seva ubicació en l'edifici obtenim obtindríem un augment de producció energètica al voltant del 23%. Això ens indica la idoneïtat d'ubicar aquets mòduls fotovoltaics a la planta coberta envers l'energia injectada en el nostre edifici.

Un tercer motiu ha estat el Plantejament Urbanístic de la ciutat de Badalona. Observat mitjançant el *Geoportal de l'Ajuntament de Badalona* amb el seu programa VISSIR 3 (Nexus Geogràfics), proporcionat per la pàgina web del mateix Ajuntament. Aquest plantejament hem observat que afecta, concretament, a un terç de l'edificació existent. La qual s'ha hagut d'enderrocat, mitjançant un procés òptim, per tal de no afectar a tercers, fer una correcta deconstrucció-construcció de les obres i deixar les obres en correctes condicions respecte al Plantejament Urbanístic esmentat anteriorment. Al igual que la nostre coberta, aquest fet ha estat un motiu per poder integrar a la façana sud d'aquest edifici, façana carrer Galileu. Un mur cortina amb vidre fotovoltaic, d'aquest hem pogut veure com van interaccionats, tant els mòduls fotovoltaics com les seves connexions. Les quals tenen les seves característiques tècniques esmentades, tals com, les caixes de connexions, les proteccions i la interacció amb la part de la instal·lació interior de l'edifici.

A més a més aquest tercer motiu, ens dona l'oportunitat de re configurar la forma interior i exterior d'aquest edifici, i per tant, donar-li un concepte d'edifici diferent. En el nostre cas, l'ús d'aquesta edificació és destinaria a un ús polivalent, per tal de satisfer les necessitats relacionades amb fer cursos o reunions dirigides i organitzades per l'Ajuntament de Badalona per l'ús exclusiu dels ciutadans. Aquesta integració FV a part d'injectar energia en el nostre edifici ens fa d'obertures directes al Sol. Sempre tenim en compte que tenim l'opció de poder tapar amb qualsevol sistema, en cas de molèstia. Però no hem d'oblidar que aquest motiu aporta llum natural i altres característiques tèrmica-acústiques als diferents espais de l'edifici afectats per aquestes entrades de llum. Pensades per un millorament de l'eficiència energètica del nostre edifici, per part de la seva pell. Per tant, observem un canvi en la composició de la seva caixa exterior i una referència a les

tendències constructives d'avui en dia envers la construcció tradicional que hi havia anteriorment. També doncs, aporta un altre caràcter estètic i arquitectònic a l'edifici, tenint en compte, la seva concordança amb l'ampliació de la Plaça de Can Peixau projectada al mateix Plantejament Urbanístic.

A part d'aquets tres motius, esmentats anteriorment, també hem pogut observar les diferents característiques econòmiques d'aquest tipus d'instal·lació integrada en l'edifici. Concretament preu total de l'actuació ha estat de 920.193,35 euros a PEM i el preu total d'integrar aquesta instal·lació FV en l'edifici ha estat de 455.984,43 euros, que representa un 49,55% del PEM, tenint en compte que contem tots els components de la mateixa i els preus obtinguts d'aquets fabricants.

D'aquets preus totals també hem observat quins són els preus més alts per unitat. En les partides exposades en el Pressupost un d'aquets ha estat el dels mòduls FV. Aquets mòduls en concret, provenen de la casa ONYX SOLAR S.L., són el model "Photovoltaic Glass Mono-Crystalline" amb referència 088AB-19311511-20-T i tenen un cost total estimat de 196.650,86 euros total per partida, per tant, un cost per unitat de mòdul FV de 441,03 euros, representant el 43% del cost de la integració FV.

Aquetes dades en concret ens fa pensar que encara continua no sent rentable per la vessant econòmica d'aquest tipus d'instal·lacions. Per aquest és un motiu també ens fa pensar en quins són els preus dels diferents elements i/o materials que incorpora aquesta instal·lació FV. Hem observat en el preu d'aquest mòduls fotovoltaics és, encara, excessivament alt a cost unitari del producte. Com sabem prové d'una tecnologia amb silici monocristal·lí. Una tecnologia, com hem dit anteriorment en aquest Treball final de Grau molt usual avui en dia. Per tant, aquest fet ens dona un altre motiu, per potenciar el canvi d'aquesta tecnologia i aportar a aquest element una altre tecnologia que requereixi un menor cost, en tots els seus aspectes. A la vegada, també hem de tenir en compte que ens injecti una major quantitat d'energia als nostres edificis per poder augmentar les reduccions dels consums com hem vist anteriorment.

Una opció per suplir aquesta tecnologia del silici, com hem esmentat anteriorment, és el grafeno. Aquest material en concret prové del grafit, que és el mateix material que tenim als nostres llapisos, per tant, un material comú i de baix cost.

Com a cas més proper, en tenim l'estudi de barrejar grafeno i perovskita. Aquest estudi ha estat realitzat al gener del 2014 per el Grup de Dispositius Fotovoltaics i Optoelectrònics (DFO) de la Universitat Jaume I de Castelló (València). Dirigit pel catedràtic de Física Aplicada Juan Bisquert, conjuntament amb investigadors de l'Universitat d'Oxford. Aquets han creat i caracteritzat un dispositiu fotovoltaic basat en una combinació d'oxid de titani i grafeno com col·lector de càrrega i perovskita com a material absorbent de llum solar. En concret aquest material format en un entramat



de panell d'abella s'ha demostrat que té un augment del 15,6% en la seva eficiència respecte al silici convencional emprat fins ara en els mòduls fotovoltaics (segons un article de l'UJI-Universitat Jaume I). A més a més, aquest material té un cost energètic de fabricació reduït. Aquesta reducció es dona gràcies a la seva baixa temperatura de manipulació en el procés de fabricació (150°) i ressaltem aquest grau d'eficiència obtingut, no només per la seva reducció, sinó per que ho fa interessant des del punt de vista de fabricació i comercialització a gran escala per part de la indústria. Ja que suposa uns baixos costos de producció i fins i tot, és possible la seva manipulació per destinar-ho en dispositius flexibles basats en plàstics. Factor que alimenta més encara aquest fet, ja que, dona l'oportunitat d'obrir nous mercats no explotats fins ara.

### **Fomentar l'ús de l'energia solar fotovoltaica a la ciutat de Badalona.**

Com hem dit anteriorment, aquest projecte aporta alguna solució al procés exponencialment progressiu del problema del canvi climàtic. Ja que, emprant les energies renovables i en concret, l'energia solar fotovoltaica. Podem donar diferents respostes a les característiques energètiques dels nostres edificis i a gran escala, a les nostres ciutats.

Tal i com hem vist en aquest Treball final de Grau i anteriorment a aquestes conclusions. Hi ha models diferents per encarar les societats energètiques d'avui en dia. Tradicionalment, depenem de mega estructures energètiques per que aquestes ens abasteixin de l'energia suficient per la nostra ciutat de Badalona. També hem de tenir en compte el fet de que la demanda energètica és progressiva per part dels ciutadans i cada any va a més. Per tant, necessitarem abastir més energia en l'espai que tenim i una solució saludable per la sostenibilitat d'aquesta aportació energètica per la ciutat és l'energia estudiada en aquest Treball final de Grau.

Finalment, també hem de tenir en compte que la mateixa forma d'abastir amb energia solar fotovoltaica hem d'abastir i si menys no reduir la demanda energètica de la ciutat. Aportaria doncs aquestes reduccions a la mateixes demandes si ho veiéssim des d'un punt de vista més sostenible en el que poguéssim fomentar la aptitud de crear una micro-xarxa a tota la ciutat emprant aquest sistemes fotovoltaics connectats entre si. Estaríem doncs d'avant d'un escenari totalment diferent. Un escenari en el que podríem gaudir dels nostres edificis des d'un punt de vista en el que els veiéssim com a generadors d'energia i no pas com a consumidors de la mateixa. Per que aquest fet fos possible, també cal tenir en compte que caldria aplicar polítiques energètiques i fiscals sobre el concepte de l'autoconsum energètic diferents a les que tenim avui en dia. Com fan a altres països del món, demostrat anteriorment en aquest Treball final de Grau. Podríem doncs regular aquesta situació des d'un punt de vista polític i sostenible per la comunitat de la ciutat de Badalona. Aquesta hipòtesi utòpica no deixa de ser una de les possibilitats que ens oferta l'energia solar fotovoltaica si l'apliquem de forma idònia en els nostres edificis.