



# EL LLARG CAMÍ DE LA CAPTURA SOLAR

COM UTILITZAR DIRECTAMENT L'ENERGIA DELS FOTONS DEL SOL?

Joan Ramon Morante

L'energia solar interceptada per la Terra és enorme i pot ser transformada en energia tèrmica, química o elèctrica amb diversos mecanismes. Amb vistes d'aconseguir la capacitat de transformar l'energia suficient per assolir una societat sostenible, aquest article analitza les diferents tecnologies solars existents, els seus costos i les seues expectatives.

En la investigació al voltant de la salut i de l'energia es fonamenten els dos pilars principals de la recerca de la societat actual. Aquest paper destacat de l'energia és degut a la necessitat de disposar d'una energia abundant i barata, lliure de restriccions geopolítiques. Això esdevé imprescindible per al desenvolupament sostenible de la societat i, per tant, essencial per a un futur que aspiri a satisfer els requeriments d'aigua, treball, aliments, habitatge, confort, etc.

Per valorar el paper de l'energia és significatiu considerar que al nostre país, de mitjana, cal diàriament, per habitant, l'equivalent energètic d'uns 13,5 litres de petroli. Probablement aquesta quantitat no diu res en si mateixa. Però si admetem que tothom té dret a mantenir un mateix nivell de vida, la generalització d'aquesta demanda equivaldria a triplicar el consum actual a tot el planeta, en especial si considerem l'increment previsible de població en els propers anys. Actualment, hi ha un consum de 37,5 litres equivalents de petroli per habitant i dia als EUA, davant de menys d'un litre en alguns països africans.

Molt s'ha escrit sobre la capacitat de les reserves reals i factibles dels combustibles fòssils (petroli, carbó, gas) i sobre si la humanitat havia ja sobrepassat l'anomenat *peak oil* (demanda per sobre de la capacitat d'extracció i processament). En realitat, aquest no és el problema. La previsible demanda d'energia mundial requereix pràcticament quadruplicar la capacitat

de producció d'energia. Això significa pràcticament quadruplicar la potència instal·lada fins sobrepassar els 50 terawatts. Aquestes quantitats estan molt lluny de totes les capacitats energètiques que ens poden oferir els combustibles fòssils, a part de l'inherent problema associat a les emissions de CO<sub>2</sub> o de CH<sub>4</sub> a l'atmosfera amb el corresponent fort impacte sobre el clima. Posant en servei una central d'energia de 100 megawatts cada dia durant quaranta anys no aconseguiríem acostar-nos a l'objectiu buscat i no hi hauria garantits fòssils ni tampoc fonts nuclears de fissió per a totes aquestes centrals.

«ELS AVENÇOS  
EN MATERIALS  
NANOESTRUCTURATS I  
EN CATÀLISI HAN PERMÈS  
ENGEGAR IMPORTANTS  
ACCIONS EN RECERCA  
PER TRANSFORMAR  
L'ENERGIA SOLAR EN  
ENERGIA QUÍMICA, JA SIGUI  
HIDROGEN O METÀ»

## ■ L'ENERGIA SOLAR, EN XIFRES

Arribats a aquest punt, l'única font disponible garantida és el Sol. L'energia solar interceptada per la Terra ve a ser d'1 kilowatt per metre quadrat ( $5,4 \times 10^{24}$  J o  $174 \times 10^{15}$  W en total i durant un any). És bastant superior a tres ordres de magnitud la consumida

actualment pels humans. Tenint en compte una superfície terrestre de 500 milions de km<sup>2</sup>, dels quals el 71% és aigua, amb una energia mitjana d'uns 1.000 W/m<sup>2</sup> ens dona una font més que suficient, independent, inesgotable i vàlida per tothom.

D'aquesta energia solar interceptada anualment per la Terra, el 70% (3.850.000 exajoules equivalents a 122 bilions de kWh) és absorbit per l'atmosfera, els mars i els continents. Aquesta energia ens arriba amb fotons de diferent energia que presenten una distribució des

A l'esquerra, Sebastián Nicolau. *Forn del cel*, 2012. Intervenció digital sobre *Workin' 6* (Escala corbades). Alumini, 35,5 x 73 x 18,5 cm (fragment).

dels ultraviolats als infrarojos. Una és absorbida i produeix gradients tèrmics responsables dels fenòmens meteorològics, entre els quals el vent. S'estima que tan sols un 0,07% de l'energia solar absorbida pel planeta acaba en potencial energia eòlica utilitzable pels humans. Però, encara així, amb una eficiència de captura i transformació d'un 20% seria més que suficient per satisfer les necessitats elèctriques mundials.

Una altra part de l'energia solar (un 0,1% aproximadament) és absorbida pels mecanismes de fotosíntesi que fixen el CO<sub>2</sub> per produir matèria orgànica. Cal dir que les eficiències de conversió fotosintetitzadora són molt baixes. Així, la representativa planta de l'oli de palma, que té una productivitat de 4.000 quilos per hectàrea i any, presenta un índex ECE (eficiència de conversió energètica) de només el 0,18%, mentre que les microalgues, amb una productivitat de 91.000 quilos per hectàrea i any, tenen un ECE del 4,5% (proporcionen 956.000 kWh per hectàrea i any). Tot plegat queda molt lluny dels sistemes de conversió fotovoltaica, amb un ECE mitjà del 14,5% (cèl·lules de silici) i amb produccions energètiques per hectàrea i any de 3 milions de kWh. Amb aquests valors, bastarien 450.000 km<sup>2</sup> per produir tota l'energia primària consumida actualment per la humanitat. Aquesta superfície és tan sols una vintena part de l'extensió del desert del Sàhara.

L'energia no aprofitada és radiada de nou cap a l'espai per l'atmosfera o pel mateix sòl, en valors que representen un 68% de la rebuda, uns 3,7 milions d'exajoules (EJ). Això representa moltíssim més, milers de vegades, que l'energia primària que es necessita avui dia, i confirma que l'energia hi és i que únicament falta captar-la i transformar-la per fer-ne un ús sostenible.

Arribats a aquest punt s'originen moltes qüestions de les quals subratllem tres com a fonamentals per explicar i entendre la situació de l'energia solar i del llarg camí que li falta per erigir-se com una de les energies renovables realment alternativa. En primer lloc, qüestions relatives a les tecnologies solars: com es pot captar i aprofitar directament l'energia rebuda del Sol per mitjà dels seus fotons? En segon lloc, els costos: quins són els costos associats, quines inversions calen, a quin cost surt el kWh elèctric produït, és competitiu? I, per últim, la viabilitat: hi ha prou matèries primeres per fabricar i instal·lar les plantes solars requerides?

## ■ LES TECNOLOGIES SOLARS

L'absorció de fotons solars i la conversió de la seva energia pot seguir diferents mecanismes que donen lloc a la conversió de l'energia solar en energia tèrmica (eficiència de conversió d'energia de radiació solar a electricitat<sup>1</sup> del 16%), en energia química directa<sup>2</sup> (encara en fase de desenvolupament amb eficiències molt prometedores pels mecanismes de fotocatalisi) i, la més coneguda, en energia elèctrica per efecte fotovoltaic.<sup>3</sup> Encara que aquest mecanisme era ja conegut, es va començar a utilitzar l'any 1954 al Bell Labs, a partir del desenvolupament de la tecnologia de semiconductors basats en el silici. El 1958 en el satèl·lit *Vanguard I* ja es van utilitzar cel·les solars fotovoltaïques basades en silici, amb eficiència de prop d'un 6% només. Des d'aleshores, amb un important punt d'inflexió en els

anys setanta a causa de la primera crisi dels combustibles fòssils, l'evolució ha estat constant i progressiva en els camps de la recerca i el desenvolupament, encara que la implantació comercial és encara lluny d'assolir entitat econòmica.

Utilitzant només un material semiconductor, la màxima eficiència teòrica possible és tan sols del 31% a escala de cel·la, ja que molts fotons de l'espectre solar no acaben essent útils per produir electricitat perquè no s'adapten a la banda prohibida del semiconductor. Cal combinar diversos semiconductors per

definir una configuració tàndem de diverses unions ( $n=2, 3, 4...$ ) per incrementar l'eficiència al 42,5% i arribar a un màxim del 68%. Aquests increments es poden veure afavorits aplicant concentracions solars, respectivament, al 41% per a un sol material fins a un límit teòric màxim del 86,8%. Alternativament, hi ha també mecanismes diferents al fotovoltaic simple que busquen efectes complementaris com ara la *up conversion*, bandes d'impureses o nous mecanismes com

**«SI BÉ AVUI DIA  
NO ÉS ASSUMIBLE  
FINANCERAMENT I CAL  
FER UN GRAN ESFORÇ  
PER FER COMPETITIVA  
L'ENERGIA SOLAR, EL CAMÍ  
ESTÀ MARCAT: ES PREVEU  
OBTENIR VALORS DE 0,04  
EUROS/KWH ALS PAÏSOS  
DEL MEDITERRANI SUD  
L'ANY 2030»**

<sup>1</sup> Més informació sobre aquesta tecnologia, en l'Associació Espanyola de la Indústria Termoelèctrica: <<http://www.protermosolar.com>>.

<sup>2</sup> El Joint Center for Artificial Photosynthesis <<http://solarfuelshub.org>>, del Departament d'Energia dels EUA, pretén ser un dels centres capdavanters en la recerca sobre l'elaboració de combustible a partir de l'energia solar.

<sup>3</sup> Més informació sobre l'energia fotovoltaica en la web de la Plataforma Europea de Tecnologia Fotovoltaica: <<http://www.euipvplatform.org>>.



El Sol és un gran reactor nuclear de fusió que exporta energia a l'espai, com qualsevol altra estrella. La biosfera terrestre funciona amb l'infima part d'aquesta energia que intercepta el planeta. Els humans en recuperem una part a partir de les plantes i les cadenes tròfiques que se'n deriven, amb expressa inclusió dels combustibles fòssils, que són matèria orgànica estalviada en èpoques geològiques pretèrites. Darrerament, hem après a capturar-la directament mitjançant captadors fotovoltaics, eòlics, etc. I també hem après a obtenir energia dels processos radioactius. Una complexa història d'astúcies carregada de clarobscur.

els efectes termoiónics, que presenten també altes eficiències directes, d'un 54%.<sup>4</sup>

Fins ara, la denominada primera generació solar, en mòdul, té un nivell d'eficiència de més del 20%, mentre que la denominada segona generació, que inclou bàsicament la capa prima basada en tecnologies de silici amorf, tel·lurur de cadmi (CdTe) i CIS (coure-indi-seleni), té el rècord d'eficiència en mòduls en prop del 15%, si bé el rècord en cel·la CIS se situa lleugerament per sota del 20%. Valors prou interessants i competitius comparats amb altres tecnologies que, a més a més, en capa prima permeten assolir mòduls amb menys de 4 kg/m<sup>2</sup>, un pes que facilita integrar-los en els edificis.

Per la seva part, els sistemes de concentració solar anuncien un prometedor 30% d'eficiència i, en tots els casos, la vida mitjana està garantida per sobre dels vint anys, encara que l'objectiu és allargar-la a més de trenta-cinc. No obstant això, malgrat aquestes propietats tan excel·lents, aquests valors no satisfan encara totes les demandes, si bé compleixen amb les necessitats elèctriques d'un habitatge per a tres persones. Aquestes s'estimen en una mitjana d'uns 10 kWh diaris, que ens portaria a un consum d'uns 3.600 kWh anuals, que, amb una instal·lació d'uns 15 m<sup>2</sup> amb eficiències 12-15% es podria cobrir, però a un cost elevat.

Per superar aquest escull, es fan grans esforços destinats a desenvolupar tecnologies alternatives de molt baix cost, com són les cel·les solars orgàniques o les cel·les Graetzel<sup>5</sup>, però que tenen baixes eficiències per a aplicacions intensives (<10%) i, per un altre costat, es busquen sistemes d'alta eficiència com a estratègia davant dels costos.

<sup>4</sup> Sobre aquest punt, llegiu l'article publicat en *Laser Focus World*, el 16 de juny de 2010, «Could Solar Cells Reach 65% Efficiency with Nanowires?». Disponible en:

<<http://www.laserfocusworld.com/articles/2010/06/could-solar-cells.html>>.

<sup>5</sup> Vegeu més informació en: <<http://isic.epfl.ch/>>.



© Anna Mátetu



© Ramon Felch

La fotosíntesi és la porta d'entrada de l'energia solar en el sistema biosfèric. El seu rendiment és molt discret. La generació elèctrica fotovoltaica és la rèplica tecnològica a la captura directa de l'energia dels raigs lluminosos.

En aquest àmbit, combinant multiunions amb concentració s'han establert rècords prometedors que superen el 40% en cel·les, i han estat introduïts els materials nanoestructurats (nanofil·ls, pous quàntics...), amb característiques molt prometedores. Els avenços en aquests materials i en catàlisi han permès també en els darrers anys engegar importants accions en recerca de la transformació directa de l'energia solar en energia química, ja sigui en la producció d'hidrogen (eficiències prometedores en el rang per sota del 10%) o en la producció de metà a partir de sol, aigua i CO<sub>2</sub> com a fotosíntesi artificial.

### ■ ELS COSTOS I LES EXPECTATIVES

Malgrat les evidents solucions i avantatges científics i tecnològics dels sistemes d'energia solar, la nostra societat en general, així com l'estructura econòmica del sector liderada per les grans indústries energètiques mundials, es vertebrava en un sistema de lliure mercat on el preu de l'energia esdevé fonamental perquè es pugui implantar. Les grans inversions en noves prospeccions per obtenir més recursos, per transportar-los (oleoductes o gasoductes), per processar-los (refineries) i distribuir-los o per construir noves plantes de producció d'electricitat (tèrmiques, cogeneració, nuclears...) exigeix molt de capital invertit i captiu que precisa d'una rendibilització adequada. En conseqüència, l'anomenat internacionalment LCOE (Levelized Cost of the Energy), o cost de l'energia elèctrica posada a la xarxa elèctrica independent de les fonts de generació, és una peça clau d'aquest lliure mercat. És clar que es parla de costos financers i no pas de valors intangibles com el fet de tractar-se d'una energia renovable, respectuosa amb el medi ambient, o de valors socials afegits, com les repercussions per emissions de CO<sub>2</sub> o pel tractament dels residus radioactius.

Un estudi detallat dels costos del kWh (EPIA, 2011) ens dona avui dia diferències significatives: 0,04 €/kWh pels sistemes de cogeneració, 0,074 €/kWh per l'energia eòlica i 0,19 €/kWh per l'energia fotovoltaica en grans plantes solars. Aquestes dades mostren, en certa manera, per què no és avui dia assumible finançar l'energia fotovoltaica i per què cal fer encara un gran esforç per fer competitiva l'energia solar. Tanmateix, el camí està marcat. Segons l'Associació Europea de la Indústria Fotovoltaica (EPIA en



© Alain Herzog / EPFL

Les noves tecnologies fotovoltaïques, més barates que les convencionals de silici, podrien capgirar el panorama del sector. Un exemple són les cel·les solars desenvolupades pel físic Michael Graetzel (en la imatge), conegudes com cel·les Graetzel.

les seues segles en anglès), s'espera obtenir valors de 0,04 €/kWh als països del cinturó solar (Mediterrani sud) devers 2030.

Una altra manera de valorar els costos és a partir de les inversions necessàries per muntar una planta solar. L'any 2010 s'estimava que la inversió per kW de potència instal·lada era d'uns 2.800 euros. Els estudis financers fets tant a Europa com als EUA exigeixen que els costos d'instal·lació disminueixin progressivament per sota dels 1.000 euros a partir de 2030, incloent-hi tant el mòdul, com el BOS (*body of system*) i l'inversor; també caldria allargar la vida mitjana del mòdul més enllà dels 25 anys en lloc dels 15 actuals. Amb aquesta estratègia s'assegura poder abordar costos del kWh per sota dels 10 cèntims d'euro, tot esperant significatius avenços en recerca que permetin augmentar les eficiències per mantenir opcions de preus LCOE acceptables.

**«NO OBSTANT LES  
LIMITACIONS, TENINT CURA  
AMB EL RECICLATGE I AMB LA  
CAPACITAT DE PRODUCCIÓ  
MUNDIAL ACUMULATIVA,  
SERIA FACTIBLE COBRIR  
INSTAL·LACIONS CAPACES  
DE PRODUIR ENERGIA SOLAR  
PER SOBRE DELS 7 TW»**

© Asociación Española de la Industria Termoelectrónica



És freqüent preguntar-se quina de les tecnologies existents és la que té més futur, i si cal apostar per alguna en detriment de les altres. Òbviament, no totes presenten les millors previsions per assolir la requerida disminució de costos. Per exemple, avui dia les tecnologies de capa prima (CdTe, CIS...) estan ja més ben posicionades a prop de les fites de costos. No obstant això, hi ha encara altres criteris per avaluar-les, els quals fan referència a la disponibilitat de matèries primeres. Així, si es vol instal·lar un camp solar d'un gigawatt amb CdTe, caldrien aproximadament uns 100 km<sup>2</sup>. Tenint present que per m<sup>2</sup> de capa prima, de 2 mm de gruix, calen 6,3 g de tel·lur, serien necessaris 630 tones d'aquest element, però, segons dades del 2002, tan sols hi havia una producció de 1.300 tones, circumstància que faria impossible una producció superior a dos gigawatts. Encara que es fes un esforç de producció, hi ha límits físics i econòmics que fan no previsible més de 5.000 tones. De la mateixa manera, altres elements típics de la indústria fotovoltaica es veuen afectats: el germani (concentradors fotovoltaics, aliatges de silici i germani, cel·les aSi:mSi de silici amorf i multicristal·lí), el gal·li i el seleni (CIGS:

**«BASTARIA UNA  
SUPERFÍCIE DE RECEPTORS  
FOTOVOLTAICS EQUIVALENT  
A UNA VINTENA PART DEL  
DESERT DEL SÀHARA PER  
PRODUIR TOTA L'ENERGIA  
PRIMÀRIA CONSUMIDA  
ACTUALMENT PER LA  
HUMANITAT»**

material semiconductor fet de coure, indi, gal·li i seleni), el ruteni (integrant de les *dye-sensitized solar cell* o cel·les solars de baix cost) o la plata. Això limita la capacitat de producció i obliga a fer una utilització global de totes les fonts<sup>6</sup> per assolir la instal·lació, en anys successius, de la capacitat necessària. No obstant aquestes limitacions, tenint cura amb el reciclatge i amb la capacitat de producció mundial acumulativa, seria factible cobrir instal·lacions capaces de produir energia solar per sobre dels set terawatts.

L'energia solar interceptada per la Terra, en definitiva, és enorme. Podem transformar-la en energia tèrmica, química o elèctrica. Encara que hi ha diversos mecanismes, la forma més desenvolupada és la basada en l'efecte fotovoltaic, un camp que, en aquests darrers cinquanta anys, ha desenvolupat diverses generacions de cel·les i mòduls amb diferents nivells d'eficiència i costos. La primera generació es basa en semiconductors mono i policristal·lins; la

segona està lligada al desenvolupament en capa prima i les noves generacions introdueixen noves estratègies<sup>7</sup> per obtenir alta eficiència o baix cost.

En tots els casos, l'energia solar té el repte de disminuir costos a menys de 1€/W<sub>pic</sub> o de pocs cèntims d'euro (<4) per kWh per tal de presentar un cost LCOE competitiu. Finalment, cal esmentar que l'abundància i disponibilitat d'alguns dels elements implicats és crítica i condiona l'existència simultània de diverses tecnologies per assolir la capacitat de conversió d'energia suficient per a una societat sostenible. ☺

#### BIBLIOGRAFIA

- EPIA, 2011. *Solar Photovoltaics. Competing in the Energy Sector*. European Photovoltaic Industry Association. Brussel·les. Disponible en: <<http://www.epia.org>>.
- LEWIS, N. S. i G. CRABTREE (eds.), 2005. *Basic Research Needs for Solar Energy Utilization. Report on the Basic Energy Sciences Workshop on Solar Energy Utilization*. Office Basic Energy Sciences. US Department of Energy. Washington DC. Disponible en: <<http://science.energy.gov/bes/news-and-resources/reports/abstracts/#SEU>>.

**Joan Ramon Morante.** Cap de l'Àrea de Materials Avançats per a l'Energia. Institut de Recerca en Energia de Catalunya (IREC).



Les centrals termosolars capturen energia tèrmica, no lluminosa, mitjançant miralls parabòlics que escalfen un fluid contingut en un tub o mitjançant miralls plans que escalfen un únic element central situat en una torre. Aquest fluid calent acaba movent una turbina i generant electricitat. Darrerament, aquestes centrals termosolars de concentració han incorporat un sistema que pot fondre sals (500 °C i més) capaces d'alliberar l'escalfor desacobrada de les hores d'insolació, és a dir que poden generar electricitat dia i nit. En la imatge, planta termosolar PS10 a Sanlúcar la Mayor (Sevilla).

<sup>6</sup> En aquest sentit, l'IREC duu a terme el projecte KEST-PV per a desenvolupar cel·les solars eficients de kesterita per a tecnologies fotovoltaïques sostenibles de baix cost. Podeu trobar més informació en la web de l'institut: <<http://www.irec.cat>>.

<sup>7</sup> Un exemple és el projecte SCALENANO, amb el qual l'IREC desenvolupa i amplia materials i processos nanoestructurats per a sistemes fotovoltaïcs basats en calcogenurs d'alta eficiència i baix cost. Més informació: <<http://www.irec.cat>>.