

## **Prospectiva energètica.**

### **Els contorns d'un nou model energètic i el procés de transició.**

- 4.1. L'era dels combustibles fòssils
  - 4.2. El món modern, addicte als combustibles fòssils
  - 4.3. L'energia nuclear: pot ser realment una alternativa?
  - 4.4. La no-renovabilitat de les fonts d'energia fòssil
  - 4.5. La dependència de les zones productores
  - 4.6. La centralització dels sistemes energètics
  - 4.7. L'energia distribuïda o descentralitzada
  - 4.8. La societat solar
  - 4.9. La situació de l'energia a Catalunya
    - 4.9.1. Característiques principals del sistema energètic vigent a Catalunya
    - 4.9.2. Magnituds i tendències de l'energia a Catalunya
    - 4.9.3. Comparació del sistema energètic català amb el de l'Estat espanyol, el de la Unió Europea i el mundial
    - 4.9.4. Les energies renovables a Catalunya
  - 4.10. Els sistemes energètics del segle XXI
- Bibliografia

## **Prospectiva energètica.**

### **Els contorns d'un nou model energètic i el procés de transició.**

**Josep Puig**

#### **4.1. L'era dels combustibles fòssils**

L'era dels combustibles fòssils representa, en el marc de la història geològica del nostre planeta, un mínuscul període de temps. Vegem-ho amb un simbolisme.

Suposem la Terra representada com si fos una persona jove, que ha arribat a la seva maduresa d'edat (els 1850 milions d'anys de vida del planeta Terra els hem fet equivalents a 21 anys). Molts esdeveniments interessants han ocorregut al llarg de la vida d'aquesta persona jove. Però ens interessen especialment uns esdeveniments peculiars que li van començar a succeir quan va complir 16 anys (l'equivalent a 1.600 milions d'anys): va començar a acumular una quantitat exagerada d'energia. Això correspon a la formació dels jaciments de carbó, petroli, esquistos bituminosos, gas natural i altres formes de combustibles fòssils. Aquest període d'acumulació va tardar uns cinc anys en la seva vida (l'equivalent a 500 milions d'anys). En el darrer any de la seva vida (100 milions d'anys) va tenir lloc una misteriosa transformació que el va fer evolucionar fins al que és avui: una persona. Quan va fer 21 anys, els dos esdeveniments ja s'havien completat. Aleshores va ocórrer alguna cosa que va fer que comencés a cremar l'excés d'energia acumulada durant els cinc anys precedents. Això correspon a les etapes inicials de l'ús de les màquines en què es van començar a cremar combustibles fòssils. La desaparició completa d'aquells grans dipòsits d'energia acumulada requereix solament cinc minuts en la vida de la persona (950 anys en la vida de la Terra) en qüestió, i ara ja estem molt més enllà de la meitat d'aquest període.

Amb tots els canvis ocorreguts a la Terra al llarg dels darrers 10.000 segles, una cosa ha restat immutable: el fet de la dependència de la raça humana vers el Sol. L'única diferència entre aleshores i ara és que hem esdevingut encara més dependents del Sol, ja que avui depenem d'unes fonts d'energia, la major part de les quals té indirectament un origen solar. Però aquesta energia solar acumulada, fa desenes de milions d'anys en forma de combustibles fòssils, és estrictament limitada i la seva durada depèn exclusivament de la velocitat en què la nostra societat la utilitzi. Al ritme actual de consum, en pocs decennis esgotarem el petroli i el gas natural, tot destarotant el clima del nostre planeta. I després, què?

Per a l'evolució de qualsevol societat és de gran importància l'elecció que es faci de la base dels recursos (matèries i energia), ja que a través seu es controla l'ascens i la caiguda de les civilitzacions, la llibertat o l'esclavitud de les nacions, els moviments del comerç i la indústria, l'origen de la riquesa i la pobresa, el benestar de la humanitat, etc. Els qui tenen la propietat dels sistemes energètics tenen el poder de prendre decisions i fer compromisos que afecten les inversions, els llocs de treball, les compres d'equips, el planejament territorial. Per tant, tenen un impacte d'abast ampli sobre l'economia i la societat.

L'energia que la nostra societat fa servir per produir, distribuir i consumir béns i serveis és d'origen fòssil (carbó, petroli i gas natural). La base més important del procés industrial és les matèries primeres fòssils (minerals, metalls...). Així, l'economia mundial moderna que s'anomena il·limitadament oberta (mercat obert, societat oberta), opera en el marc d'un sistema limitat o tancat. La Terra és un sistema obert pel que fa a la radiació solar, la força de la gravetat, la radiació còsmica, però és, alhora, tancat pel que fa a les matèries primeres i les fonts d'energia fòssils, l'aigua, l'aire, els sòls. Mentre l'economia mundial operi sobre la base d'aquestes fonts d'energia i d'aquestes matèries primeres fòssils tindrà una perspectiva molt restringida, ja que els recursos fòssils són limitats i la seva transformació sobrecarrega, danya i destrueix els elements indispensables per a la vida a la Terra (l'aigua, l'aire i els sòls).

D'altra banda, els mercats de l'energia que havien funcionat, fins fa poc, en un marc estrictament regulat, ara estan canviant a gran velocitat, deixant d'estar regulats i reestructurant-se en profunditat. On més s'ha vist aquest canvi, ha estat en el sector de l'electricitat, on els monopolis verticals que hi havien s'han trencat, s'han separat les activitats de generació, de les de transport, distribució i comercialització, i s'ha permès l'entrada de nous actors, que introdueixen tecnologies de generació modernes i sistemes de gestió innovadors, cosa que fa que la gent del ram de l'electricitat es divideixi en dos sectors: els tradicionalistes (que continuen creient que els sistemes energètics actuals són els millors i s'han de mantenir, costi el que costi) i els innovadors (que creuen que els sistemes actuals ja no són els més adequats per proveir la qualitat dels serveis que la societat demana). Els canvis que s'estan produint arreu del món fan que en aquesta competició hi hagi guanyadors i perdedors. Alguns guanyaran poder, mentre que altres en perdran.

#### **4.2. El món modern, addicte als combustibles fòssils**

El funcionament del món en què vivim avui depèn dels combustibles fòssils. Sense l'energia que ens proveeixen els combustibles fòssils el món actual no seria imaginable. Però aquesta dependència no és pas nova. Ja als inicis de la industrialització, Anglaterra va

apostar decididament pel carbó, i tots els països que van copiar el camí de desenvolupament industrial, també van fer del carbó la seva font d'energia bàsica. Tot això va canviar, en descobrir-se el petroli. La dependència del carbó va ser substituïda per la dependència del petroli. Avui, després de les crisis successives del petroli, la dependència del que es va arribar a anomenar or negre és considerable. I encara és més considerable la dependència del món actual del conjunt dels combustibles fòssils. Segons l'Agència Internacional de l'Energia (AIE), l'any 2001, un 35% del subministrament d'energia primària al món provenia del petroli, un 23,3% del carbó i un 21,2% del gas natural. Per tant, el 79,5% del proveïment energètic del món, prové dels combustibles fòssils. La resta, el 20,5%, es reparteix entre combustibles renovables i residus (10,9%), energia nuclear (6,9%), hidràulica (2,2%) i altres fonts d'energia renovable (0,5%).

Podríem dir que el món actual és addicte, o més ben dit, ha creat una addicció, als combustibles fòssils, aquests combustibles que hi ha a la crosta de la Terra, i que no són més que el resultat del segrest del carboni existent a l'atmosfera original del nostre planeta, fa milions d'anys. La fossilització d'aquest carboni, en forma de carbó, petroli, gas natural, esquistos bituminosos i sorres asfàltiques, va fer possible que l'atmosfera de la Terra s'enriquís en oxigen - s'empobrís en carboni i, com a conseqüència, pogués sorgir la vida al nostre planeta. Però avui estem refent, en sentit invers, aquest camí, ja que la nostra societat, «fossil addicta», fa que es cremin els combustibles fòssils en quantitats ingents i a gran velocitat, alliberant enormes quantitats de carboni a l'atmosfera (l'any 2002, les emissions de carboni van ser superiors a 6.400 milions de tones, quan l'any 1950 eren 1.612 milions).

Solament entre un 0,03% i un 0,04% dels gasos que componen l'atmosfera de la Terra és biòxid de carboni (CO<sub>2</sub>). Aquest gas, juntament amb el vapor d'aigua (del 0 al 2% de la composició de l'atmosfera) i altres gasos de menor importància, fan que l'atmosfera absorbeixi part de la radiació tèrmica que emet la superfície de la Terra, quan s'escalfa a causa de la radiació solar que rep. Aquests gasos que actuen sobre la radiació, s'anomenen gasos d'efecte hivernacle (GEH), ja que retenen la radiació tèrmica i fan que la Terra sigui més calenta del que seria sense ells. En absència dels GEH la temperatura mitjana de la Terra seria de l'ordre de -20 °C.

Abans de la industrialització, la concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera era de 278 ppm. L'any 2002 ja havia crescut fins a 372,9 ppm, un 34% d'increment, cosa que fa que la temperatura mitjana actual del planeta sigui de 14,52 °C, per sobre de la que hi havia l'any 1950 (13,87 °C). Al llarg dels darrers 400.000 anys, el clima de la Terra ha estat força inestable, i s'han manifestat canvis ben significants de temperatura, que anaven des de clima temperat fins a eres gelades en poques dècades. Aquests canvis suggereixen que el clima del nostre planeta és molt sensible als forçaments i a les retroalimentacions climàtiques internes i externes. Al llarg dels darrers 10.000 anys, les temperatures han variat ben poc. Amb les dades avui disponibles, és poc probable que la temperatura mitjana global hagi variat més de 1°C per segle, durant aquests 100 segles. Però avui la concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera és ja superior a les que hi ha hagut al llarg dels darrers 400.000 anys. I si tot continua igual (des de l'any 1950 fins al 2000, el consum de combustibles fòssils s'ha multiplicat per 4,7), sense canvis significatius pel que fa al proveïment d'energia al món, la concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera podria arribar a superar la xifra de 600 ppm (més del doble de la que hi havia

abans d'iniciar-se la industrialització).

Avui sabem que el CO<sub>2</sub> actua com una trampa de radiació infraroja, i força les temperatures a l'alça. També sabem que la concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera mai en els darrers 400.000 anys havia superat la xifra de 300 ppm, fins que es van començar a cremar combustibles fòssils com si fossin inesgotables. Hem constatat que la concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera va en augment. I que si no fem res, la concentració pot arribar a 600 ppm quan els infants nascuts avui siguin els que hagin de prendre les decisions al món. El que és ben cert és que no fer res ens mena a l'acceleració del canvi climàtic. L'única incertesa és a quina velocitat augmentaran les temperatures i fins quan.

Al món, les emissions de CO<sub>2</sub> l'any 2001 van ser de 23.683 milions de tones (6.378 milions de tones de carboni), és a dir, 3,88 t CO<sub>2</sub>/càpita. Com que el producte global brut aquest mateix any va ser de 42.374.340 milions de dòlars (de l'any 1995, havent corregit la paritat del poder d'adquisició resulta una eficiència en CO<sub>2</sub> de l'economia mundial de 1.789 \$/t per CO<sub>2</sub> emesa. El país que té l'eficiència en CO<sub>2</sub> més elevada del món, és Japó (7.621 \$/t CO<sub>2</sub>, l'any 2001), on el nivell d'emissions és de 8,9 t CO<sub>2</sub>/càpita. Si totes les persones que habiten el planeta Terra tinguessin un nivell d'emissions com el del Japó, resultarien unes emissions globals superiors a 54.312 milions de tones, més del doble de les actuals. D'aquestes dades en resulta que, per més eficient que fem l'economia mundial en carboni, no es reduirien les emissions de CO<sub>2</sub>. Per tant, si hem de fer front al destarotament del clima de la Terra només tenim una alternativa: anar disminuint la dependència dels combustibles fòssils, fins a arribar a prescindir-ne del tot, tot fent néixer una economia lliure de carboni fòssil.

#### **4.3. L'energia nuclear, pot ser realment una alternativa?**

Per fer front a l'escalfament de l'atmosfera hi ha qui ha proposat la introducció massiva de l'energia nuclear, una font d'energia que es basa en la fissió d'un isòtop d'urani, l'urani-235, del qual només un 0,711% es troba en l'urani natural (el 99,28% de l'urani natural és U-238, que no és pas fissionable). A més a més, els minerals d'urani que avui s'exploten tenen un contingut d'entre 0,2% i 0,003% d'urani, cosa que fa que s'hagi de sotmetre a un procés de concentració (fàbriques de concentrats de mineral d'urani), en el qual es generen (en quantitats ingents) els anomenats estèrils de la mineria d'azrani que contenen el 85% de la radioactivitat original del mineral. Aquest procés és un procés molt contaminant, tot i que ben desconegut per l'opinió pública.

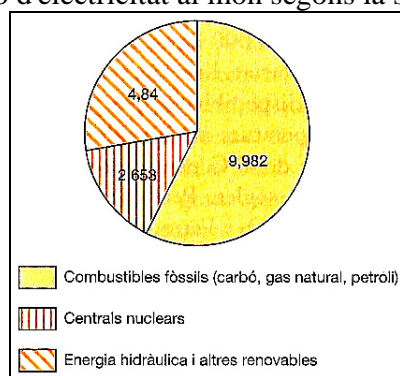
De fet, la realitat ha demostrat que l'energia nuclear no ha passat la prova del mercat, ja que allà on hi ha un mercat d'energia, més o menys lliure, l'energia ha hagut de ser tractada amb tota mena de privilegis i tractes de favor perquè continués generant electricitat, ja que els kWh generats amb reactors nuclears han demostrat no ser competitius amb altres formes de generació.

Els qui proposen l'energia nuclear per cobrir les necessitats energètiques del món obliden que l'energia nuclear produeix únicament energia elèctrica, i l'electricitat és només una part de l'energia que es consumeix al món. Avui, l'energia nuclear representa solament el 6,9% del subministrament d'energia primària al món i el 17,1% de la generació d'electricitat

(avui hi ha al món 437 reactors nuclears per a la producció d'electricitat, amb una potència instal·lada de 357 GW). De tota l'electricitat generada al món, l'any 2001 (17.476 TWh), 9.982 TWh es van fer amb combustibles fòssils (un 38% es va fer amb carbó, un 18% amb gas natural i un 7% amb petroli) i 2.653 TWh amb nuclears. La resta, 4.841 TWh, amb energia hidràulica i altres renovables (figura 4.1).

Vegem quin paper podria tenir l'energia nuclear en la reducció de les emissions de CO<sub>2</sub>. Avui, només un 17% de l'electricitat generada al món és d'origen nuclear. La indústria elèctrica és responsable del 25% del consum de combustibles fòssils. El consum de combustibles fòssils és responsable de les 2/3 parts de les emissions de CO:

Figura 4.1. Generació d'electricitat al món segons la seva font, 2001 (TWh)



Font: International Energy Agency. Energy Statistics - Energy Indicators.

a l'atmosfera. El CO<sub>2</sub> és responsable en un 50% de l'escalfament global. Fins i tot, si tota l'electricitat mundial d'origen fòssil fos generada en centrals nuclears, la reducció de l'escalfament global seria només del 12%. I això voldria dir construir 1.424 centrals nuclears d'1 GW de potència cadascuna.

Per poder disposar del combustible necessari per fer funcionar aquests 1.424 reactors, caldria minar 370 milions de tones de mineral d'urani, per obtenir 271.000 tones de pastís groc o òxid d'urani (U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) mitjançant les fàbriques de concentració del mineral d'urani (que generarien més de 640 milions de tones de residus líquids i més de 425 milions de tones de residus sòlids, que contindrien el 85% de la radioactivitat original del mineral, i que restarien abandonats per segles en els apilonaments d'estèrils a peu de fabrica). El pastís groc és la base per a la fabricació del combustible nuclear, després del seu enriquiment en l'isòtop U-235. Aquest procés generaria quantitats ingents de l'anomenat urani empobrit, que ja avui és emprat per la indústria d'armament com a cobriment de projectils i bombes (cosa que els dona un gran poder de penetració). El combustible gastat, després de ser sotmès al procés de fissió dins del nucli dels reactors (més de 35.600 tones) contindria 285 tones de plutoni, amb el qual podrien fabricar 28.550 bombes atòmiques, si aquest material fissionable s'extreu en les fàbriques de reprocessament del combustible gastat, en un procés altament contaminant, des del punt de vista radiològic. En cas que el combustible gastat no es reprocessi, aleshores el plutoni roman contingut dins les barres del combustible. En aquest cas, s'haurà de gestionar aquest producte radioactiu durant 500.000 anys (el període de semidesintegració del plutoni és de 24.300 anys, això vol dir que

després d'aquest període de temps la seva radioactivitat haurà disminuït a la meitat. Perquè un producte radioactiu deixi de ser nociu per a l'entorn, cal que passin 20 períodes de semidesintegració. Pel que fa al plutoni això vol dir gairebé mig milió d'anys o 16.666 generacions humanes).

Voler confiar en l'energia nuclear per combatre l'escalfament global del planeta atesa la crema dels combustibles fòssils, a part de no resoldre el problema, significa posar el món en un enorme risc de proliferació nuclear. Si avui ja es fa difícil controlar el risc de proliferació nuclear amb 437 reactors nuclears que funcionen al món, que podria passar si en funcionessin 1.424? També voldria dir fer unes enormes inversions, ja que el cost d'instal·lació de centrals nuclears és superior a 2.000 €/kW. Construir 1.424 reactors comportaria unes inversions de gairebé 3 bilions d'euros. Des del punt de vista estrictament energètic i econòmic, hi ha alternatives més eficients pel que fa a l'escalfament del planeta. Hi ha qui confia en l'anomenada fissió nuclear. Actualment, pot ser considerada com la font d'energia més sofisticada, a més de ser una a les quals es dedica més esforç científic. Evidentment, és la font d'energia més complicada. Tan complicada que, fins ara, mai ningú no ha estat capaç de demostrar-ne la viabilitat, ni tan sols experimentalment.

El principi de la fusió nuclear és molt senzill. En comptes de trencar àtoms pesants (això és la fissió nuclear) ara es tracta d'ajuntar àtoms lleugers. Tant en un cas com en l'altre hi ha un gran alliberament d'energia, a causa de la pèrdua de massa (1 g de massa convertit en energia equival a l'energia alliberada per 22.000 t de TNT quan explota, 1 t de TNT equival a 4,1.10<sup>9</sup> joules).

Tenint els nuclis dels àtoms dels elements lleugers, càrrega elèctrica positiva, cal vèncer grans forces de repulsió electrostàtica (la barrera de Coulomb) per aconseguir el seu apropament i la seva fusió donant com a resultat un nucli menys pesant que cadascun dels nuclis fusionats. La millor forma d'assolir-ho és «escalfant», és a dir, per agitació tèrmica; per això s'anomena fusió termonuclear. Però les temperatures necessàries són de l'ordre de desenes i centenars de milions de graus: la fusió deuteri—triti requereix una temperatura de 45.10<sup>6</sup> de graus, i la fusió deuteri—deuteri requereix una temperatura de 400.10<sup>6</sup> graus.

Amb aquestes grans temperatures comencen les dificultats, ja que només s'assoleixen de forma natural als estels (al Sol, la fusió protó-protó es realitza a una temperatura de 15.10<sup>6</sup> de graus, més baixa atesa l'elevada densitat i l'alta població de partícules) i de forma artificial al cor d'una explosió nuclear. La realitat, ara per ara, és que l'únic exemple reeixit de l'energia termonuclear és l'explosió de la bomba d'hidrogen!, en la qual s'assoleix la temperatura necessària fent explotar prèviament una bomba atòmica d'U-235 o de Pu-239!

D'altra banda cal considerar que les temperatures més altes assolides amb normalitat a la Terra mai no han sobrepassat els 5.000 graus centígrads (i s'assoleixen amb energies renovables!, concentrant els raigs del Sol, amb enginyers concentradors solars, com el forn solar d'Odeillo, a la Cerdanya Francesa).

A més de la temperatura, hi ha altres paràmetres importants que tenen un paper clau en la física de la fusió nuclear: per una part, la densitat de les partícules que reaccionen en el plasma ( $n$ ) i, per l'altra, el temps de confinament ( $t$ ) durant el qual la reacció pot ser

mantinguda abans que els productes es dispersin. L'any 1957, el físic britànic Lawson va enunciar el seu conegut criteri que regeix els mecanismes de la fusió nuclear: el producte de la densitat de partícules ( $n$ ), pel temps de confinament ( $t$ ) ha de ser superior a un valor donat (per la fusió deuteri-triti ha de ser superior a  $10^{14}$  s/cm<sup>3</sup> i per la fusió deuteri-deuteri ha de ser superior a  $10^{15}$  s/cm<sup>3</sup>).

Però, s'han assolit mai algun o tots aquests paràmetres bàsics en qualsevol dels artefactes emprats en la recerca experimental de la fusió nuclear? Des de l'any 1991, s'han produït de forma controlada alguns MW d'energia de fusió en experiments amb la reacció deuteri-triti, realitzats al Joint European Torus (JET) i al Tokamak Fusion Test Reactor (TFTR). L'any 1997, al JET, es van assolir 12 MW amb un pic de 16,1 MW, tot i que per arribar a les temperatures necessàries s'havia hagut d'alimentar l'experiment amb 25,7 MW. De forma estacionària, en el JET s'ha assolit més de 5 MW durant 5 segons, amb una producció d'energia de 22 MJ. Es va necessitar una potència de 24 MW per subministrar una energia d'escalfament de 120 MJ. El controvertit projecte de l'International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) pretén ser la continuació de tots aquests enginyers.

Ara bé, perquè un reactor de fusió generi més energia que la que consumeix, el plasma hauria de restar confinat ben clarament en alguna part material del reactor durant almenys dos segons a 150 milions de graus centígrads i a una densitat de  $2 \cdot 10^{14}$  partícules per centímetre cúbic. Aquesta és la concreció del citat criteri de Lawson, per a la reacció deuteri-triti. Es pot concloure que s'està encara lluny d'assolir-lo, és a dir, de demostrar la viabilitat de la fusió nuclear.

Els físics nuclears que treballaven en aquests projectes manifestaven que a començament del segle XXI podrien construir un reactor experimental de fusió i que si tenien resultats exitosos, aleshores, i només aleshores, es podria construir un prototipus de demostració de reactor de fusió termonuclear. Això es podria assolir, segons els més optimistes, a final de la primera quarta part del segle XXI. Només llavors serà possible fer una valoració tecnicoeconòmica, és a dir, comercial, d'aquesta nova font d'energia. Els més optimistes afirmen que l'any 2047 es podria iniciar la construcció del primer reactor de fusió nuclear comercial, que estaria acabat l'any 2055.

En el marc d'aquest objectiu s'inscriu el projecte ITER, un programa de recerca internacional per demostrar la viabilitat científica i tecnològica de la fusió nuclear. Alhora, aquest experiment vol proporcionar la informació científica i tecnològica necessària per al desenvolupament d'un reactor de fusió nuclear de demostració (anomenat DEMO).

L'ITER no és res més que un projecte per realitzar un experiment que pretén fer durar la fusió durant uns 100 segons, per permetre que les partícules d'heli, resultants de la reacció de fusió, siguin la font dominant de calor i que la potència de fusió sigui de l'ordre de 100 MW. Avui ni tan sols se sap si es podrà fer funcionar de forma contínua. Un dels objectius de l'ITER és aprendre a controlar el cicle del triti.

L'ITER serà una instal·lació experimental associada a una gran inversió. Primer es va anunciar una quantitat de 3.700 milions d'euros en deu anys i posteriorment s'ha augmentat fins a 4.500 milions (3.500 milions per a la construcció al llarg de 10 anys, més 700

milions de costos associats), a més d'uns costos d'operació d'uns 220 milions d'euros durant 20 anys. A Europa el lobby politico-tecnico-científic favorable a la fusió s'agrupa avui dins d'EURATOYI —el tractat europeu de l'energia atòmica (que va néixer per difondre l'energia nuclear arreu d'Europa, a l'ombra del programa Àtoms per a la Pau, promogut pels EUA a començament dels anys cinquanta)—, que juntament amb la Comunitat Europea de Carbó i l'Acer (CECA), avui ja inexistent, van ser els dos instruments entorn ,fels quals va néixer la Unió Europea actual. El Tractat d'EURATOM és avui volt qüestionat en l'àmbit europeu, de manera que se'n proposa des de l'abolició, fins a la profunda revisió, perquè deixi de fer tasques de promoció de l'energia nuclear i es centri estrictament en qüestions de seguretat nuclear.

Ens podríem preguntar si aquesta forma de gastar els diners, per un projecte que ni tan sols es pot preveure si mai donarà resultats comercials, és la millor forma de dedicar recursos públics a projectes energètics, quan, per exemple, a les energies renovables, que són una realitat molt més propera, s'hi destinen unes quantitats molt i molt inferiors que les dedicades a la fusió nuclear.

#### **4.4. La no-renovabilitat de les fonts d'energia fòssil**

L'addicció als combustibles fòssils de les societats industrials no només posa en perill l'estabilitat climàtica dels darrers 10.000 anys, sinó que crea molts altres problemes, com ara la seva no-renovabilitat i la dependència vers les zones productores.

La no-renovabilitat dels recursos fòssils és un problema de primera magnitud del sistema energètic avui vigent al món. Al ritme de consum actual, segons la BP Statistical Review' of World Energy, les reserves de combustibles fòssils durarien 40 anys pel petroli, 62 anys pel gas natural i 216 anys pel carbó. I la conseqüència immediata no és tant el seu esgotament físic, sinó el moment en què la producció ha arribat al seu punt àlgid i a partir del qual comença a davallar i a no poder seguir el ritme de la demanda. Pel que han escrit els més seriosos analistes del ram, la indústria petroliera podria estar molt a prop d'arribar al seu punt de màxima producció. A més a més, es manifesten fets prou alarmants: es constata que els descobriments de nous jaciments han disminuït any rere any, que l'any 2003 no va veure cap nou camp petroler de més de 500 milions de barrils, i que durant els anys 2001 i 2002 les 10 companyies petrolieres no estatals més grans del món van gastar més en exploració que no pas el valor del que havien descobert.

El mateix passa amb els recursos nuclears. Ja l'any 1981, la Comissió Europea va alertar que si els programes nuclears aleshores en curs arribaven a assolir els objectius que es plantejaven, hi hauria manca d'urani, si no es desenvolupaven els reactors de neutrons ràpids o reactors de neutrons tèrmics. Aquests reactors, que han estat uns dels fracassos de la tecnologia nuclear més sonats, havien de produir més combustible nuclear (transformant l'U-238 en Pu-239 a través de l'absorció neutrònica, en disposar un recobriment d'U-238 sobre el nucli d'U-235 del reactor) del que gastaven.

L'any 2001, les necessitats d'urani dels reactors en funcionament al món eren de 64.329 tones, mentre que la producció d'urani va ser de 36.366 t, per tant, la diferència entre producció i necessitats va ser de -27.963 t. Fins a finals del 2002, al món s'havien produït



2.012.414 tones d'urani i hi havia acumulades 2.352,55 milions de tones d'estèrils de la mineria de l'urani. I en l'enriquiment de l'urani en el seu isòtop U-235 s'han generat al món 1.188.5-3 tones d'Urani empobrit o esgotat, avui a disposició de la indústria militar a un cost nul, per ser emprat en la fabricació d'armament convencional (recobert amb urani empobrit, ja que l'urani és un metall d'una gran duresa i que en impactar entra en ignició). En data 1 de gener del 2001 hi havia al món unes reserves raonablement assegurades i uns recursos estimats addicionals d'urani (a un cost igual o inferior a 80 dòlars) de 3.305.160 tones. Al ritme actual de consum n'hi hauria per alimentar el parc nuclear actual durant 50 anys.

A aquests fets s'hi ha d'afegir la problemàtica associada al reprocessament del combustible nuclear gastat procedent dels reactors de fissió i a la fabricació de combustible nuclear a partir d'òxids mixtos d'urani i plutoni (MOX). De tot plegat es pot concloure que els magatzems d'urani que hi ha al planeta no són pas suficients per alimentar durant molt temps un programa nuclear de gran abast.

#### **4.5. La dependència de les zones productores**

Un altre problema dels sistemes energètics actuals és el de la dependència de les zones productores: el 65% de les reserves provades de petroli estan a la zona del golf Pèrsic i un 78% estan en mans dels països de l'OPEP; el 36% de les reserves provades de gas estan en mans de la Federació Russa i un altre 36% en mans dels països del golf Pèrsic; el 25% de les reserves provades de carbó estan als EUA, el 16% a la Federació Russa i un 11% a la Xina. Els països que formen l'OCDE només disposen del 8% de les reserves de petroli, del 9% de les reserves de gas, quan les seves economies tenen una dependència del 41% del petroli i del 21% del gas. Pel que fa a Europa, només disposa de l'1,8% de les reserves provades de petroli i el 3,1% de les de gas, mentre que la seva economia depèn en un 40% del petroli i un 22% del gas. El control i la disponibilitat d'aquests recursos ha estat la causa de nombrosos conflictes i in comptables guerres, en el passat i actuals, les més recents, les de Txetxènia, l'Afganistan i l'Iraq.

El mateix passa amb l'urani. La producció mundial, l'any 2002, va ser de 36.097 tones, de les quals un 94% estava a mans de només deu països (Canadà, Austràlia, Níger, Rússia, Kazakhstan, Namíbia, Uzbekistan, EUA, Ucraïna i Xina). La capacitat de conversió de l'U-08 (pastís groc) en UF, (hexafluorur d'urani), l'element bàsic per al procés d'enriquiment, és de 68.850 tones, de les quals un 99% està en mans de només 5 països (Rússia, França, EUA, Canadà i Regne Unit). Pel que fa a la capacitat d'enriquiment d'urani, hi ha al món plantes per a 46.105 tones, les quals un 94% estan en mans de 6 països (Rússia, EUA, França, Regne Unit, Holanda i Xina).

#### **4.6. La centralització dels sistemes energètics**

Un altre problema dels sistemes energètics és el de la seva estructura. El sistema energètic vigent és un sistema molt centralitzat, amb poques instal·lacions generadores d'energia i multitud d'usuaris finals, enllaçats per una xarxa de conduccions i/o fils. Les cadenes tecnològiques dels combustibles fòssils són enormement llargues. Una cadena tecnològica la formen els successius graons que s'han de passar per a la transformació de la font d'energia primària fòssil en l'energia final disponible per al consum. Aquesta enorme llargària fa que,

en cada graó es vagi deixant una petja ecològica molt important: residus de tota mena. Aquests residus, en forma de contaminació de l'aire, de l'aigua i dels sòls, no són altra cosa que un indicador de la poca eficiència amb què es fan les corresponents transformacions.

La centralització dels sistemes energètics fa que siguin enormement vulnerables. Es pot veure aquest problema en el que està passant amb els sistemes elèctrics centralitzats. El 14 d'agost del 2003, a les 2 de la tarda, una central tèrmica (Ohio, EUA, que tenia 31 anys de vida) va fallar. Els operadors de les xarxes de transport van fer el que van poder per mantenir el subministrament des de centrals tèrmiques situades a indrets allunyats, cosa que va ocasionar una sobrecàrrega de les línies. A les 4:06 de la tarda, una línia de transmissió de 1.200 MW es va fondre, i va desencadenar una fallada en cascada. Com que no hi havia generació local a l'abast, els operadors del sistema van ser incapaçs de mantenir la tensió i 5 centrals nuclears es van desconnectar automàticament, forçant encara més la necessitat de buscar electricitat a llocs més allunyats, sobrecarregant les línies de transport. A les 4:16 la part nord-oriental dels EUA i la província d'Ontàrio (Canadà) van tenir una apagada general.

Aquesta gran apagada era la vuitena apagada general en set anys, ocorreguda a Amèrica del Nord, sense comptar apagades més localitzades a Nova York i Xicago. Aquestes grans apagades s'iniciaren l'any 1996 amb l'apagada general a 18 estats federals, seguida per la tempesta de gel de l'any 1997 a Que-bec, que va sotragar tot New England, i el tornado de l'any 1998 que va colpejar els estats del mig-oest dels EUA. Posteriorment, va ser la fallada del sistema elèctric a Califòrnia, l'any 2000, tres tempestes de gel a Oklahoma i l'apagada general de l'agost del 2003.

Els sistemes elèctrics centralitzats manifesten problemes més profunds que no pas els de les repetides fallades en les línies de transmissió. Moltes grans centrals tèrmiques són força velles (algunes porten funcionant més de 25 anys), malbaratadores (tenen una eficiència de conversió de calor a electricitat de només un 33%) i brutes (50 vegades més contaminants que la millor planta de generació descentralitzada avui existent).

La generació elèctrica centralitzada, tot necessitant les lletges, i ben vistoses, línies de transmissió, no recicla el seu subproducte, la calor, o no extreu energia elèctrica, sense necessitat de cremar cap mena de combustible, del calor residual dels processos industrials i de l'energia residual. Això fa que hi hagi dues estratègies per fer front al problema de les apagades:

- Gastar milers de milions d'euros en noves línies, cosa que no eliminarà les apagades, però pot agreujar altres problemes;
- Estalviar diners encoratjant l'energia descentralitzada. Això reduiria enormement la vulnerabilitat del sistema i proveiria molts altres beneficis.

Avui, a moltes parts del món, es presenta la gran oportunitat de poder transformar profundament els sistemes energètics centralitzats que hem heretat del passat. Però, serem capaços de fer-ho? Tindran el coratge necessari els que prenen les decisions? I la ciutadania tindrà la visió necessària per empènyer a favor del canvi?

Actualment els que posen les bases per fer la política energètica d'un país o d'un grup de països, en el seu afany de respondre a les apagades mitjançant la incentivació de grans inversions en sistemes de generació i transport centralitzats, ens condueixen a una situació de desastre, ja que si per alguna cosa es caracteritzen aquests sistemes és per la seva vulnerabilitat en forma d'apagades generalitzades, cada vegada més freqüents, en àmplies extensions de territori.

Així, el desembre del 2003, la comissària europea d'Energia i Transport, Loyola de Palacio, va fer conèixer la seva proposta sobre infraestructures i seguretat en el subministrament, enfocada principalment en grans inversions en infraestructures de transmissió i distribució. Feia ben poc (novembre 2003), l'Agència Internacional de l'Energia (AIE) havia fet públic el Worh Energy Inz'estrntment Ozytlook, en què es preveia que les inversions necessàries en infraestructures de transport i distribució per l'any 2030 pujarien a la xifra de 5.300 milions de dòlars (l'equivalent a la tercera part de totes les inversions en el sector de l'energia o a la meitat de les del sector elèctric).

Aquestes inversions són imprudents perquè reforcen els sistemes centralitzats i no fan cap referència al rol significatiu que pot tenir la cogeneració descentralitzada, en millorar la seguretat de subministrament, tot minimitzant els requeriments d'inversions massives de capital. Avui no hi ha cap justificació econòmica, ni de seguretat, ni ecològica per continuar pensant en els sistemes energètics com si res no hagués canviat en els darrers anys.

El model òptim per assegurar les necessitats energètiques dels propers 20 anys ja no passa per continuar construint grans centrals tèrmiques (ni que siguin de cicle combinat) i continuar escampant les grans xarxes de transport d'energia elèctrica (en corrent altern) a molt alta tensió. Avui, el model econòmic i ecològic òptim passa pels sistemes energètics de la grandària apropiada, amb la màxima eficiència possible i a prop dels llocs de consum. I quan es necessiti transportar energia entre punts distants, emprar línies d'alta tensió en corrent continu. No fer-ho tindrà uns costos econòmics i ecològics enormes que ara som a temps d'evitar.

#### **4.7. L'energia distribuïda o descentralitzada**

El que està passant en el si de la indústria elèctrica podria ser caracteritzat per la dita «el que és vell esdevindrà nou i el que és nou esdevindrà vell». Aquesta frase il·lustra d'una manera ben clara el que ha passat: en els seus orígens l'electricitat es generava a prop dels punts on donava servei i s'aprofitava la calor residual per proveir serveis d'aigua calenta. El segle XX es va caracteritzar per convertir això en el seu contrari: generar electricitat de forma centralitzada, lluny dels llocs de consum, i sense aprofitar la calor residual. Però cap als darrers decennis del segle XX, la generació centralitzada d'electricitat va arribar al seu punt àlgid, i va començar a davallar. Vegem-ho amb més detall.

Encara que moltes persones creuen que l'era del vapor i la cogeneració va començar quan Thomas Edison va posar en funcionament la planta de Pearl Street a Nova York, l'any 1882, el cert és que l'empresa anomenada Edison Goanpany for Isol ted Lighting, havia instal·lat diversos sistemes d'enllumenat elèctric per a consumidors industrials i institucionals, abans

de l'obertura de la planta de Pearl Street. La major part d'aquestes plantes aïllades es van instal·lar en plantes existents que feien servir calderes i cogeneració. A finals de 1885, les companyies d'Edison havien instal·lat 569 plantes aïllades que donaven servei d'enllumenat a unes 200.000 bombetes, mentre que les plantes centralitzades que hi havia aleshores als EUA subministraven energia elèctrica a 92.660 bombetes. Usuaris d'aquests serveis d'enllumenat i de calor, com l'Hospital del Nord d'Illinois, ja manifestaven que «des que el vapor d'escapament s'ha recuperat per alimentar la xarxa d'aigua calenta i fa un doble servei, enllumenant i alhora escalfant el nostre edifici, el cost de l'enllumenat s'ha reduït a una simple fotesa».

Què va passar aleshores? Segons detallats estudis, a partir de dades procedents del Departament d'Energia del govern dels EUA, el director de l'Helios Centre for Sustainable Energy Strategies (Montreal, Canadà), ha estat capaç de determinar la dimensió mitjana de les plantes de generació elèctrica, en períodes de 5 anys entre 1920 i 1995, als EUA. I els resultats són, si més no, xocants. La dimensió mitjana de les plantes de generació d'electricitat va créixer un 5,5% anual entre la Primera i la Segona Guerra Mundial. A la dècada següent, va incrementar-se ràpidament fins a un 17% anual, i es va quadruplicar la potència de les plantes, arribant als 60 MW. Mentre la dimensió romania pràcticament estancada al llarg de la següent dècada, l'any 1970 assenyala el renaixement de la tendència anterior, arribant a un màxim de 150 MW (deu vegades més que la mitjana dels anys cinquanta). Aquest valor màxim es va assolir gràcies a la «moda» dels anys setanta de construir grans centrals tèrmiques de carbó i nuclears d'entre 500 i 1.000 MW de potència unitària. A començament dels anys vuitanta, en entrar en vigor la Llei anomenada Public Utility Regulatory Policies Act (PURPA, 1979), la dimensió mitjana de les plantes de generació va davallar per sota els 90 MW, ja que la llei esmentada oferia, per primera vegada, als generadors independents de les grans companyies elèctriques, l'accés al mercat majorista d'electricitat. Aquesta tendència es va continuar mantenint, i va arribar a 40 MW a mitjans dels anys vuitanta i a 29 MW a la primera meitat dels anys noranta. Aquesta «revolució» en la dimensió de les plantes de generació d'electricitat indica un canvi fonamental en les economies d'escala prèviament associades amb els projectes de grans plantes de generació.

La indústria elèctrica està enmig d'un profund canvi, que inclou el retorn a l'escala local i de barri, en la qual s'arrela la història primerenca de l'electrificació. Del principi a la fi del segle xx les plantes de producció d'electricitat (fent vapor) van evolucionar des de les plantes locals de generació combinada de vapor i d'electricitat, que donaven servei als barris on estaven situades, fins a grans centrals de generació exclusiva d'electricitat, situades en indrets remots que alimentaven de corrent elèctric regions senceres ben allunyades dels llocs de generació a través de xarxes de transmissió (transport i distribució). Uns sistemes socials i tècnics molt sofisticats manen el flux d'electrons des de les centrals de generació cap als usuaris dispersos i el flux invers de diners per pagar les centrals, els combustibles i les xarxes. Aquesta arquitectura tenia un sentit a començament del segle xx, quan les plantes de generació eren més cares i menys fiables que no pas la xarxa, de manera que s'havien de combinar a través de la xarxa per garantir el subministrament d'una forma fiable i alhora econòmica. La xarxa barrejava les càrregues dels diversos clients, compartia la cara potència instal·lada i feia que els clients grans i urbans subvencionessin l'extensió del servei elèctric a les comunitats rurals.

A començament del segle XXI, en els països industrialitzats, pràcticament tothom disposa de servei elèctric, i els supòsits bàsics que apuntalaven la lògica de les grans centrals de generació s'ha invertit. Les grans centrals ja no poden lliurar, de forma competitiva, electricitat barata i segura a través de la xarxa, ja que s'ha arribat a un punt en què les plantes costen menys que la xarxa i han esdevingut tan segures que pràcticament totes les fallades tenen el seu origen a la xarxa. Aleshores les xarxes que uneixen les grans centrals de generació amb els clients remots han esdevingut el factor més important que afecta no només els costos de l'energia elèctrica que han de pagar els clients, sinó també els problemes de qualitat del servei elèctric. Avui, l'electricitat més barata i més segura, per tant, és la que es genera prop d'on hi ha els clients. I qui demostra aquesta afirmació són els usuaris d'electricitat que requereixen serveis elèctrics d'una qualitat molt elevada. A mesura que es va generalitzant una economia basada en xarxes d'ordinadors, s'ha de garantir un subministrament d'electricitat amb un 99,9999% de fiabilitat i els sistemes centralitzats, només garanteixen un 99,91 de fiabilitat, ja que no només es produeixen nombrosos microtalls de corrent, imperceptibles per les persones, però fatals per als ordinadors, sinó també interrupcions generalitzades del subministrament per causa de la dependència que aquests sistemes centralitzats tenen de les xarxes de transport i distribució.

Què s'entén per sistemes distribuïts o descentralitzats? La World Alliance for Decentralized Energy (WADE) —una organització de professionals de l'energia d'arreu del món que creu que el paradigma actual de generació ja no és l'òptim i que caminar cap a la generació descentralitzada millorarà la qualitat de vida i reduirà els danys ecològics—, defineix la generació descentralitzada d'energia com la producció d'electricitat a prop dels llocs on s'usa, independentment de la dimensió, el combustible o la tecnologia. La generació descentralitzada pot ser connectada a la xarxa o independent, pot ser alimentada per una gran varietat de combustibles fòssils o renovables, i pot basar-se en un ampli ventall de tecnologies.

La generació distribuïda o descentralitzada es pot dividir en dos grups:

- a) La cogeneració de calor i d'electricitat d'eficiència elevada, amb potències que van des d'1 kW fins a 400 MW, i que inclouen motors de combustió interna, turbines de gas, turbines de vapor, motors Stirling, piles de combustible i microturbines. La cogeneració, també coneguda com la generació combinada de calor i d'electricitat (en anglès, CHP) és un concepte provat i segur que recicla la calor, que és un subproducte de qualsevol tipus de generació elèctrica basat en la combustió i que ha estat àmpliament utilitzada en la indústria i en els edificis de poblacions arreu del món.
- b) Els sistemes d'energia renovable in situ i les tecnologies de reciclatge d'energia que capturen l'energia que altrament es malbarataria. Aquests poden incloure els sistemes solars FV, la biomassa, els aerogeneradors eòlics i les turbines hidràuliques in situ, a més dels sistemes alimentats per caigudes de pressió, calor abocada des de processos industrials i combustibles de baix contingut energètic procedent d'una gran diversitat de processos.

Per tenir una idea del gran potencial de la generació distribuïda es poden veure els resultats del model econòmic desenvolupat per WADE, que intenta identificar els mitjans òptims

per cobrir les necessitats de generació elèctrica del futur. I ho fa analitzant els costos associats al desenvolupament de la potència de generació que caldrà en el futur, comparant un sistema de generació distribuït o descentralitzat amb un sistema de generació centralitzat. Aquest model s'ha aplicat als EUA i actual-ment està en procés d'aplicació a altres països i regions del món. Els resultats són electrificants, valgui la redundància. El model troba que la completa dependència d'un sistema distribuït o descentralitzat podria subministrar energia elèctrica a un cost de 5,8 cèntims de dòlar per kWh, mentre que un sistema centralitzat ho faria a un cost de 8,9 cèntims de dòlar per kWh. L'opció d'energia distribuïda evitaria haver de realitzar unes inversions de capital per l'import de 290.000 milions de dòlars per l'any 2020 i reduiria les emissions de CO<sub>2</sub> un 46%, comparativament a les que es produïrien a partir d'un sistema centralitzat. I realitza la comparació, per l'any 2020, a partir de diverses hipòtesis de penetració de l'energia distribuïda, des d'un 6,11% de penetració (que equival a no fer res en energia distribuïda, des d'ara fins al 2020) fins a un 39,38% (que equival a que tota la nova potència que s'ha d'instal·lar es fa amb energia distribuïda). Els estalvis produïts per l'energia distribuïda són el resultat de poder evitar els costos associats a la construcció i l'operació de les xarxes de transport i distribució (en el cas dels EUA, els costos associats a les xarxes són 1.250 dòlars per kW).

La conclusió que se'n pot treure és que els països que eliminin les barreres i implementin agressivament la generació distribuïda o descentralitzada guanyaran avantatges econòmics significatius sobre els països que continuïn apostant per defensar polítiques que romanguin enganxades a la tecnologia que ahir era considerada com a òptima —la generació centralitzada— i fallin a remoure les barreres en la més eficient generació distribuïda.

Per fer possible una societat amb un sistema energètic distribuït o descentralitzat cal que es prenguin un seguit de mesures. WADE proposa set principis directores per a una regulació efectiva de l'electricitat:

1. Hi ha d'haver una entitat reguladora del sistema elèctric completament independent i dotada amb suficients recursos.
2. Els preus del sistema elèctric han de ser del tot transparents i efectius quant al cost i no hi ha d'haver subvencions creuades des d'una part del sistema cap a una altra.
3. Les empreses de generació i de subministrament no han de tenir la propietat de la xarxa, ni cap interès en la seva gestió.
4. Tots els generadors d'electricitat han de tenir un accés just i no discriminatori a la xarxa.
5. La utilització de les xarxes de transport i distribució ha de tenir un preu d'acord amb els serveis que proveeix, de manera que s'incentivi les empreses de distribució per evitar que es posin traves en la connexió a la xarxa de l'energia distribuïda.
6. S'ha de requerir a les empreses elèctriques perquè duguin a terme anàlisis de cost-benefici, de manera que es permeti el desenvolupament de l'energia distribuïda en zones on els beneficis locals superin els costos de construcció o reforçament de les noves instal·lacions de distribució.
7. El sistema elèctric ha d'estar subjecte a instruments basats en el mercat (per exemple, el comerç d'emissions, la taxació de l'energia i els estàndards basats en la producció), de manera que reflecteixin les eficiències de conversió i internalitzin els costos ecològics de les conversions de l'energia.

#### 4.8. La societat solar

El caràcter fòssil de l'economia mundial fa cada vegada més urgent l'orientació cap a unes fonts d'energia i de matèries primeres solars.

La radiació solar té el seu origen al Sol, un dels més de 135.000 milions d'estels de la Via Làctia. El Sol és un immens reactor de fusió termonuclear que «crema» cada segon 600.000.000 tones d'hidrogen a 20 milions de graus Kelvin, irradiant una quantitat d'energia equivalent a  $3,7 \cdot 10^{26}$  kW, cosa que representa 64.070 kW per m<sup>2</sup> de superfície solar. I, segons els astrofísics, el Sol perdurarà encara uns 4.500 milions d'anys.

Massa vegades s'ha dit que l'energia que el Sol ens envia a la Terra no permet fer funcionar una societat moderna.

La fracció d'energia solar absorbida per la Terra en el seu viatge entorn del Sol, equival a  $1,2 \cdot 10^{17}$  kW, cosa que representa més de 19.000 kW/hab, la potència corresponent a 120 milions de reactors nuclears de 1.000 MW de potència elèctrica unitària o 340.000 vegades la potència nuclear instal·lada al món. Al llarg d'un any representa 14.000 vegades el consum energètic mundial o 28.000 vegades la producció mundial de petroli. Avui sorprèn que encara hi hagi qui sostingui que les necessitats d'energia de la humanitat no poden cobrir-se únicament a partir del Sol.

Donella Meadows (coautora dels informes del Club de Roma Els límits del creixement i Més enllà dels límits del creixement) una vegada va manifestar: «Sóc de les que desitjo que la fusió nuclear sigui un miratge, cosa que probablement serà. Desitjo que els éssers humans tinguin més temps per aprendre a viure dins d'uns límits, a viure en harmonia amb la resta d'éssers humans i amb la Terra. Desitjo que la humanitat tingui més temps per aprendre a trobar propòsits més dignes que l'acumulació de poder o de riquesa. Si algun dia i de bona gana desitgem viure pausadament i amb moderació i sense egoisme ens adonarem que ja tenim una fusió a l'abast de la mà. La fusió és l'energia que fa brillar els estels, incloent el Sol. L'energia de la fusió ens arriba en quantitats molt superiors a les que la humanitat necessita. L'energia de la fusió és generada per un «reactor» que està situat a una distància de cent cinquanta milions de quilòmetres i que té una vida esperada de força milers de milions d'anys. Tampoc necessita cap despesa d'inversió ni de manteniment. És una energia en la qual no hi pensem gaire, perquè ens arriba suaument i sense presses. I és difícil que ningú l'acapari. Atesa l'esbojarrada forma de comptar que té el nostre sistema econòmic, que comptabilitza només els beneficis per a alguns éssers humans, i no té en compte els costos sobre la majoria de la població, ni sobre els sistemes naturals, considerem que és cara. Però ni és cara, ni contamina, i està aquí per ser captada i emprada, tan aviat com nosaltres estiguem disposats a aprofitar-la».

Una societat que basi la seva economia en el Sol és una societat a imatge i semblança del funcionament dels sistemes naturals, és una societat que es basa en la captació, transformació i utilització de la radiació solar per alimentar les seves necessitats d'energia i de matèries primeres. Potser només fa falta imaginar-la i declarar obertament la voluntat per materialitzar-la.

La tecnologia per a l'aprofitament de l'energia solar es coneix d'antic. A Califòrnia, ja l'any 1900, hi havia instal·lats més de 1.600 sistemes d'escalfament d'aigua Climax (una patent realitzada per C. L. Kemp, de Baltimore, Maryland, 1891). L'any 1909, es van començar a vendre uns sistemes solars revolucionaris que subministraven aigua calenta, les 24 hores del dia, amb Sol o sense. Ho aconseguien separant el sistema de captació de l'emmagatzematge. Era el naixement de la tecnologia que avui s'ha generalitzat per a l'escalfament de l'aigua a partir del Sol. A finals de la Primera Guerra Mundial, ja hi havia instal·lats més de 4.000 sistemes. La seva marca comercial s'anomenava Dia i nit.

Un sistema que pot assolir temperatures més elevades que no pas un captador pla, es basa en la concentració dels raigs del Sol. Va ser A. Mouchot qui l'any 1860 va iniciar a Tours les recerques per aprofitar l'energia solar per accionar una màquina de vapor. Entre els seus experiments va assolir la conversió de vi a conyac, mitjançant la destil·lació solar. L'any 1874 va construir el seu primer motor solar que consistia en un dispositiu concentrador cònic amb una caldera situada a l'eix del con. Era un dispositiu que seguia al Sol i era capaç de generar el vapor necessari per accionar un motor de 0,5 HP. Va ser present a l'Exposició Universal de París de l'any 1878. Posteriorment, l'any 1880, un ajudant seu va exposar aquest tipus d'artefacte solar als jardins de les Tuilleries. Un d'ells accionava una màquina de vapor que a la vegada, accionava una rotativa, on es van imprimir 500 exemplars del Journal Soleil.

En manifestar-se l'anomenada primera crisi de l'energia, l'any 1973, va renéixer l'interès per l'energia solar (en les seves formes directes i indirectes), cosa que va fer que alguns països iniciessin seriosos programes de desenvolupament tecnològic que han tingut els seus fruits en la dècada dels anys vuitanta i dels noranta.

Ha estat ben entrat el segle XX quan aquestes recerques s'han traduït en sistemes solars tèrmics i/o termoelèctrics, com els milions de sistemes solars que subministren aigua calenta per a serveis sanitaris, calefacció, calor de procés industrial, etc. a diverses parts del món (només a Alemanya hi ha uns cinc milions de m<sup>2</sup> de captadors solars tèrmics a baixa temperatura), o sistemes solars de concentració que subministren vapor, com les cuines solars de Mont Abu (Rajasthan, Índia) o les centrals solars que hi ha al desert de Mojave (Califòrnia). Aquestes cuines solars de Mont Abu que l'Associació Brahma Kumaris té en funcionament als seus centres de formació potser són la realització més important amb tecnologia de concentració. La primera es va instal·lar a Gyan Sarovar (Academy for a Better World), l'any 1996 i té capacitat per cuinar 1.000 menjars/dia (consta de 24 discos parabòlics, amb una superfície de captació de 190 m<sup>2</sup>). El gener de 1998 es va iniciar la construcció de la cuina solar més gran del món: 84 miralls concentradors discparabòlics per a la producció directa de vapor que alimenta una cuina que actualment és capaç de servir 33.800 menjars al dia.

Basant-se en la tecnologia de concentració a força de miralls cilíndricoparabòlics, una petita empresa, Luz International Ltd., va aconseguir produir electricitat solar per cobrir les necessitats de milers d'habitants de Califòrnia (900 GWh/any) a un cost del kWh produït inferior al generat per les centrals nuclears en funcionament, aleshores, a Califòrnia. Així, Luz va aconseguir que una de les grans empreses elèctriques de Califòrnia (South California Edison) negociés un contracte per a la compra d'electricitat d'origen solar, durant 30



anys, procedent de dues centrals solars: SEGS-I de 13,8 MW i SEGS-II de 30 MW. La primera va entrar en funcionament a finals de 1984 i la segona l'any 1985. Fins a finals de 1988 es van construir 5 unitats de 30 MW cadascuna (SEGS-III a SEGS-VII). S'havien construït dues unitats addicionals i havien entrat en funcionament (SEGS-VIII i SEGS-IX) a finals de 1990. Aquestes centrals podien funcionar en mode solar o en combinació amb gas natural, assegurant d'aquesta forma la seva disponibilitat independentment de les condicions climatològiques, o del cicle dia-nit. Les centrals SEGS estan al desert de Mojave i avui continuen en funcionament (354 MW). La seva ocupació superficial és la següent: SEGS-I (23,8 MW, 8,3 ha), SEGS-II (30 MW, 19 ha), SEGS-III i IV (30 MW, 23 ha), SEGSV (30 MW, 25,1 ha), SEGS-VI (30 MW, 18,8 ha), SEGS-VII (30 MW, 19,4 ha), SEGS-VIII (80 MW, 46,4 ha) i SEGS-IX (80 MW, 48,3 ha).

Actualment tenim els coneixements i la tecnologia per fer néixer i créixer una economia basada en el Sol, no només per a usos tèrmics (aigua calenta sanitària, calefacció amb aigua o aire, refrigeració, assecatge, dessalatge, cuinar, etc.), i termoelèctrics (centrals de torre, de discparabòlics o cilíndricoparabòlics), sinó que amb la conversió fotovoltaica podem transformar directament la radiació solar en energia elèctrica, sense cap element mòbil. Avui al món ja es fabriquen anualment més de 500 MW de cèl·lules fotovoltaïques, amb uns ritmes de creixement de l'ordre del 40% anual. Ja l'any 2000 s'havia assolit la xifra de 1.000 MW fotovoltaïcs instal·lats al món. Avui n'hi ha més de 2.000 MW.

La viabilitat material de la tecnologia solar ha quedat àmpliament demostrada en nombrosos informes i estudis realitzats per diverses institucions, que van des del Banc Mundial fins a instituts de recerca independents.

Les tecnologies solars són una llista de tecnologies considerable que permeten aprofitar les fonts d'energia renovables que es manifesten en el nostre planeta. Moltes es coneixen d'antic, altres s'han desenvolupat més recentment. Van des de les instal·lacions solars fotovoltaïques, eòliques, hidràuliques, de les ones, fins a les plantes mareomotrius i les instal·lacions transformadores de biomassa per a la generació d'electricitat, col·lectors i acumuladors solars, les bombes de calor, la combustió de la biomassa per a necessitats tèrmiques, motors que poden emprar biomassa líquida, líquida o gasificada —o hidrogen produït amb electricitat generada a partir de fonts d'energia renovable— com a carburant o per a les necessitats industrials d'energia de procés.

Actualment les qüestions de la viabilitat de les tecnologies solars solament tenen a veure amb els problemes tècnics o organitzatius de la utilització combinada de les diverses fonts d'energia renovables, en relació amb les necessitats concretes d'una zona, regió, nació o grup de nacions, l'eficiència i els costos d'implantació de les diferents tècniques de transformació per convertir la font d'energia renovable en el servei desitjat.

L'ús raonable de les fonts d'energia renovable, que avui es poden considerar com una alternativa als combustibles fòssils i nuclears, consisteix a fer un aprofitament integrat de les diferents possibilitats de produir energia a partir de les fonts que la natura ens ofereix, en porcions distintes segons les característiques de l'indret.

Arreu és possible satisfer les necessitats d'energia a partir de les fonts d'energia renovable.

Però l'oferta natural de les fonts d'energia renovable varia d'una regió a l'altra, d'un país a un altre i de continent en continent. Les fonts d'energia renovable que cada indret té i les seves quantitats determinen la decisió de com combinar-les de forma escaient per cobrir les necessitats de la població que hi viu. El criteri decisiu ha de ser la comparació del conjunt de cadascuna de les cadenes energètiques. Cobrir les necessitats d'energia amb fonts renovables requereix cadenes energètiques bastant més curtes que fer-ho amb fonts d'energia fòssil o nuclear. A més a més, l'autoabastiment regional o local pot acabar amb la dependència que avui el món té de les energies fòssils, cosa que representa una oportunitat per assolir noves llibertats polítiques, econòmiques i culturals.

Les cadenes curtes dels recursos solars ofereixen un doble avantatge ecològic: per una banda, les pèrdues en la seva transformació són de molt baix impacte ambiental, per l'altra, la logística del seu transport és reduïda. El cas més emblemàtic de cadena curta és l'energia solar fotovoltaica, ja que permet captar la radiació solar i transformar-la directament in situ en electricitat, una electricitat sense cadena logística.

Les disparitats en les cadenes ens mostren com n'és d'absurd centrar l'avaluació de les possibilitats econòmiques de les fonts d'energia únicament en la comparació dels costos d'inversió referents a les instal·lacions transformadores. Comparar les tecnologies solars amb les fòssils basant-se en els costos d'inversió posa de manifest les barreres mentals que encara hi ha a l'hora de plantejar-se l'aprofitament dels potencials de les fonts d'energia renovables, que requereix l'abandonament de les formes d'aprofitament de les fonts d'energia fòssils i nuclears.

Hi ha, però, qui proposa aprofitaments centralitzats de les fonts d'energia renovables. Però voler fer de la possibilitat d'utilització descentralitzada i sense dependències de la cadena, un subministrament centralitzat i ple de dependències de tota mena, segons Hermann Scheer, només s'explica a partir de mentalitats tecnològiques alienades que han menat la societat a deixar-se manejar per la tècnica, en comptes de fer possible que sigui la societat la que domini sobre la tècnica, ja que la seva funció social i econòmica només es comprèn si es concep la tècnica sense tecnocràcia.

Per una altra banda, com que produir electricitat a partir de fonts d'energia renovable té límits naturals (un aerogenerador difícilment superarà la potència de 5 MW), no només hi haurà grans companyies elèctriques que les gestionin, sinó que sorgiran moltes formes de gestió noves: empreses municipals, cooperatives de productors, autogeneradors, operadors individuals, etc., tant a nivell local com regional, fent que en floreixin les economies.

Cada vegada hi ha menys veus que posin en dubte que avui és tècnicament possible cobrir les necessitats energètiques de les societats modernes amb fonts d'energia renovable. Vegem com això és factible amb un parell d'exemples: un a l'àmbit global i un altre al local. Amb la tecnologia que hi ha avui per a l'aprofitament de les fonts d'energia renovable (Sol i vent, per exemple) seria possible generar tota l'electricitat que es consumeix al món (14.196.980 GWh, l'any 2001). Per exemple, instal·lant 4.631 GW solars (sistemes de generació elèctrica termosolars, com els existents al desert de Mojave, a Califòrnia, on hi ha nou plantes amb una potència total de 353,8 MW, que es van instal·lar entre 1984 i 1991 i avui encara estan en funcionament), amb una ocupació superficial de 89.400 km<sup>2</sup>. O, per exemple, instal·lant 5.403 GW eòlics (sistemes convertidors d'energia eòlica, com els que

avui hi ha instal·lats, a terra ferma o mar endins a diverses parts del món, on hi ha milers de MW instal·lats i en funcionament), amb una ocupació superficial de 54.000 km<sup>2</sup>. Cal notar que al món hi ha molta més superfície ocupada per diversos tipus de conreus (cafè: 100.000 km<sup>2</sup>, patates: 200.000 km<sup>2</sup>, soja: 550.000 km<sup>2</sup>, arròs: 1.500.000 km<sup>2</sup>, blat: 2.250.000 km<sup>2</sup>) que no pas la superfície necessària per poder aprofitar a gran escala les fonts d'energia renovable.

Amb aquesta mateixa tecnologia, avui seria possible subministrar tota l'electricitat que consumeix una ciutat com Barcelona (6.496 GWh, l'any 2002) amb el Sol i el vent. Instal·lant 2.119 MW solars o 2.472 MW eòlics. Les ocupacions superficials serien: 40,89 km<sup>2</sup> amb plantes de generació elèctrica termosolars o 24,72 km<sup>2</sup> amb plantes de generació eòlica (la superfície del terme municipal de Barcelona és de 99,07 km<sup>2</sup> i la superfície edificada és 55,37 km<sup>2</sup>).

Un altre exemple de com es poden cobrir les necessitats d'una ciutat com Barcelona amb energia solar, la tenim en el fet que si es volgués escalfar amb el Sol tota l'aigua calenta sanitària que la ciutat consumeix en un any, només seria necessari disposar d'una superfície de captació de 150 ha, cosa que representa l'1,5% de la superfície del terme municipal o el 2,7% de la superfície edificada. O dit d'una altra manera: 1 m<sup>2</sup> per habitant, 2,2 m<sup>2</sup> per habitatge o 18,7 m<sup>2</sup> per edifici, superfícies que avui són a l'abast per instal·lar-hi sistemes solars tèrmics.

#### **4.9. La situació de l'energia a Catalunya**

El model energètic que tenim a Catalunya s'emmarca dins dels models d'aprofitament i ús de les fonts d'energia que es van anar imposant després de la Segona Guerra Mundial, és a dir, un model energètic basat fonamentalment en els combustibles fòssils (carbó, petroli i gas natural combinats en diverses proporcions) i en l'energia nuclear, deixant les energies renovables (fonamentalment la hidràulica, però també la biomassa, la solar i l'eòlica) en un paper sovint marginal.

A la dècada dels vuitanta aquest model va començar a ser qüestionat de forma important per causa de la percepció pública dels problemes ecològics que s'anaven manifestant, especialment al centre i al nord d'Europa, i especialment en la contaminació àcida dels sistemes naturals. Aquesta contaminació es produïa per la deposició seca i humida de les emissions d'òxids de sofre i d'òxids de nitrogen, conseqüència de cremar combustibles fòssils amb més o menys contingut de sofre i com a resultat de fer-ho en enginyers tecnològics que funcionen a temperatures que ocasionen la formació dels òxids de nitrogen. També als anys setanta y vuitanta, a molts països del món, es van qüestionar fortament les centrals nuclears, aleshores en procés de construcció. L'accident de Txernòbil el 1986 va acabar d'empènyer fora del mercat la indústria nuclear, que ja havia sofert un primer ensurt a la central de Three Mile Island (Harrisburg).

Però a la dècada dels noranta, el qüestionament va sorgir per les creixents emissions de CO<sub>2</sub> que, en acumular-se a l'atmosfera, començaven a posar en perill l'estabilitat del clima de la Terra.

A l'hora de valorar els aspectes ambientals de l'energia cal estudiar no només el punt de la cadena tecnològica de la font d'energia on es transforma l'energia primària en energia final disponible per al consum, sinó cadascuna de les etapes de la cadena corresponent a cada font d'energia: exploració dels recursos, extracció o captació, transport, transformació, emmagatzematge, utilització, tractament de les deixalles i desmantellament de les instal·lacions.

Així, en un sistema energètic com el que tenim a Catalunya, mentre unes persones utilitzen en un lloc unes energies finals disponibles per al consum que aparentment semblen energies netes, en un altre lloc unes altres poden patir les conseqüències ecològiques de la cadena de transformació d'una energia primària en energia final disponible per al consum en forma d'una producció bruta, d'extraccions mineres, d'abocaments de petroli, etc.

#### *4.9.1. Principals característiques del sistema energètic vigent avui a Catalunya*

El sistema energètic que tenim avui a Catalunya és fruit de tot un seguit d'accions dutes a terme durant les darreres dècades, que han fet que s'anessin reproduint les mateixes característiques del sistema energètic heretat del franquisme. Aquestes característiques són: la centralització del sistema energètic, la dependència de fonts d'energia primària foranes, la utilització de fonts d'energia primària no renovables i que ocasionen en totes les seves etapes tecnològiques tota mena de contaminacions, la minva continuada de l'eficiència global del sistema i els constants augments del consum d'energia.

Es tracta d'un sistema energètic molt centralitzat, fins fa molt poc basat en molt poques unitats productores d'energia i moltíssimes unitats consumidores. Les unitats productores eren dues refineries, una planta de regasificació de gas natural líquid, una central tèrmica de carbó, quatre centrals tèrmiques de combustibles fòssils líquids i/o gasosos, dues centrals nuclears i uns quants grans embassaments situats bàsicament a la conca del riu Ebre.

Posar l'energia final disponible per al consum que es produeix en aquestes unitats productores a disposició de la munió d'unitats consumidores existents a casa nostra, requereix disposar de desenes de milers de quilòmetres de xarxes (oleoductes, gasoductes, línies d'alta, mitjana i baixa tensió). Només cal donar una ullada al mapa d'infraestructures energètiques de Catalunya per adonar-se d'aquesta situació de centralització extrema.

En els darrers anys, s'ha desvetllat una lleugera tendència a la descentralització, a través dels sistemes de cogeneració situats en indústries i/o en instal·lacions de serveis, i a través de l'inici de l'aprofitament de la força de l'aigua, del vent i del Sol, mitjançant aprofitaments descentralitzats. També s'ha desfermat la tendència a construir grans centrals de cicle combinat de gas, però sense equipar-les amb sistemes de cogeneració.

Hi ha una dependència extremada de fonts d'energia primària procedent de l'exterior del país, bàsicament de combustibles fòssils sòlids, líquids i gasosos, però també de combustible nuclear, que s'importen de diferents països, a causa de la no disponibilitat de fonts d'energia fòssils i nuclears locals.

El sistema energètic català depèn bàsicament de fonts d'energia primària no renovables i

exhauribles: combustibles fòssils i nuclears. A escala mundial, la durada dels estocs de combustibles fòssils dependrà del seu ritme de consum. Alguns analistes són de l'opinió que en la dècada actual s'haurà assolit el pic de producció, iniciant-se la davallada fins al seu esgotament. Amb tota seguretat el factor que limitarà més l'ús dels combustibles fòssils seran les emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera, procedents de la seva crema. Pel que fa als combustibles nuclears, també en són limitades les quantitats disponibles a un preu de mercat.

La utilització de combustibles fòssils i nuclears fa que es generin, en totes les etapes tecnològiques del seu aprofitament, tota mena de contaminacions a l'aigua, al sòl i a l'aire, contaminacions químiques i radioactives, en els indrets d'on s'extreu i als llocs on es transforma.

El sistema energètic català ha manifestat, els darrers temps, una clara davallada en l'eficiència amb la qual es transformen les fonts d'energia primària en energia disponible per al consum. Aquesta eficiència energètica decreixent encara seria quantitativament més gran si es mesurés a partir de l'energia realment útil (la que dona el servei energètic requerit) i no de l'energia disponible per al consum.

A més, s'observa una tendència a necessitar cada cop més energia primària per tal de disposar d'una unitat d'energia final disponible per al consum. Tenint en compte que aquesta energia final disponible per al consum s'utilitza majoritàriament per alimentar tecnologies d'ús final ben poc eficients, per cobrir no solament necessitats bàsiques, sinó «capricis energívors», tenim servit el pastís que alimenta aquesta espiral de creixement dels consums d'energia.

#### *4.9.2. Magnituds i tendències de l'energia a Catalunya*

En aquest apartat es donen les principals magnituds i tendències que conformen l'evolució del sistema energètic català. Les dades més recents corresponen a l'any 1997, que són les darreres que hi ha a l'abast procedents de l'A-nuari Estadístic de Catalunya.

La producció d'energia primària, des que es va generalitzar el model actual basat en combustibles fòssils i nuclears, no cobreix ni de lluny el consum. La producció roman més o menys estable, entre 6.000 i 7.000 kTEP anuals.

El consum d'energia primària a Catalunya evoluciona a l'alça. A mitjans de la dècada dels anys noranta, el consum era de l'ordre de 20.000 kTEP/any, amb un creixement mitjà anual del 3,9%.

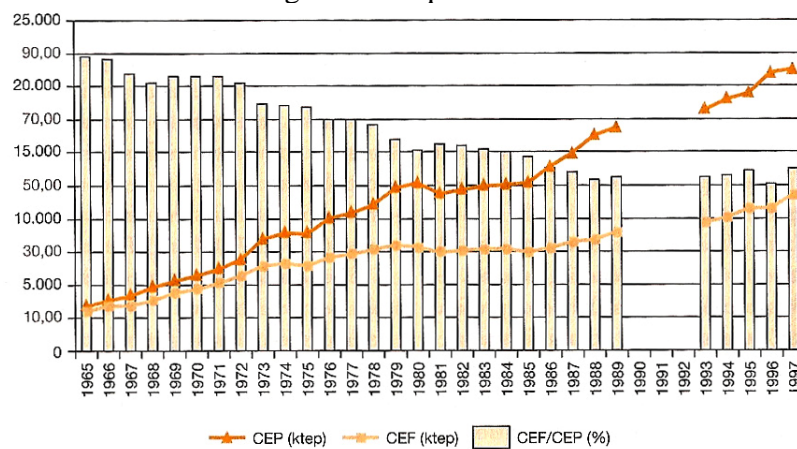
El consum d'energia final a Catalunya també evoluciona a l'alça (figura 4.2), havent superat els 10.000 kTEP l'any 1994, amb un creixement mitjà anual del 5,1%.

El sistema de generació d'energia elèctrica a Catalunya es basa majoritàriament en centrals tèrmiques (nuclears i de combustibles fòssils) convencionals (turbina de vapor, eficiència 33%) i en centrals hidràuliques. De l'electricitat generada l'any 1997, un 85% era d'origen tèrmic i un 15% era d'hidràulic. En la d'origen tèrmic, dominava la nuclear (75% del total

tèrmic i un 63% del total de l'energia elèctrica generada). L'energia elèctrica disponible per al consum, l'any 1997, després d'haver descomptat els consums auxiliars i el de bombament, va ser de 33.870 GWh.

És interessant destacar que, l'any 1997, un 14% de l'energia elèctrica produïda es generava en instal·lacions d'autoproducció; cogeneració de calor i electricitat amb combustibles fòssils, 13,3%; petites centrals hidràuliques, 0,29%, i eòlica, 0,028%. Pel que fa a la cogeneració, l'any 1996 s'havien superat els 500 MW de potència elèctrica instal·lada i l'any 2000 n'hi havia més de 1.000 MW.

Figura 4.2. Consum d'Energia Primària,  
Consum d'Energia Final i quocient entre CEF/CEP



El sistema de transport d'electricitat centralitzat de Catalunya fa que el sistema elèctric tingui considerables pèrdues. A finals de la dècada dels noranta hi havia a Catalunya 46.000 km de línies d'alta tensió i 52.000 km de línies de baixa tensió. Les pèrdues causades pel transport i la distribució d'electricitat eren de 3.548 GWh. Es perdia, doncs, per la xarxa més electricitat que la que es generava a les tèrmiques de combustibles fòssils de servei públic (no autoproduïdors).

El consum d'electricitat a Catalunya l'any 1997 va ser de 30.583.412.471 kWh i es distribuïa d'aquesta manera: sector industrial 46,5%, sector terciari 27,6%, sector domèstic 22%, transport 2%, sector primari 0,9%, sector energètic 0,48% i sector construcció i obres públiques 0,39%. El ritme de creixement del consum elèctric va ser superior al 3% de mitjana al llarg de la dècada dels anys noranta.

Pel que fa a l'autoabastiment, a mitjan de la dècada dels noranta la producció d'energia primària arribava escassament a cobrir el 10% del consum d'energia primària, i la tendència era decreixent des de l'inici de la dècada (ja l'any 1995 va davallar per sota del 10%). De vegades els informes oficials consideren l'energia nuclear com si fos pròpia, cosa que seria veritat si el combustible nuclear sortís de mines situades a casa nostra. Tot i considerant aquesta hipòtesi, el grau d'autoabastiment només arriba fins al 33%.

Com ja hem dit, el sistema energètic català és molt poc eficient. Una mesura de la seva eficiència es pot tenir en la relació entre l'energia final disponible per al consum i l'energia

primària (relació entre el consum d'energia final i el consum d'energia primària). A mitjans de la dècada dels noranta aquesta relació va experimentar una lleugera recuperació després de la seva continuada tendència a la baixa, des de finals dels seixanta fins a començaments dels noranta, al llarg de la qual va passar del 90% al 52%. L'any 1995 aquesta relació era del 54,5%. Aquest canvi de tendència, de la disminució cap a l'augment de l'eficiència, ben segur que es deu al creixement espectacular de les unitats de cogeneració de calor i electricitat.

Les emissions de gasos d'efecte hivernacle, segons l'Institut Català d'Energia, se situaven en 45 milions de tones equivalents de CO<sub>2</sub>, l'any 1997. La seva distribució per sectors és la següent: transport, 29,9%; indústria, 26% (inclou consums d'energia i processos); sector energètic, 14%; tractament de deixalles, 10,3%; domèstic i serveis, 10,2%; agricultura i ramaderia, 9%.

Les centrals nuclears, en funcionament normal, aboquen a l'aire i a l'aigua quantitats «autoritzades» de productes radioactius. El seguiment d'aquestes emissions es reflecteix en els informes que el Consell de Seguretat Nuclear lliura semestralment al Congrés dels Diputats. En valor mitjà s'aboquen uns 9.500 Bq de radioactivitat per cada kWh generat. Això vol dir que l'any 1997 es van abocar a l'aire i a l'aigua uns 212 bilions de becquerels de radioactivitat (5.743 curis, o la radioactivitat equivalent a 5,7 kg de radi).

Una vegada l'any, les centrals nuclears han d'efectuar una parada per canviar una tercera part del seu combustible. Això vol dir que unes 80 t de combustible gastat esdevenen residus, que contenen isòtops d'alta activitat i llarga vida que s'han d'emmagatzemar durant milers d'anys. En valors mitjans, per cada kWh generat a Catalunya es produeixen 3,6 mg de residus radioactius.

A més a més, en els reactors en funcionament a Catalunya, es produeix cada any més de 600 kg de Pu, amb el qual es podrien fabricar unes 60 bombes atòmiques.

Però per disposar de l'U-235 necessari per una recàrrega de combustible nuclear s'hauran hagut de minar unes 250.000 t de mineral d'urani, i s'hauran produït més de 400.000 t de residus líquids i gairebé 300.000 t de residus sòlids, que romanen en forma d'apilonaments d'estèrils de la mineria (normalment a la vora de les fàbriques de concentrats de mineral d'urani) i que contenen el 85% de la radioactivitat original del mineral.

#### **4.9.3. Comparació del sistema energètic català amb el de l'Estat espanyol, el de la unió Europea i el mundial**

A la taula 4.1 es donen les dades més significatives, pel que fa a l'energia, del món, de la Unió Europea, de l'Estat espanyol i de Catalunya.

Com es pot constatar, Catalunya té l'1% de la població del món, un 1,6% de la població europea i un 15,4% de la de l'Estat espanyol. Pel que fa a l'energia, Catalunya consumeix un 2,23% del consum d'energia primària del món, un 1,91% del consum d'energia final mundial i emet un 1,89% de les emissions de CO<sub>2</sub> del món. Respecte d'Europa, Catalunya consumeix un 1,6% del consum d'energia primària, un 1,4% del consum d'energia final i

emet un 1,45% de les emissions europees de CQ, causades pels combustibles fòssils. En comparació amb l'Estat espanyol, Catalunya consumeix un 18,57% del consum d'energia primària, un 16,9% del consum d'energia final i emet un 15,8% de les emissions espanyoles de CO, causades pels combustibles fòssils.

Taula 4.1. Comparació de magnituds bàsiques entre el món, la Unió Europea, l'Estat espanyol i Catalunya

	Món	UE	Espanya	Catalunya
Població, 2000	*10 <sup>6</sup> 6.080,00	*10 <sup>6</sup> 377,90	*10 <sup>6</sup> 39,50	*10 <sup>6</sup> 6,09
PIB, 2000	*10 <sup>9</sup> \$ 44.900,00	*10 <sup>9</sup> € 8.524,00	*10 <sup>9</sup> € 609,00	*10 <sup>9</sup> € 128,00
	(2001) MTEP	(2000) MTEP	(2000) MTEP	(2000) MTEP
<b>Consum d'energia primària (CEP)</b>	<b>10.165,03</b>	<b>1.453,00</b>	<b>122,57</b>	<b>22,76</b>
combustió de fòssils sòlids	2.341,64	212,40	20,64	0,27
petroli	3.732,38	586,90	63,21	11,59
gas natural	2.122,02	338,70	15,22	3,88
nuclear	691,90	222,80	16,00	5,99
renovables	1.093,50	86,60	6,90	0,62
hidràulica	221,50	27,64	2,50	0,39
vent	51,53	1,94	0,40	0,01
geotèrmia		3,34	0,00	0,00
solar		0,34	0,00	0,00
biomassa	820,47	53,34	4,00	0,22
altres	183,59	5,60	0,60	0,41
<b>Consum d'energia final (CEF)</b>	<b>(2001) MTEP</b>	<b>(2000) MTEP</b>	<b>(2000) MTEP</b>	<b>(2000) MTEP</b>
<b>Per combustible</b>	<b>6.994,61</b>	<b>952,20</b>	<b>79,30</b>	<b>13,39</b>
combustió de fòssils sòlids		37,30	1,70	0,08
petroli		435,20	45,80	7,48
gas natural		236,10	12,10	2,58
electricitat		191,60	16,20	3,10
calor lliurat		12,60	0,10	0,00
renovables		39,40	3,40	0,15
<b>Per sector</b>		<b>952,20</b>	<b>79,30</b>	<b>13,39</b>
indústria		271,70	25,40	4,49
domèstic/serveis		371,40	21,10	3,65
transport		309,10	32,80	5,25
carretera		252,30	26,10	
tren		7,70	0,80	
aire		43,80	4,50	
navegació interior		5,30	1,40	
<b>Eficiència del sistema energètic (CEF/CEP)</b>	<b>68,81%</b>	<b>65,53%</b>	<b>64,70%</b>	<b>58,83%</b>
Emissions CO <sub>2</sub>	*10 <sup>6</sup> t	*10 <sup>6</sup> t	*10 <sup>6</sup> t	*10 <sup>6</sup> t
total per CF (1999)	23.780,00	3.110,50	283,62	45,00
Per càpita	3,91 t	8,23 t	7,18 t	7,39 t
<b>Intensitat energètica</b>	<b>TEP/M\$</b>	<b>TEP/M€</b>	<b>TEP/M€</b>	<b>TEP/M€</b>
	226,39	170,46	201,26	178,05
<b>Intensitat en carboni</b>	<b>t CO<sub>2</sub>/TEP</b>	<b>t CO<sub>2</sub>/TEP</b>	<b>t CO<sub>2</sub>/TEP</b>	<b>t CO<sub>2</sub>/TEP</b>
	2,34	2,14	2,31	1,98

Font: Josep Puig a partir de «IEA Energy Statistics, EU Energy and Transport Figures. i del Pla Energètic de Catalunya a l'Horitzó de l'Any 2010.

Els sistema energètic català és menys eficient que la mitjana de les eficiències dels sistemes energètics mundial, europeu i espanyol, com es constata en fer el quocient entre el consum d'energia final (CEF) i el consum d'energia primària (CEP). L'economia catalana



genera un 2,85%<sub>0</sub> del PIB mundial, i la seva intensitat energètica és millor que la mitjana mundial i que la mitjana espanyola, però pitjor que la mitjana europea. L'economia catalana és menys intensiva en carboni que les economies mundials, europees i espanyoles, a causa del fort component nuclear del seu sistema elèctric.

#### *4.9.4. Les energies renovables a Catalunya*

Avui, les energies que tenen el seu origen en el Sol, representen una part molt reduïda del pastís energètic català. L'any 2000 representaven tan sols un 2,7% del consum d'energia primària i solament un 1% del consum d'energia final. És el fruit de polítiques practicades al llarg dels darrers decennis que no creien en la capacitat de les fonts d'energia netes i renovables per cobrir els serveis que demana una societat moderna, i que necessiten de l'energia per proveir-los.

Catalunya té capacitat tecnològica de primera línia pel que fa als sistemes necessaris per a l'aprofitament i la conversió de les fonts d'energia netes i renovables. El que manca és voluntat d'emprendre polítiques que afavoreixin el naixement de l'economia solar a Catalunya.

Arribar als objectius que la Unió Europea s'ha fixat, o que el mateix Estat espanyol es va imposar en el marc de la Llei del sector elèctric (generar amb renovables un 12% de l'energia primària l'any 2010) requereix un esforç concertat entre administració pública, teixit empresarial, sector financer i societat civil. Sense una gran complicitat entre aquests actors difícilment es podrà refer el sistema energètic vigent actualment, basat en un model ja caduc, però que es resisteix a desaparèixer a donar pas al nou model que va naixent, basat en l'eficiència i les energies renovables.

#### **4.10. Els sistemes energètics del segle XXI.**

El resultat de la batalla que avui es lliura entre un model energètic centralitzat, obsolet, ineficient, vulnerable, brut i no renovable, i el model energètic naixent, descentralitzat o distribuït, eficient, segur, net i renovable, configurarà els sistemes energètics del segle XXI. El repte que les societats modernes tenen davant seu és facilitar la consolidació del sistema energètic naixent, de manera que substitueixi progressivament, però de forma decidida, el sistema que hem heretat dels segles XIX i XX.

Sembla clar que el sistema energètic del segle XXI acabarà basant-se en les fonts d'energia renovable, captant-les de manera descentralitzada allà on es manifesten, per transformar-les i emprar-les in situ. Les noves xarxes d'aquests sistemes descentralitzats seran xarxes múltiples: d'electricitat, de calor, de fred, de gas natural biològic i/o fòssil, d'hidrogen, etc. També hi haurà diferents sistemes d'emmagatzematge, distribuïts per les xarxes, els quals actuaran d'acumuladors dels excedents, quan la captació de fonts renovables superi les necessitats, o de subministradors quan les necessitats siguin superiors al que proveeixen les fonts renovables. Seran unes xarxes, més en forma de teranyina, que no pas unes xarxes jerarquitzades piramidals, on cada node serà a la vegada generador d'energia i usuari dels serveis que l'energia proveeix. D'aquesta manera, les grans xarxes de transport que han connectat durant el segle XX les grans centrals de generació amb els centres de consum

allunyats d'elles, deixaran de tenir sentit, i seran substituïdes gradualment per xarxes més locals, interconnectades les unes amb les altres, no pas per dependre de l'energia de fora, sinó per intercanviar-la, o, com a mesura de seguretat, per fer front a qualsevol emergència (per exemple, les xarxes elèctriques en corrent altern locals estaran connectades les unes amb les altres amb xarxes de corrent continu, cosa que possibilitarà el que s'anomena desenfila de les xarxes actuals: menys xarxes, menys impactes i menys pèrdues per transport).

No només la generació d'energia es farà amb les tecnologies de generació disponibles més netes i més eficients, sinó que els usuaris finals dels serveis energètics empraran les tecnologies d'ús final més eficients que hi hagi al mercat.

Per exemplificar les oportunitats que se'ns presenten fem un petit exercici: vegem com es poden cobrir les necessitats de serveis elèctrics a tota la població del món, a partir que aquesta faci servir tecnologies d'ús final convencionals (a raó de 700 W/càpita) o en faci servir d'eficients (140 W/càpita). En el primer cas caldria generar 37.421 TWh/any, mentre que en el segon, només caldrien 7.484 TWh/any per cobrir exactament les mateixes necessitats. La situació real al món era que l'any 2001 es consumien 14.197 TWh (o 266 W/càpita), fet que obre un enorme potencial d'estalvi d'energia (o el que és el mateix, una enorme necessitat de fabricació d'artefactes basats en tecnologies d'ús final eficients, que en molts indrets del món ni tan sols es coneixen, i en altres parts, no es fan servir amb la intensitat que seria desitjable).

Generar les quantitats d'electricitat citades en el paràgraf anterior tindrà impactes ben diferents depenent de les tecnologies de generació que es facin servir. Fer-ho amb centrals tèrmiques de carbó convencionals (800 MW de potència unitària), o amb centrals tèrmiques de cicle combinat de gas (400 MW de potència unitària) o amb centrals tèrmiques nuclears (1.000 MW de potència unitària) repercutirà de forma diferent sobre la Terra i la seva biosfera. La taula 4.2 reflecteix el nombre de centrals termoelèctriques de combustibles fòssils o nuclears que farien falta per generar les quantitats d'energia necessàries per proveir la població del món amb serveis elèctrics, segons si els serveis fossin proveïts amb tecnologies d'ús final convencionals o eficients. Aquesta taula també dona les emissions anuals de CO<sub>2</sub> associades per cada tipus de central tèrmica de combustibles fòssils i la quantitat de combustible nuclear gastat i plutoni contingut en el combustible gastat, en el cas de les centrals nuclears.

Fer-ho amb fonts d'energia renovable, no tindria cap d'aquests inconvenients, ja que les emissions de CO<sub>2</sub> serien nul·les. I avui es pot fer, com ho demostren les centrals solars termoelèctriques del desert de Mojave, a Califòrnia, o els milers de MW instal·lats en parcs eòlics en nombroses zones del món. Fer-ho amb aquestes tecnologies voldria dir disposar de superfície suficient en indrets suficientment dotats de Sol i de vent. La potència necessària que s'ha d'instal·lar i les superfícies requerides, en un i altre cas, es donen a la taula 4.3.

Taula 4.2. Nombre d'unitats de generació, i emissions i residus que es produirien per generar l'electricitat necessària al món, segons la tecnologia d'ús final utilitzada (2001)

	Tecnologies d'ús final convencionals TWh/any	Tecnologies d'ús final eficients TWh/any	Tecnologies d'ús final real TWh/any
Electricitat que s'ha de generar (TWh/any)	37.421	7.484	14.197
<b>Central tèrmica de carbó (800 MW)</b>			
Nombre d'unitats necessàries	6.675	1.335	2.532
CO <sub>2</sub> emès (Mt)	33.080	6.616	12.550
<b>Central tèrmica de cicle combinat de gas (400 MW)</b>			
Nombre d'unitats necessàries	13.349	2.670	5.065
CO <sub>2</sub> emès (Mt)	12.910	2.582	4.898
<b>Centrals nuclears (1.000 MW)</b>			
Nombre d'unitats necessàries	5.340	1.068	2.026
Combustible gastat (t)	133.494	26.699	50.646
Plutoni (t)	1.068	214	405

Font: Josep Puig a partir de =IEA Energy Statistics — Energy Indicatorsn.

Taula 4.3. Potència solar o eòlica que cal instal·lar, ocupació superficial i emissions per generar l'electricitat necessària al món segons la tecnologia d'ús final utilitzada

	Tecnologies d'ús final convencionals TWh/any	Tecnologies d'ús final eficients TWh/any	Tecnologies d'ús final real TWh/any
Electricitat que s'ha de generar (TWh/any)	37.421	7.484	14.197
<b>Centrals solars</b>			
Potència que cal instal·lar (MW)	12.205.120	2.441.024	4.630.457
Superfície (km <sup>2</sup> )	235.559	47.112	89.112
Emissions CO <sub>2</sub> (tn)	0	0	0
<b>Parcs eòlics</b>			
Potència que cal instal·lar (MW)	14.239.307	2.847.861	5.402.199
Superfície (km <sup>2</sup> )	142.393	28.479	54.022
Emissions CO <sub>2</sub> (tn)	0	0	0

Font: Josep Puig a partir de IEA Energy Statistics - Energy Indicators=.

Per tenir algun punt de comparació quant a les superfícies esmentades a la taula 4.3, només cal saber que al món es destinen a diferents tipus de conreus les superfícies següents: 100.000 km<sup>2</sup> a cafè, 200.000 km<sup>2</sup> a patates, 550.000 km<sup>2</sup> a soja, 1.500.000 km<sup>2</sup> a arròs i 2.250.000 km<sup>2</sup> a blat.

Aquest exemple no vol ser pas un model del que s'hauria de fer, simplement és una quantificació que il·lustra les oportunitats que les societats humanes tenen davant seu. Capturar aquestes oportunitats i beneficiar-se'n serà, amb tota seguretat, el repte dels anys que han de venir. I aquelles societats que ho facin, ben segur que tindran molts avantatges respecte les que no siguin capaces de fer-ho.

Ben segur que el naixent sistema energètic descentralitzat, eficient, net i renovable no s'imposarà d'un dia per l'altre. Hi haurà un període de transició, més o menys llarg, depenent de la voluntat política que manifestin els que gestionen la cosa pública. I aquesta voluntat només es materialitzarà si la ciutadania exerceix activament les seves responsabilitats energètiques, en un marc on se li hagin reconegut els seus drets energètics bàsics.

En aquest període de transició es faran servir encara combustibles fòssils, però es farà amb la màxima eficiència possible (tecnologies descentralitzades de generació combinada d'electricitat, calor i/o fred) i amb els combustibles fòssils menys bruts (gas natural fòssil), mentre que s'aniran abandonant les grans centrals tèrmiques basades en carbó, petroli i nuclears.

Els drets energètics bàsics necessaris per consolidar un sistema energètic descentralitzat o distribuït, eficient, segur, net i renovable són:

- El dret a saber l'origen de l'energia que cadascú fa servir;
- El dret a saber els efectes ecològics i socials dels sistemes energètics que fan possible el subministrament d'energia a cada usuari final de serveis energètics;
- El dret a captar les fonts d'energia que es manifesten al lloc on es viu; El dret a generar la seva pròpia energia;
- El dret d'accés just a les xarxes;
- El dret a introduir a les xarxes l'energia generada in situ;
- El dret a una remuneració justa per l'energia introduïda a les xarxes.

Aquests drets han d'anar acompanyats d'un seguit de responsabilitats: La responsabilitat d'informar-se;

- La responsabilitat d'exigir informació;
- La responsabilitat de generar l'energia amb les tecnologies de generació més eficients i més netes disponibles i a l'abast;
- La responsabilitat d'emprar les tecnologies d'ús final de l'energia més eficients i a l'abast;
- La responsabilitat d'emprar l'energia generada amb sentit comú i evitant malbarataments de tota mena;
- La responsabilitat d'autolimitar-se en l'ús de qualsevol forma d'energia;
- La responsabilitat de ser solidari amb les societats més desfavorides pel que fa tant a la generació com a l'ús final de l'energia.

Garantir aquests drets hauria d'esdevenir una de les tasques a les quals els governs haurien de donar la prioritat més absoluta. Exercir aquestes responsabilitats hauria de ser considerat com el deure primordial de les persones responsables que vivim en un planeta on el Sol és la font d'energia de la qual depenem. Adequar els estils de vida als fluxos de l'energia solar (energia solar directa i les seves formes indirectes) és un aprenentatge que, com més aviat es vagi realitzant, menys costos de tota mena hauran de suportar els humans per poder anar vivint en les societats que han creat en el marc d'aquest bonic planeta que ens acull, ja que les societats humanes sempre han necessitat, necessiten i necessitaran energia per viure dignament en el planeta Terra.

## **Bibliografia**

DIVERSOS AUTORS. Energías renovables paratodos. Madrid: Energías Renovables, 2003.

AYRES, E.; SCARLOTT, CH. A. «Energy Sources: The Wealth of the World». Ar Library of Congress Catalog Card Number: 51-12558. Nova York: McGraw-Hill, 1972.

GASTEN, T. R.; COLLINS, M. J. «Optimizing Future Heat and Power Generation», WADE – World Alliance for Decentralized Energy, 2002.

FLAVIN, C.; LENSSEN, N. Power Surge:: Guide to the Coming Energy Revolution. Nova York i Londres: W.W.Norton & Co., 1994.

GRENON, M. The Nuclear Apple and the Solar Orange: Alternatives in World Energy. Oxford: Pergamon Press Ltd., 1981.

HUBBARD, A.; FONG, C. Communitat Energètica: A Guide to Building a Sustainable Economy. Snowmass, CO: Rocky Mountain Institute, 1995.

LOVINS, A. et al. Small is profitable. Snowmass, CO: Rocky Mountain Institute, 2003.

MORRIS, D. Self-Reliant Cities: Energy and the Transformation of Urban America. San Francisco. Sierra Club Books, 1982.

MORRIS, D. Be Your Own Power Company: Selling and Generating Electricity from Home and Small-Scale Systems. Emmaus, PA: Rodale Press, 1983.

MUMFORD, L. Técnica y civilización. Madrid: Alianza Editorial, 1982.

PATTERSON, W. Transforming Electricity: The Coming Generation of Change. Londres: Earthscan Publ. Ltd., 1999.

PUIG, J. «El ciclo del combustible nuclear».

A: CABRÉ, O. et al. Catalunya sota el perill de l'urani: l'informe CAMON-I, Barcelona: Edicions 62, 1981 (Llibres a l'abast, 165).

PUIG, J. «La mineria de l'urani i la fabricació de concentrats». A: CABRÉ, O. et al. Catalunya sota el perill de l'urani: 1 informe CAMON-I. Barcelona: Edicions 62, 1981 (Llibres a l'abast, 165).

PUIG, J. «La tecnologia nuclear: una fita en el camí cap al control de les comunitats». A: MEDINA, M. (ed.) Noves tecnologies: risc i alternatives. Barcelona: Publicacions de la Fundació Jaume Bofill – Edicions de la Magrana, 1986.

PUIG, J.; COROMINAS, J. La ruta de la energia. Barcelona: Editorial Anthropos, 1990.

PUIG, J. «L'energia a les ciutats: una reflexió i una guia d'acció». A: Papers de Sostenibilitat. Barcelona: 4 (desembre 2001), p. 1-39.

SCHEER, H. Estrategia solar Para el acuerdo pacifico con la naturaleza. Barcelona: Círculo de Lectores, 1993.

SCHEER, H. Economía solar global. estrategias para la modernidad ecológica. Barcelona: Galaxia Gutenberg/Círculo de Lectores, 2000.

#### Webs d'interès:

[www.antenna.nl/wise](http://www.antenna.nl/wise)  
[www.energiasostenible.org](http://www.energiasostenible.org)  
[www.localpower.org](http://www.localpower.org)  
[www.rmi.org](http://www.rmi.org)  
[www.ucs.org](http://www.ucs.org)  
[www.worldwatch.org](http://www.worldwatch.org)