

L'ESDEVENIDOR DE LA CAPTACIÓ DE L'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

per Antoni Lloret i Orriols

32 (168/octubre 1980

ciència 3)

Molts mitjans de comunicació, (ciència) entre ells, parlen de l'energia solar, una de les possibles sortides als problemes energètics que hem d'afrontar. L'article que ha fet Antoni Lloret ens dóna una visió de les darreres novetats i els camins oberts en la recerca científica i tecnològica d'un dels camps de l'energia solar, el de la conversió fotovoltaica de la llum en electricitat. Aquest camp es troba encara en procés de recerca sobretot pel que fa a la seva explotació comercial. Lloret ens explica els processos de recerca que estan en curs i les previsions que hom fa, arreu del món, sobre el paper que la conversió fotovoltaica ha de tenir en el futur.

Antoni Lloret i Orriols (Barcelona, 1935) es llicencià en física a Barcelona (1959) i obtingué el doctorat el 1963. L'any següent obtingué el títol de doctor en ciències per la Universitat de París. L'any 1960 havia ingressat al Centre National de la Recherche Scientifique. Del 1967 al 1970 treballà a la Junta de Energia Nuclear de Madrid. Després a França treballà a Estrasburg i París, on continua actualment. Fins al 1977, el seu camp de recerca fou la física nuclear de les altes energies. Des d'aleshores s'ha dedicat a la recerca de nous materials apropiats per a la captació de l'energia solar. A part les publicacions professionals, és autor amb Paul Musset, del *Dictionnaire de l'Atome* (Larousse) i redactor del *Pequeno Larousse de Ciències y Técnicas*, de Tomás de Galiana. Ha publicat *Física Pop: una expedició al microcosmos*, Barcelona, Edicions 62, 1977 i el *Diccionari de la Ciència i la Tecnologia Nuclears*, Barcelona, Edicions 62, 1979. Té encara inèdit un llibre de divulgació titulat *Per què les coses són com són*.



Amb tota evidència, la contribució més important de l'energia solar en els anys vinents serà l'obtinguda per conversió fotovoltaica. Aquest procediment prové de les propietats de certs semiconductors, en els quals l'energia dels fotons solars és comunicada a electrons que normalment tenen energies corresponents a la banda de valència i passen aleshores a la banda de conducció.

La constitució amb aquests materials d'un diode o cèl·lula fotovoltaica pot proporcionar una força electromotriu en un circuit exterior. Així doncs, ens trobem amb la possibilitat d'obtenir directament un corrent elèctric sotmetent una cèl·lula fotovoltaica a la llum. Els avantatges respecte a la producció elèctrica emprant els efectes tèrmics solars són evidents: absència de màquines intermediàries amb peces mòbils, funcionament a temperatures no gaire elevades i utilització de la radiació solar tant directa com indirecta. Fins i tot amb el cel ennuvolat es produeix electricitat.

Els diodes són, avui dia, una realitat corrent car formen part d'un gran nombre de components electrònics.

Els fotodiodes són elements força comuns en els aparells fotogràfics equipats amb fotòmetres.

Els preus d'aquests components no són excessius, atès que es tracta d'elements de dimensions molt petites, de l'ordre d'un mil·límetre. En canvi, la utilització d'aquests materials per a la conversió de l'energia

solar es troba amb un problema econòmic considerable, ja que l'energia solar que rebem al nivell de terra és d'1 kW/m² i per a obtenir les potències necessàries cal poder disposar de grans superfícies. La fabricació d'aquests tipus de semiconductors per a cobrir grans superfícies és un nou problema fruit del desig d'utilitzar l'energia solar. Per resoldre'l, la recerca s'orienta essencialment envers dues direccions: la producció massiva i perfeccionada de materials ja coneguts; i la investigació de nous materials. Naturalment, seran els factors econòmics (els costos del quilovat nominal instal·lat i de l'electricitat produïda) els que decidiran sobre el futur desenvolupament d'aquestes tècniques. D'altra banda, els factors econòmics dependran de l'esforç de la recerca. Examinarem en aquest article quines són les orientacions que segueixen els investigadors, i intentarem de comprendre'n alhora les possibles repercussions. No es tracta d'una anàlisi futurista, sinó de la definició de certs objectius realistes que la recerca pensa poder assolir en els anys vinents.

Les cèl·lules fotovoltaïques d'avui dia

Les cèl·lules fotovoltaïques —dites també fotopiles— actualment comercialitzades són de silici monocristal·lí i la barrera de potencial és construïda per una junció p-n. Les seves característiques essencials són:

—potència cresta: 120-140 W/m².

(La potència cresta és la produïda quan una radiació solar d'1 kW/m² incideix *perpendicularment* en la superfície útil d'un captador, és a dir, en la superfície ocupada realment pels cristalls de silici.)

—rendiment: 12-18 %.

—preu (a França): 70-110 Fr./vat cresta.

—durada: superior a deu anys.

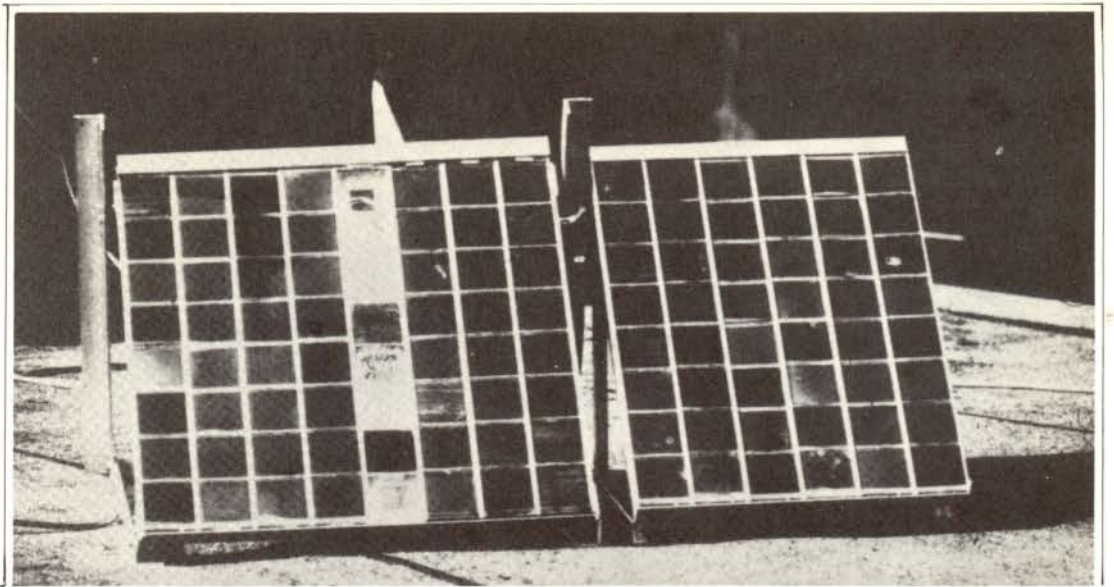
—producció mundial: 2 megavats (=10⁶ vats)/any aproximadament.

—producció francesa (RTC): 0,2 MW/any aproximadament. Aquestes piles tenen encara una utilització modesta i són emprades únicament on no arriba la xarxa elèctrica. Es tracta de generadors per a telecomunicacions, aparells de televisió, de bombatge, etc..

La indústria que treballa en aquest sentit és extraordinàriament dinàmica. Als Estats Units, la llei Mac Cormack (1978), gràcies a una inversió federal de cent cinquanta milions de dòlars per any durant deu anys, ha de permetre una producció de 2.000 MW cresta/any el 1988. La CEE prepara un programa RD (recerca i desenvolupament) del 1979 al 1983 d'uns deu milions de dòlars anuals. A França, la producció augmenta anualment més del doble. Igualment, a Alemanya i a Itàlia hi ha un programa nacional plurianual.

L'interès dels països tècnicament desenvolupats per aquesta qüestió és evident. Naturalment hi ha un mercat impressionant

Taulers de prova a l'Institut de Física
Electrònica (Stuttgart).
(Font: G.H. Hewig, W.H. Bloss:
Technology of Cu S - Cd S Solar Cells
al Primer Col·loqui Internacional
d'Energia Solar, Barcelona, IEC, 1980.)



per conquerir, però també hi ha un aspecte tant o més important com és el de posseir una infraestructura de científics i indústries susceptible de portar a terme tota aquesta innovació.

10-25 Fr./W cresta per al 1985. Altres estudis més optimistes creuen poder comercialitzar per al 1985 fotopiles completes a un preu de 5 Fr./W cresta.

Baixar els preus a tot preu

L'energia solar fotovoltaica jugarà un paper important a partir del moment en què la indústria pugui produir d'una manera econòmica grans superfícies de fotopiles.

Avui dia, la recerca treballa amb vista a quatre grans orientacions:

- 1.— Perfeccionament de la producció de les fotopiles de silici. (Producció en sèrie, recerca de noves tècniques.)
- 2.— Utilització de fotopiles d'alt rendiment (20-30%). L'alt preu elevat és compensat emprant concentradors solars.
- 3.— Utilització de fotopiles de baix rendiment (10%). Barates.
- 4.— Recerca de materials i procediments inèdits.

Examinarem cadascuna d'aquestes possibilitats.

Els taulers de silici

El cost dels taulers o plaques de fotopiles de silici es reparteix de la forma següent: quaranta per cent en l'elaboració del material; trenta per cent en la tecnologia de la fotopila; i trenta per cent en la fabricació del bastiment. El cost de la fabricació del xassís no pot ésser disminuït d'una manera considerable. En canvi, és possible una forta reducció en el cost del material i en el de la fotopila. En efecte, el material es fabrica per reducció de la sílice, purificació per cloruració i destil·lacions successives, i reducció dels clorurs amb hidrogen. Seguidament el silici pur policristal·lí obtingut es fon i es fa créixer un lingot d'un diàmetre de 50-100 mm. (mètode de Czochralski), el qual és serrat en llesques de 0,3-0,5 mm.

El material pot esdevenir més barat millorant el creixement (augmentant al màxim el diàmetre dels lingots) i la serrada (emprant serres fines que minimitzin les deixalles). Hom també espera simplificar la química del silici i sobretot la fabricació del material en forma de cintes, com en el procediment de Tyco o altres.

Pel que fa a la tecnologia de la fotopila, la recerca s'interessa pels dispositius de contactes que presentin una bona adherència i unes bones propietats d'ohmicitat. Així, per exemple, el procediment clàssic dels contactes formats per evaporació pot ésser millorat amb procediments de serigrafia. També és necessari el perfeccionament de la formació de les junccions i dels dopatges. Els programes de recerca francesos tenen un objectiu: taulers amb cèl·lules de silici monocristal·lí de 100 mm. de diàmetre, d'un cost de 40-60 Fr./W cresta per al 1981; i taulers amb cintes de silici monocristal·lí de 150 mm. de diàmetre, d'un cost de

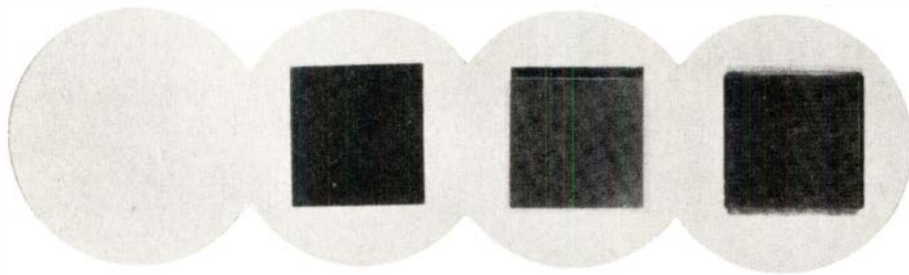
Les cèl·lules fotovoltaïques de segona generació

Es tracta de les fotopiles d'alt rendiment (de més d'un vint per cent). Alt rendiment és, avui dia, sinònim de preu elevat. Aleshores cal reduir la superfície útil mitjançant sistemes de concentració dels raigs solars. El material més conegut és l'arseniur de galli (Ga As) que té un rendiment d'un vint-i-dos per cent i un preu deu vegades superior al del silici monocristal·lí actual. L'empresa Vanrian, dels EUA, fa funcionar taulers de Ga As amb factors de concentració de l'ordre de 1.000.

Igualment, formen part de la segona generació les fotopiles de baix cost, tot i acceptar rendiments poc elevats (5-10%). Com a exemples citarem les fotopiles de sulfur de cadmi (Cd S) produïdes únicament en laboratoris pilots i que donen uns rendiments del 9% (Universitat de Delaware) i de l'11% (ITT). La tecnologia no es troba encara gaire perfeccionada i aquests tipus de fotopiles presenten problemes d'instabilitat.

També cal mencionar les fotopiles de tel·lur de cadmi (Cd Te). Informacions recents provinents del Solar Energy Research Institute (SERI) de Denver, Colorado, EUA, indiquen que amb aquest material s'ha realitzat un progrés tan considerable com inesperat. En efecte, es preveu la possibilitat de substituir fotopiles «raonablement» econòmiques i que sobrepasaran un rendiment d'un vint-i-cinc per cent.

Però el material que està suscitant avui dia un gran interès és el silici amorf hidrogenat. Fins a l'any 1976, els pòsits de silici amorf produïts per evaporació en el buit o per pulverització catòdica no oferien pràcticament cap interès; eren elèctricament inerts, la recombinació de les càrregues fotocreades era instantània, llur fotoconductivitat era pràcticament nul·la i, finalment, eren totalment insensibles al dopatge. El 1976, investigadors de la Universitat de Dundee (Escòcia) obtenen pòsits de silici a partir d'un plasma de silà amb propietats, totalment diferents, pròximes als semiconductors cristal·lins intrínsecs. Poc temps després, la firma americana RCA anuncia que han fet funcionar un fotodiode amb aquest nou material obtenint-ne un rendiment del cinc per cent. El món científic queda esbalaït, car un comportament així era considerat impossible. Ben aviat es comprèn que la presència de l'hidrogen del silà (Si H₄) hi juga un paper fonamental. En efecte, la pulverització catòdica amb presència d'hidrogen condueix a mostres de propietats similars. Malauradament, el rendiment és massa baix i no es comprenen gaire els mecanismes de la seva producció. Es tracta de problemes complicats de la química de plasmes. Tanmateix, aquesta complexitat ofereix moltes esperances. El silici amorf hidrogenat pot



Cèl·lules solars en diferents fases d'elaboració.
 (Font: G.H. Hewig, W.H. Bloss: Technology of Cu S - Cd S Solar Cells al Primer Col·loqui Internacional d'Energia Solar, Barcelona, IEC, 1980.)

ésser obtingut a partir de condicions inicials molt variades, de les quals fins ara s'ha estudiat una part minsa. Així, doncs, la recerca s'orienta vers l'exploració de totes les varietats possibles de silici amorf.

Malgrat això i el feble rendiment actual, empreses americanes com per exemple RCA i japoneses com per exemple FUJI acaben de preparar cèl·lules amb silici amorf de dimensions importants (de l'ordre de 70 cm²) i amb rendiments del 3,5 per cent. Els japonesos estan ja comercialitzant taulers amb aquestes cèl·lules així com altres aplicacions, com són les policopiadores de tipus Xerox o els aparells de vídeo.

L'interès essencial d'aquest material està en el seu cost, poc elevat, i en la possibilitat de fabricar en capes micromètriques cèl·lules de grans superfícies. Hi ha, doncs, una esperança que sigui un dels procediments del futur.

Recerca de sistemes originals

Els nous sistemes que s'investiguen tenen actualment una característica comuna: es tracta de materials en capes primes, com és el cas que acabem de comentar del silici amorf. Els procediments d'obtenció poden ésser molt variats, però un dels que semblen més prometedors és a partir dels plasmes. En aquest cas es produeixen procediments químics molt particulars en els quals no es combinen àtoms normalment constituïts, sinó àtoms ionitzats. L'arquitectura molecular pot arribar a ésser molt diferent i hom espera aleshores poder controlar les propietats físiques dels materials. Així, per exemple, potser sigui possible fabricar semiconductors amb diferents característiques («gaps» d'energia) que s'ajustin a les distintes parts de l'espectre solar, de manera que la seva superposició permeti llur absorció idònia. Les fotopiles així obtingudes poden aconseguir un rendiment teòric excel·lent, d'un cinquanta per cent. Hom les anomena fotopiles multicolors.

Els generadors fotovoltaics

Els taulers de fotopiles constitueixen l'element fonamental d'un generador elèctric fotovoltaic. Hi ha altres elements necessaris, com per exemple un sistema d'emmagatzematge amb bateries i convertidor per a obtenir corrent alternatiu.

El preu definitiu que interessa el públic és el preu de la «potència nominal» del generador, és a dir, de la potència que el generador pot proporcionar durant la fracció del dia en què hi ha llum suficient. El preu del quilovat nominal depèn, doncs, d'una taxa d'utilització que està lligada essencialment a la situació geogràfica. Recordeu que el funcionament de la fotopila es realitza també amb absència d'il·luminació directa.

El preu total dels generadors fotovoltaics complets, sense concentradors, és a França de l'ordre d'uns 320.000 Fr./kW nominal instal·lat. En aquest preu el noranta-tres per cent correspon

als taulers de fotopiles.

L'evolució dels preus depèn de molts factors, essencialment polítics; de l'actitud del capital, que malgrat les dificultats i els innegables perills, continua entestat en l'energia nuclear; i de la força dels sectors progressistes que consideren l'energia solar com un dels gèrmens fonamentals d'una «tercera civilització industrial autogestionària».

Sota la influència de la pressió pública, els nord-americans s'han fixat objectius formidables. Vegeu en la taula següent la superfície coberta per fotopiles als EUA, i les produccions elèctriques corresponents previstes per als pròxims anys.

1986	330 hectàrees	500 MW cresta
1990	6.600 hectàrees	10.000 MW cresta
2000	33.000 hectàrees	50.000 MW cresta

Per comparar, hom pot recordar que un reactor nuclear proporciona uns 1.000 MW. Una potència cresta de 50.000 MW correspon, aleshores, a 50 unitats nuclears!

Cal tenir tanmateix una actitud prudent pel que fa aquestes xifres. Els objectius americans pretenen assolir un preu de mig dòlar el vat-cresta. Ara per ara això sembla impossible, però probablement es trigarà més del previst.

Finalment és interessant d'assenyalar que una de les dificultats que sorgeixen en la industrialització de les cèl·lules fotovoltaïques és la disponibilitat de primera matèria. Així, per exemple, la producció actual de silici metal·lúrgic a nivell mundial ja té dificultats per a afrontar la demanda.

Conclusió

La conversió fotovoltaica de l'energia solar pot significar en un futur pròxim una contribució molt important amb vista a una producció elèctrica sense perills, sense contaminacions que afectin l'ecologia, descentralitzada i, per consegüent, sense línies d'alta tensió, amb sistemes fiables i de gran durada. El mercat del fotovoltaic està apareixent avui dia com un dels mercats mundials més importants que mai han existit.

La captació tèrmica de l'energia solar pot significar igualment una contribució important, no solament en el camp de la producció elèctrica, sinó també en el de la producció de calor industrial, agrícola i per a l'habitatge.

La utilització de la biomassa i de l'energia eòlica, altres formes de la utilització de l'energia solar, constitueixen valuosos recursos energètics gens explotats.

La tecnologia d'avui dia pot assolir aquests objectius. Només falta una voluntat política capaç de decidir una inversió en la recerca i el desenvolupament del mateix ordre, com a mínim, que la que s'ha dedicat fins ara a l'energia nuclear.

(Antoni Lloret i Orriols)