

# ESTAT ACTUAL DE L'ENERGIA NUCLEAR

**Javier Dies i Francesc Puig**

*Departament de Física i Enginyeria Nuclear. Universitat Politècnica de Catalunya*

## La radioactivitat i l'enginyeria nuclear en el nostre entorn

**A** la vida quotidiana estem convivint amb la radioactivitat. Considerant tota la població del món, una persona, en valor mitjà, rep una quantitat de radioactivitat de 2,8 mSv per any. El sievert és la unitat del sistema internacional que es fa servir per a mesurar la dosi, és a dir, la quantitat de radiació que una persona rep. Determina la relació d'energia rebuda per unitat de massa. A la figura 1 es pot veure quin és l'origen d'aquesta radioactivitat.

Una part de la radioactivitat prové de la natura i una altra és artificial com a conseqüència de les activitats que desenvolupa la humanitat.

La radioactivitat natural es deu a:

1. Radiació còsmica. Quan anem pel carrer o estem a casa, estem sotmesos a la radiació còsmica. Aquesta té uns valors més alts en funció de l'altitud sobre el nivell del mar del lloc on estem vivint.
2. Radiació gamma o terrestre. Surt de terra a conseqüència de la desintegració dels isòtops naturals que conté la terra. El seu valor depèn de la composició geològica del terreny, zones granítiques, calcàries, etc.
3. Radiació interna. Surt del nostre propi cos a conseqüència de la desintegració dels isòtops naturals que té el nostre cos.
4. Radiació del radó i toró. Són dos gasos radioactius naturals que respirem habitualment. La seva con-

centració depèn dels materials amb què es construeixen els habitatges, la composició geològica del terreny i el nivell de ventilació de l'espai on estem. Com es veu al dibuix, és la contribució més important per a les persones.

La radiació artificial es deu a:

1. Aplicacions mèdiques. Utilització de les radiacions per radiodiagnòstic i per radioteràpia. Les més freqüents són les tècniques de radiodiagnòstic, radiografies, revisions amb aparells de raigs X, injecció d'isòtops radioactius a la sang per a diagnosticar, ressonàncies magnètiques nuclears, tomografia per emissió de positrons (PET). Aquelles persones que reben tractament per radioteràpia assolixen valors molt més alts (figura 2).
2. Altres aplicacions. Aquest apartat inclou les aplicacions industrials de les radiacions, aplicacions en recerca, producció d'energia nuclear, etc.

Les aplicacions mèdiques de les radiacions ionitzants cada cop són més importants a la nostra societat, tant en el camp del radiodiagnòstic com en radioteràpia, i estan contribuint a la millora de la qualitat de vida de moltes persones.

A Granollers (Barcelona) existeix un irradiador industrial per a esterilitzar material mèdic i farmacèutic (gases, benes, xeringues, fil de cosir, pinces, pomades, cosmètics). Cada setmana tones d'aquests materials són sotmesos a fortes irradiacions amb fotons gamma procedents d'una font de  $\text{Co}^{60}$  per tal d'ésser esterilitzats.

Les aplicacions industrials de les radiacions ionitzants són també significatives: assajos no destructius, mesures de gruixos de paper, pintures, recobriments, mesures de nivells de líquids, mesures de densitats en enginyeria civil, construccions d'autopistes, construccions de trens d'alta velocitat. Detectors d'incendis. Hi ha països que fan servir les radiacions ionitzants també per a conservar aliments com, per exemple, fruita i patates.

Al camp de la investigació existeixen nombrosos

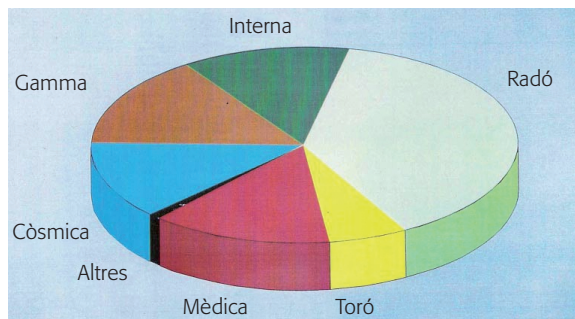


FIGURA 1. Dosi mitjana mundial provinent de les diferents fonts de radiació. Total 2,8 mSv/any. Les fonts de radiació artificial són: medicina i altres. Les fonts de radiació natural són: còsmica, gamma o terrestre, interna, radó i toró.



FIGURA 2. Les tècniques de radiodiagnòstic i radioteràpia ajuden a millorar la qualitat de vida de moltes persones.

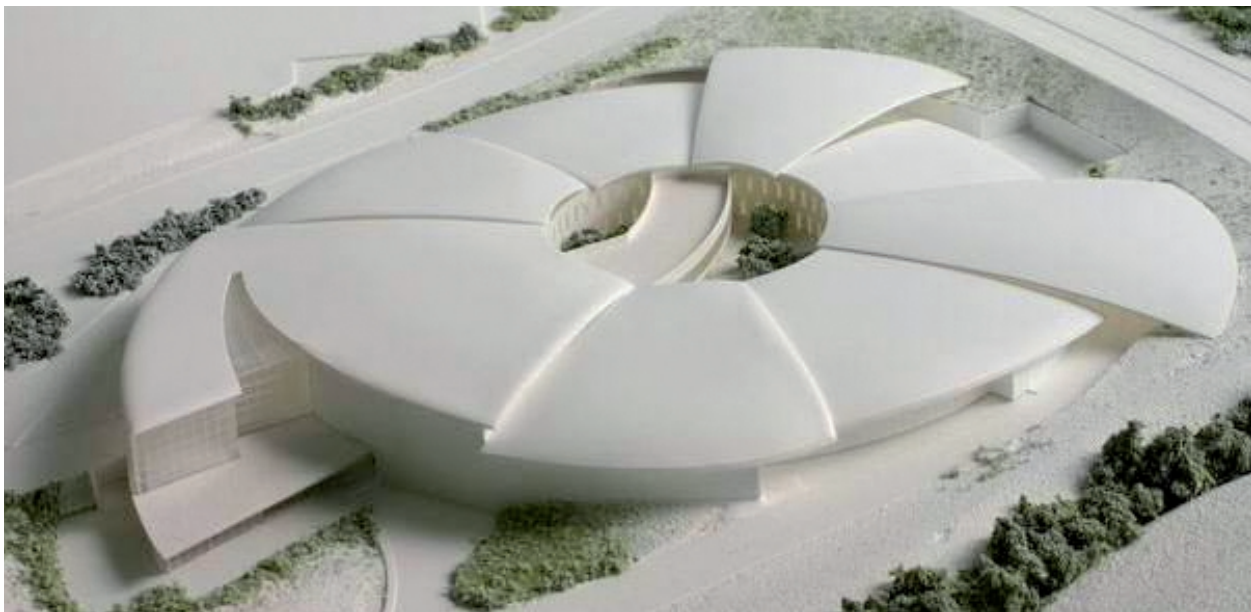


FIGURA 3. Sincrotró Alba, Cerdanyola (Barcelona). Gran instal·lació de recerca en procés de construcció.



aparells que fan servir les radiacions ionitzants en el seu funcionament, des d'aparells petits fins a grans instal·lacions. A Cerdanyola (Barcelona) s'està construint el sincrotró Alba, que serà un potent instrument de recerca per a diferents disciplines de la ciència.

L'energia nuclear des dels orígens dels temps ja es fa servir. El sol és un gran reactor natural de fusió termonuclear que dóna llum i calor a la Terra. L'home està intentant copiar de la natura, que és molt sàvia, i està desenvolupant un ambiciós programa de R+D en el camp de la fusió nuclear. El proper pas és la construcció del reactor de fusió ITER. Aquest projecte és el segon projecte internacional més gran del món després de l'Agència Internacional de l'Espai, amb un pressupost de 4.500 milions d'euros. Hi participen Xina, Rússia, Estats Units, Índia, Japó, Corea i Europa, països que representen més del 50 % de la població del món.

El 28 de juny de 2005 es va aprovar la construcció de l'ITER a Cadarache (França) i la instal·lació de l'Agència Europea de l'ITER a Barcelona, en concret al campus del Besòs.

A Catalunya des de fa més de trenta anys s'utilitza l'energia nuclear de fissió per a produir electricitat. Actualment el 50 % de l'electricitat és d'origen nuclear. Les persones que conviuen amb aquesta font d'energia han pogut comprovar que és segura, respectuosa amb el medi ambient i que genera progrés econòmic al seu entorn.

En la figura 5 es veu la central nuclear de Vandellòs II, que

té una potència de 1.087 MWe. A la foto s'observa com hi ha persones que es banyen i prenen el sol a pocs metres de la central nuclear. També és freqüent veure com pescadors de la zona van a pescar davant mateix de la central nuclear.

### Energia nuclear al món, a Europa, a Espanya i a Catalunya

Al món hi ha 440 centrals nuclears en operació, amb una potència instal·lada de 368.122 MWe. L'any 2004 van produir 2.686.000 milions de kWh, que representen el 17 % de l'energia elèctrica del món.

Durant els últims anys la Nuclear Regulatory Commission dels Estats Units (organisme equivalent al Consejo de Seguridad Nuclear a Espanya) ha renovat a les centrals nuclears les autoritzacions de funcionament per un període addicional de 20 anys, fet que incrementa l'autorització inicial fins a 60 anys en un total de 42 reactors nuclears. Es considera que durant els pròxims sis anys 27 reactors nuclears sol·licitaran aquesta renovació.

Actualment hi ha al món 28 centrals nuclears en construcció amb una potència de 24.000 MWe.

A l'Europa dels vint-i-cinc països hi ha 149 reactors nuclears amb una potència instal·lada de 132.840 MWe, que representa el 35 % de l'electricitat produïda.

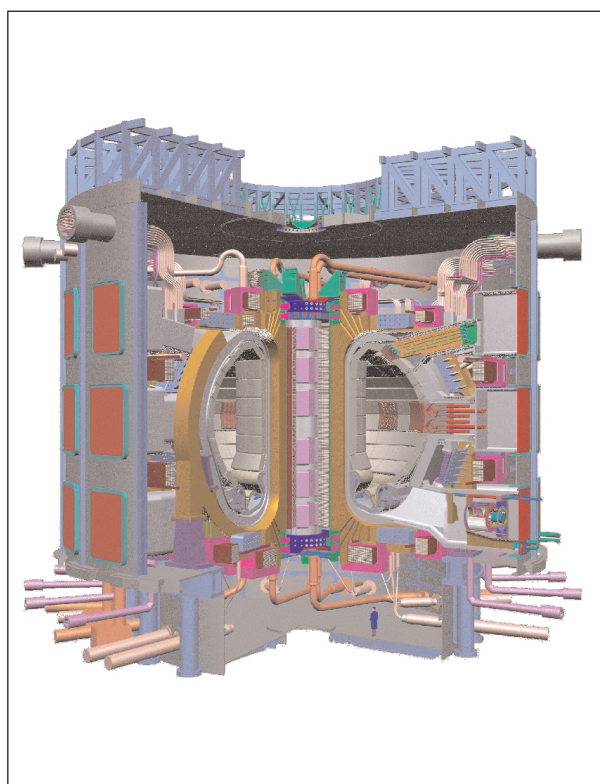
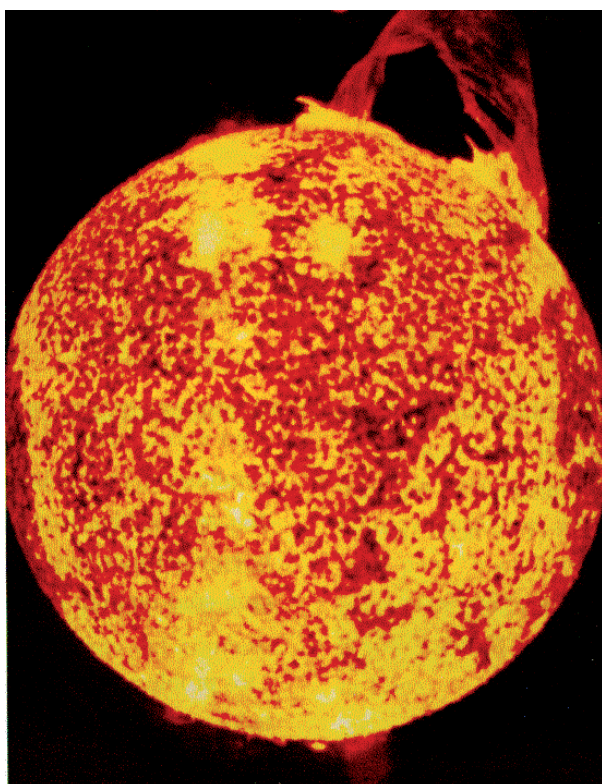


FIGURA 4. Esquerra: Reactor de fusió termonuclear natural, el sol. Dreta: Reactor de fusió termonuclear artificial ITER, de 500 MW de potència tèrmica, que serà construït a Cadarache (França).

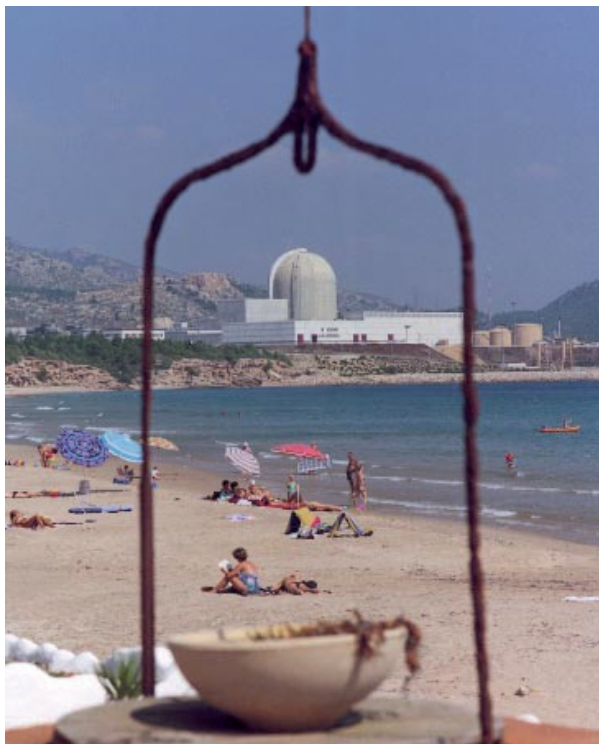


FIGURA 5. Persones prenent el sol i banyant-se a pocs metres de la central nuclear de Vandellòs II, de 1.087 MWe.

TAULA 1  
Centrals nuclears en construcció al món

País	Nombre d'unitats	Potència (MWe)
Argentina	1	692
Xina	2	2.000
Índia	9	4.092
Iran	1	915
Japó	3	3.237
Romania	1	655
Federació Russa	4	3.775
Taiwan	2	2.600
Ucraïna	2	1.900
Finlàndia	1	1.600
França	1	1.600

Finlàndia ha iniciat la construcció a Olkiluoto d'un reactor evolutiu d'aigua a pressió (EPR) que tindrà una potència de 1.600 MWe. França construirà un altre reactor EPR de 1.600 MWe a Flamanville. Aquest reactor introdueix millores a conseqüència de l'experiència adquirida durant aquests anys; per això se l'anomena evolutiu. Per exemple, fa una disminució del consum d'urani del 17%/MWh i una disminució en la producció d'actinis de vida llarga d'un 15%/MWh. El temps d'operació es considera que serà de 60 anys.

La potència elèctrica instal·lada a Espanya és de 71.954 MWe i produeix 266.316 GWh. Com es veu a la figura 6, la potència nuclear instal·lada a Espanya representa l'11 % de la potència elèctrica total; tot i això, la producció d'origen nuclear és el 23 % del consum total. Aquest fet dona seguretat en el subministrament de cara al consumidor, ajuda que el preu mitjà del quilowatt hora sigui més baix i per-

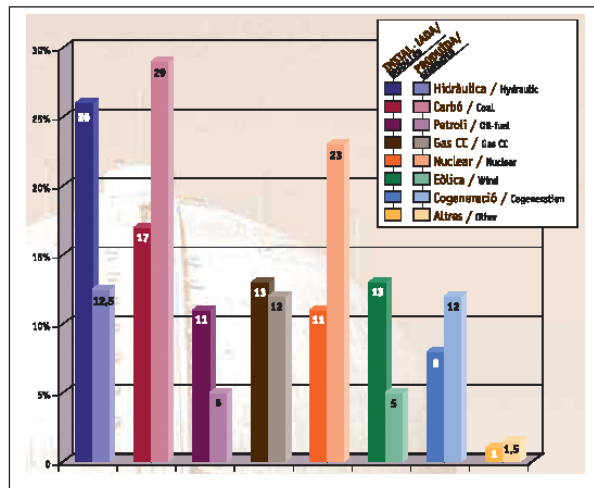


FIGURA 6. Comparació entre potència instal·lada i energia produïda a Espanya el 2004 (Asociación Nuclear, 2005).

met evitar l'emissió a l'atmosfera de 60 milions de tones de CO<sub>2</sub> cada any.

En la figura 6 s'observa com l'energia eòlica representa el 13 % de la potència instal·lada mentre que només produeix el 5 % de l'electricitat consumida. A més és una font d'energia que no es pot gestionar.

La contribució dels combustibles fòssils emissors de CO<sub>2</sub> és la més significativa: donat que és la suma de carbó, petroli, gas i cogeneració.

L'energia hidroelèctrica representa el 26 % de potència instal·lada i produeix el 12,5 % de l'electricitat consumida. Presenta l'avantatge que pot ésser utilitzada per a cobrir la demanda en hores punta. La seva contribució final al balanç energètic fluctua segons que sigui un any amb més o menys aigua.

L'energia és un bé estratègic la manca del qual en un determinat moment pot provocar la paràlisi d'un país. Un país sòlid ha de tenir un grau d'autonomia energètica suficient.

El Nadal del 2005 va ser un altre exemple de la poca autonomia energètica d'Europa. La crisi entre Rússia i Ucraïna relativa als preus del gas va encendre les alarmes a Europa.

La taula 2 presenta el grau d'autoabastiment d'energia primària a Espanya, que assoleix un valor del 21,1 % el 2004. És també preocupant observar l'evolució en el temps d'aquest percentatge. Si no es fa una modificació en l'estructura energètica del país, és a dir, en el mix d'energies a emprar, aquesta situació s'agreuja amb els anys.

La taula 3 presenta el mix energètic per a Espanya l'any 2004 amb relació al consum d'energia primària. S'observa que les dues fonts que tenen un pes major són el petroli i després el gas, ambdues amb un grau d'autoabastiment molt baix, 0,4 % i 1,3 %.

La capacitat d'emmagatzemament del gas a Espanya és molt petita; podríem dir que tenim una autonomia de pocs dies. Si per algun motiu no arriba subministrament de gas (mala mar, problemes polítics amb els països subministradors, altres països consumidors paguen més pel



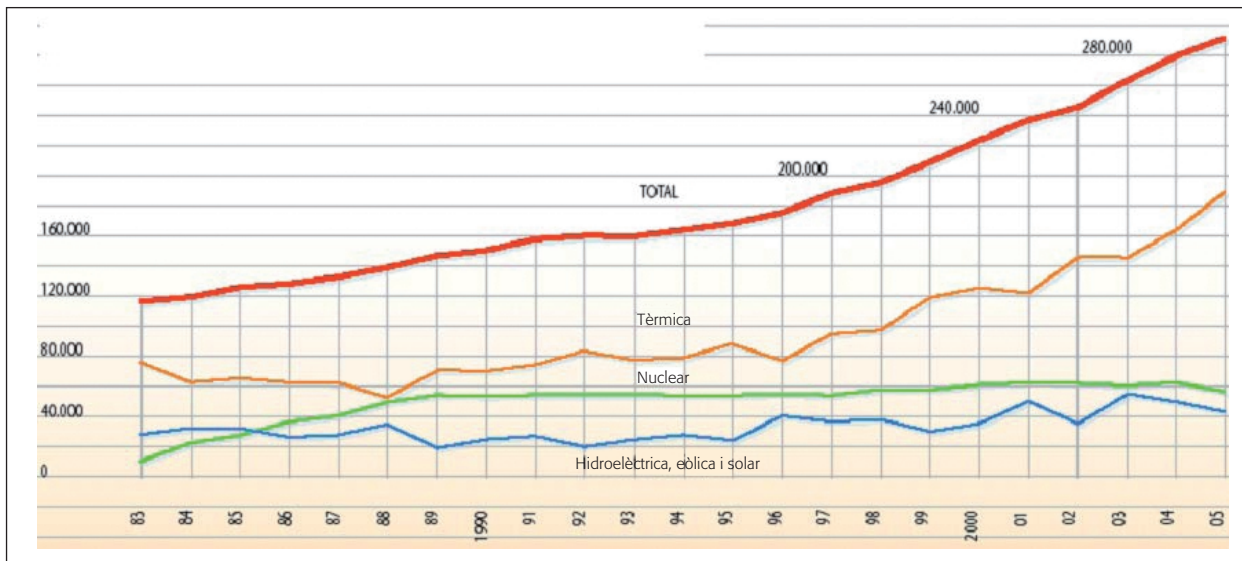


FIGURA 7. Evolució de la producció d'energia elèctrica d'Espanya en milions de quilowatt hora (UNESA, 2006).

TAULA 2  
Grau d'autoabastiment energètic a Espanya, expressat en percentatge

	Carbó	Petroli	Gas	Renovables	Nuclear	Total
1980	77,6	3,5	2,0	100	100	34,4
1990	62,3	1,7	0,3	100	100	36,9
2000	38,6	0,3	1	100	100	23,3
2003	34,9	0,5	0,9	100	100	22,1
2004	32,9	0,4	1,3	100	100	21,1

FONT: Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energètica 2004-2012, MINECO.

TAULA 3  
Consum d'energia primària a Espanya el 2004

Petroli	Gas	Carbó	Nuclear	Hidràulica (1)	Saldo (2)
51,4 %	17,8 %	16,0 %	12,0 %	2,9 %	-0,2 %

1) Inclou l'eòlica. 2) Saldo d'intercanvis internacionals d'electricitat. Referència: Direcció General de Política Energètica, Ministeri d'Indústria (González, 2005).

gas o tenen més força), en pocs dies ens hem quedat sense gas i s'han de produir talls en el subministrament als consumidors de gas i problemes amb l'electricitat.

De vegades es fa referència a l'estalvi energètic i a la millora de l'eficiència en els processos que consumeixen energia, i això són bones accions que cal anar fent. Però la realitat és que el consum d'energia està lligat al progrés econòmic i a la millora de la qualitat de vida. Podem veure com, quan l'economia d'un país creix, creix també el consum d'energia elèctrica (figura 7).

Cal vetllar perquè en tot moment existeixi energia suficient per a atendre la demanda i amb el marge suficient per a donar seguretat al subministrament. No és convenient que existeixin activitats que no es puguin realitzar per manca d'energia globalment a un país o en una determinada zona. La manca d'energia no ha de ser un fre al desenvolupament econòmic.

Durant el mes de març de 2005 hi va haver un dia en què la demanda d'energia elèctrica a Espanya va ser superior a l'energia disponible en uns 3.000 MW. En conseqüència, es va haver de tallar el subministrament corresponent a 3.000 MW. Per a il·lustrar la magnitud d'aquest tall de subministrament cal indicar que això equival a deixar el 50 % de Catalunya sense energia elèctrica.

La potència elèctrica instal·lada a Catalunya és de 9.910 MWE i l'any 2004 va produir 48.464 GWh. Aquest valor representa el 95 % de l'energia elèctrica consumida a Catalunya.

En la figura 8 es veu l'estructura energètica a Catalunya, amb indicació de la potència instal·lada i l'energia generada per cada font d'energia.

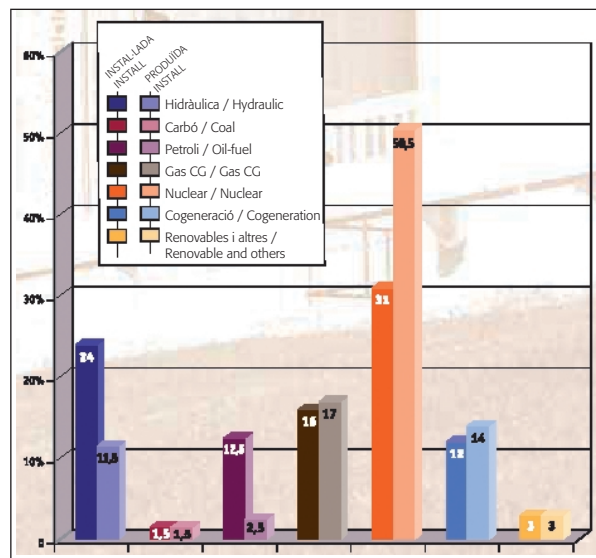


FIGURA 8. Comparació entre potència instal·lada i energia produïda a Catalunya el 2004 (Asociación Nuclear, 2005).

Les tres centrals nuclears catalanes, Ascó I (1.032 MWe), Ascó II (1.027 MWe) i Vandellòs II (1.087 MWe), representen el 31 % de la potència elèctrica instal·lada i van subministrar el 2004 el 50 % de l'energia elèctrica produïda a Catalunya. Això vol dir que a Catalunya 5 de cada 10 ordinadors funcionen amb energia nuclear, 5 de cada 10 fluorescents funcionen amb energia nuclear, 5 de cada 10 tramvies funcionen amb energia nuclear, 5 de cada 10 mòbils funcionen amb energia nuclear.

Si no es fa un canvi en l'evolució del *mix* energètic a Catalunya, donat que la potència nuclear es manté constant i la demanda es va incrementant, el percentatge d'energia elèctrica produïda per aquesta font anirà disminuint.

Comparant les figures 6 i 8 s'observa que a Catalunya el pes dels combustibles fòssils en la producció d'energia elèctrica és clarament inferior que a la resta d'Espanya. Això, entre altres efectes, fa que les emissions al medi ambient (CO<sub>2</sub>, sofre, NO<sub>x</sub>) siguin més baixes; i, per tant, tenim un aire més net i estem més alineats amb les directrius de Kyoto.

## Impacte ambiental de l'energia nuclear

Per a analitzar l'impacte ambiental d'una font d'energia és bo començar per considerar la quantitat de combustible que consumeix. Per a fer una comparació es consideren cinc centrals elèctriques, totes amb una potència elèctrica de 1.000 MWe i que funcionen contínuament tot l'any i, per tant, generen 8.760.000 MWh d'electricitat.

La figura 9 compara el combustible consumit, i contrasta el cas de combustibles fòssils (carbó, petroli i gas) que necessiten al voltant de 2 milions de tones de combustible l'any enfront de l'urani, de què només es necessiten 24 tones. Per tant, consumeix cent mil vegades menys de combustible. Aquest fet té moltes implicacions; per exemple, els problemes de transport i emmagatzemament de 2

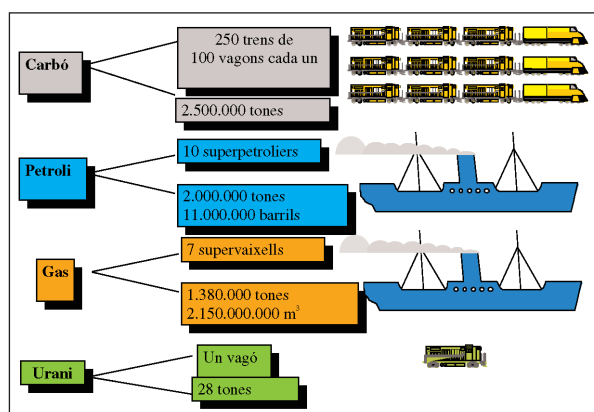


FIGURA 9. Comparació del consum de combustible de cinc centrals elèctriques, totes amb una potència elèctrica de 1.000 MWe i que funcionen contínuament tot l'any i, per tant, generen 8.760.000 MWh d'electricitat.

milions de tones l'any no són els mateixos que el de 24 tones l'any.

Per aquest motiu l'energia nuclear contribueix a la seguretat del subministrament donat que és molt senzill emmagatzemar l'urani d'un vagó de tren enfront de deu supervaixells de gas.

Les cendres d'aquestes fonts d'energia seran proporcionals a les quantitats de combustibles emprats per aquestes fonts. Les cendres de cremar milions de tones no són el mateix que les «cendres» de «cremar» 24 tones d'urani.

La taula 4 presenta les emissions anuals per aquestes cinc centrals elèctriques quant a CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> i partícules.

S'observa que les emissions de CO<sub>2</sub> d'una central nuclear són nul·les, i per aquest motiu les centrals nuclears que hi ha al món estalvien alliberar al medi ambient 550 milions de tones de CO<sub>2</sub>, cosa que és equivalent a les emissions del 100 % del parc automobilístic d'Europa.

Les centrals nuclears en funcionament a Espanya eviten emetre 60 milions de tones l'any de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera, cosa que equival al 75 % del parc automobilístic d'Espanya.

TAULA 4  
Comparació del consum de combustible i emissions de cinc centrals elèctriques, totes amb una potència elèctrica de 1.000 MWe i que funcionen contínuament tot l'any i que, per tant, generen 8.760.000 MWh d'electricitat.  
Es dona el rang de variació i en negreta un valor mitjà per a Espanya

Tipus de central	Carbó	Fuel / Gas	Gas natural Cicle combinat	Total tèrmica convencional	Nuclear
Consum de combustible	3,0 – 3,36 Mt	2,05 Mt	2.100 – 2.270 Mm <sup>3</sup>	–	24,2 t
CO <sub>2</sub>	7,67 Mt – 10,4 Mt <b>8,7 Mt</b>	4,7 Mt – 7,05 Mt <b>6,59 Mt</b>	3,2Mt – 4,2Mt <b>3,07 Mt</b>	<b>7,88 Mt</b>	<b>0</b>
SO <sub>2</sub>	33.280 t – 243.528 t <b>120.500 t</b>	91.000 t <b>27.156 t</b>	2.500 t – 3.390 t <b>61,32 t</b>	<b>93.732 t</b>	<b>0</b>
NO <sub>2</sub>	8.516 t – 53.492 t <b>29.346 t</b>	2.715 t – 24.503 t <b>11.651 t</b>	21.200 t – 28.000 t <b>10.512 t</b>	<b>24.528 t</b>	<b>0</b>
Partícules	1.752 t – 8.000 t <b>4.500 t</b>	1.650 t <b>876 t</b>	– <b>175,2 t</b>	<b>3.504 t</b>	<b>0</b>

FONT: Dies et al., 2004.



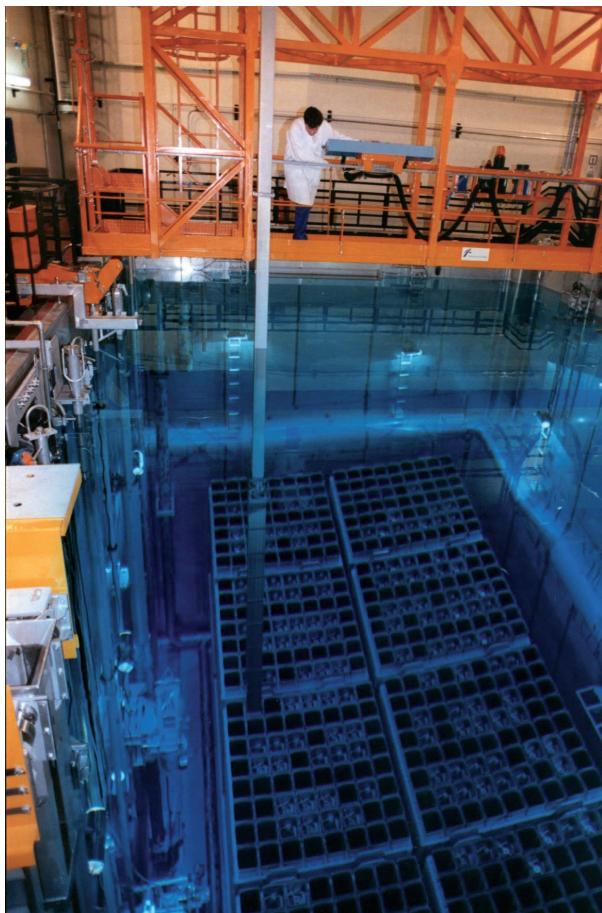


FIGURA 10. Piscina de combustible d'una central nuclear. S'hi emmagatzema el combustible gastat, i hi pot caber el corresponent a quaranta anys de funcionament de la central.

A Catalunya les centrals nuclears eviten emetre 25 milions de tones de CO<sub>2</sub>, cosa que equival al 31 % del parc automobilístic d'Espanya.

Aquestes dades posen de manifest que les centrals nuclears ara per ara són imprescindibles per a complir amb els acords de Kyoto.

Segons un informe de Price Waterhouse Coopers, a Espanya hi ha un excés d'emissions de CO<sub>2</sub> de 123 milions de t/any. Si es considera un cost entre 15 i 30 €/t, vol dir que el cost d'aquestes emissions oscil·la entre 1.800 i 3.600 milions €/any.

Per un període de vuit anys el cost de les emissions de CO<sub>2</sub> està entre 14.400 i 28.800 milions d'euros. Aquest import equival a: 2 cops el Fons de Cohesió de la Unió Europea rebut per Espanya el 2003; o 1,5 vegades el pressupost del Ministeri de Medi Ambient el 2003; o 1,5 vegades el pressupost dedicat a R+D el 2003.

A la vista d'aquestes dades potser seria convenient plantejar-se fer un programa de construcció de centrals nuclears per a doblar l'energia nuclear produïda a Espanya i així evitar que s'emetin 60 milions de tones més de CO<sub>2</sub> a l'any.

La taula 4 també evidencia que l'aire entorn d'una cen-

tral nuclear és més net que entorn d'una central de combustibles fòssils, donat que no emet SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ni partícules.

Una central de cycle combinat amb gas natural emet 175,2 tones/any de partícules, 61,32 tones/any de SO<sub>2</sub> i 10.512 tones/any de NO<sub>2</sub>.

Les centrals nuclears generen residus radioactius; els de mitjana i baixa activitat són retirats per ENRESA, Empresa Nacional de Residus, SA, en bidons degudament condicionats per al seu emmagatzematge a l'emplaçament d'El Cabril. Els residus d'alta activitat són els elements de combustible gastats que s'emmagatzemen actualment en una piscina adient situada a cada central. El pes del combustible gastat pràcticament coincideix amb el pes de combustible nou. Es fissiona l'urani 235, que és aproximadament el 4,5 % de l'urani total del combustible. Segons la taula 4, anualment caldrà gestionar 24,2 tones de combustible gastat per una central nuclear. Per tant, el combustible gastat corresponent a quaranta anys d'operació d'una central nuclear ocupa un volum aproximat menor que mitja piscina olímpica.

La tendència internacional és construir magatzems centralitzats de combustible gastat o magatzems geològics profunds. També es considera la possibilitat en un futur de reciclar el combustible utilitzant la resta de material no utilitzat.

Com es pot veure, les implicacions derivades de la figura 9, relativa als volums de combustible emprat per cada tipus de central, són importants. En aquest sentit es pot afegir una altra reflexió: què té més risc per al medi ambient, la utilització del petroli o l'energia nuclear?

Recentment hem vist l'impacte ambiental del vessament al mar generat pel petrolier *Prestige*. Aquest no és un

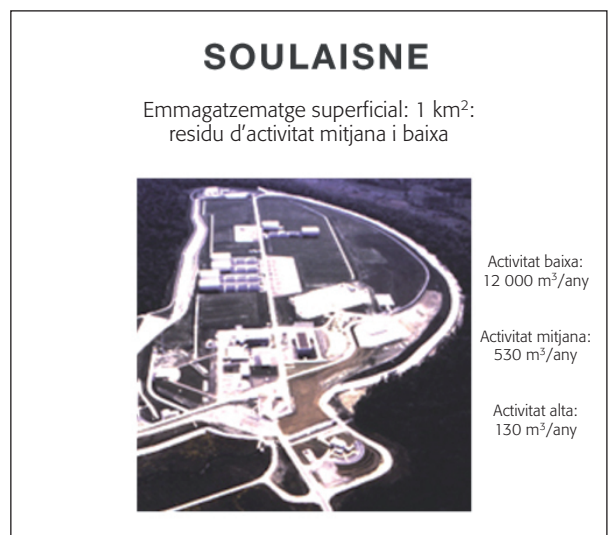


FIGURA 11. Gestió dels residus nuclears a França. Emplaçament de Soulaïsne, emmagatzematge en superfície: 1 km<sup>2</sup>, per a residus d'activitat mitjana i baixa. Les dades il·lustren els metres cúbics de residus generats a l'any per les 58 centrals nuclears, que tenen una potència de 62.850 MWe i generen el 78 % de l'electricitat de França (Chambrú, 2005).

accident aïllat; és conseqüència que es transporten volums molt grans de petroli i és una qüestió de probabilitats el fet de tenir un accident.

A Espanya el consum de petroli és de 100 milions de tones l'any.

Es podrien repassar els vessaments al mar de petroli de 1967 a 2002:

— *Torrey Canyon*, 1967, Illes Britàniques, vessament de 130.000 t.

— *Polycomander*, 1970, Galícia, vessament de 13.000 t.

— *Urquiola*, 1976, port de La Corunya, vessament de 20.000 t.

— *Amoco Cadiz*, 1978, costa de Bretanya, vessament de 234.000 t.

— *Mar Egeo*, 1992, port de La Corunya, vessament de 71.000 t.

— *Erika*, 1999, Finistère francès, vessament de 10.000 t.

— *Prestige*, 2002, vessament de 77.000 t.

Sense fer un estudi massa rigorós podríem dir que aproximadament cada deu anys hi ha un vessament significatiu de petroli al mar.

No sembla que les centrals nuclears espanyoles o catalanes tinguin un historial de contaminacions semblants ni de lluny.

A la nostra societat cada cop més es considera l'impacte visual d'una infraestructura. La taula 5 compara tres centrals elèctriques que produeixen la mateixa energia, amb una potència aproximada de 1.000 MWe. Una relació de 4 km<sup>2</sup> enfront de 150 km<sup>2</sup> justifica per què en molts llocs no s'accepta instal·lar una central eòlica.

Una de les fonts de riquesa de Catalunya és precisament el turisme. Cal tenir cura del territori, donat el fort impacte visual que tenen algunes energies renovables.

TAULA 5  
Impacte visual de tres centrals elèctriques que produeixen la mateixa energia

	km <sup>2</sup> de superfície
Central nuclear	1 a 4
Central solar	20 a 50
Central eòlica	50 a 150

La figura 12 pot servir per a il·lustrar l'impacte visual en un cas concret. Es tracta d'un fotomuntatge corresponent a l'emplaçament d'Olkiluoto (Finlàndia), on estan funcionant dos reactors nuclears tipus BWR de 840 MWe de potència cada un, i on s'està construint un tercer reactor nuclear tipus EPR de 1.600 MWe.

Olkiluoto (Finlàndia) tindrà una potència total de 3.280 MWe i generarà uns 24.000.000 MWh d'energia elèctrica a l'any. Aquesta quantitat d'energia és aproximadament el doble de l'energia elèctrica d'origen eòlic generada a tot Espanya durant l'any 2004. La diferència d'espai ocupat és molt diferent, tal com indica la taula 5.



FIGURA 12. Fotomuntatge. Olkiluoto (Finlàndia). Dues centrals nuclears en operació, 2 x 840 MWe, al costat d'una tercera en construcció, EPR-1600 MWe. Aquest emplaçament tindrà una potència de 3.280 MWe i generarà uns 24.000.000 MWh d'energia elèctrica a l'any, el doble de l'energia eòlica generada en tot Espanya el 2004.

### Costos de l'energia nuclear

En la major part de les activitats industrials i de serveis es necessita l'energia; el seu preu incideix en el preu final dels productes o serveis. En aquest sentit és molt saludable per a l'economia d'un país aconseguir tenir preus baixos de l'energia; d'aquesta manera aquell país serà més competitiu.

És millor contribuir que un país sigui competitiu aconseguint costos de l'energia baixos, que no pas mantenint la mà d'obra barata.

Actualment a Catalunya estan proliferant les deslocalitzacions d'empreses. Un increment del preu de l'energia intensificarà les deslocalitzacions i farà menys competitives les nostres indústries i serveis.

Podem recordar les mobilitzacions dels pescadors, indicant que no poden competir amb els pescadors francesos, perquè els pescadors catalans tenen preus del combustible més car.

Finlàndia, un país europeu modern i democràtic, ha iniciat la construcció d'una nova central nuclear de 1.600 MWe, bàsicament impulsada pel sector industrial, en concret per la indústria del paper. Si el preu de l'energia a Finlàndia creixia molt més que als països competidors, la indústria del paper hauria de tancar.

La figura 13 presenta el resultat de l'estudi de preus realitzat a Finlàndia pel professor R. Tarjanne i actualitzat a data 18 de juny de 2005. Considera els costos de combustible, operació i manteniment, capital i emissions de CO<sub>2</sub>. Com es veu a la figura 13, l'energia nuclear és la més barata, amb un cost total de 23,7 €/MWh. A continuació, un 73 % més cara que la nuclear, ve el gas, a 41,0 €/MWh. Donat que des de juny del 2005 fins ara el preu del petroli i del gas han pujat molt, aquesta diferència entre el gas i la nuclear és actualment més important.

En la mesura que a un país en el mix energètic s'incrementi la presència d'energies cares (solar, eòlica i gas) enfront de les energies més barates, per exemple, la nuclear, el preu mitjà del quilowatt hora anirà pujant.

La taula 6 és el resultat d'un estudi fet per NUS Consul-



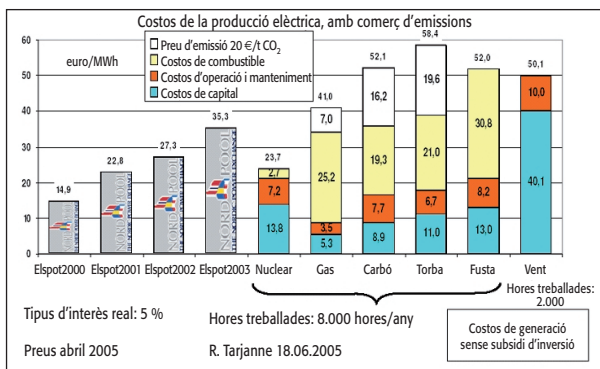


FIGURA 13. Resultat de l'estudi de preus realitzat a Finlàndia pel professor R. Tarjanne, actualitzat a data 18 de juny de 2005. Considera els costos de combustibles, operació i manteniment, capital i emissions de CO<sub>2</sub> (Salomaa, 2005).

ting a l'abril de 2005, on estan ordenats els països en funció del preu del quilowatt hora. Els països on el preu és més alt són: Itàlia, amb un preu de 0,0949 €/kWh, i Dinamarca, amb un preu de 0,0792 €/kWh. En ambdós països el percentatge d'energia nuclear és 0 %. Resultat que ratifica els estudis de la figura 13.

La taula 6 també indica el percentatge d'increment de preus del quilowatt hora en el període 2004/2003. Per al cas d'Itàlia ha estat un 6,8 % i per al cas de Dinamarca un 16,4 %.

La situació d'Itàlia i Dinamarca, quant al preu del quilowatt hora i del seu increment, contrasta clarament amb la de França, que té un dels preus més baixos d'Europa, 0,0522 €/kWh, i un increment de preus del 0 %. Segurament a conseqüència que el 78 % de l'energia elèctrica és d'origen nuclear.

Però totes aquestes reflexions sobre els costos de l'energia s'han emfatitzat durant els últims mesos, cosa que ha fet encara més atractiu el preu de l'energia nuclear, do-

TAULA 6  
Cost del quilowatt hora elèctric per països.  
Ordenats de més car a més barat

Posició	País	Preu (€/kWh)	Evolució (2004/2003) (%)	Energia nuclear (%)
1	Itàlia	0,0949	+6,8	0
2	Dinamarca	0,0792	+16,4	0
3	Alemanya	0,0791	+5,5	31
4	Bèlgica	0,0759	+7,5	55
5	Països Baixos	0,0712	+7,4	4
6	Espanya	0,0672	+3	23
7	Regne Unit	0,0651	+24,2	19
9	França	0,0522	0	78
10	Finlàndia	0,0468	+0,7	27
12	Suècia	0,0421	+4,3	52
8	EUA	0,0613	+5,2	20
11	Austràlia	0,0427	+6,2	0
13	Canadà	0,041	+1,2	15
14	Sud-àfrica	0,03	+2,9	6

Font: NUS Consulting, abril 2005. El bloc superior de color groc correspon a països europeus (Chambru, 2005).

nat el fort increment del preu del petroli, que també arrossega el preu del gas, així com les perspectives d'increments addicionals en el futur.

En els últims mesos s'han encès les alarmes a molts països del món a conseqüència del fort increment del preu del petroli. En la figura 14 es veu l'evolució del preu del petroli. Aquests dies s'ha assolit el rècord històric de 74,79 \$/barril, però amb la gran amenaça que en un futur no llunyà encara pot continuar pujant.

Seria convenient poder tenir actualitzades la figura 13 i la taula 6 amb les dades del preu del petroli actual, per exemple, les del dia 21-4-2006.

Una tasca important del comissari europeu d'Economia, del ministre d'Economia d'Espanya i del conseller d'Economia de la Generalitat de Catalunya és realitzar una política que mantingui la inflació baixa, per exemple, per sota del 3 % anual. És realment impossible que aquests tres polítics o institucions, siguin del color polític que siguin, puguin assolir aquest objectiu si no s'actua amb energia i es respecten les propostes que presenta el sector elèctric de construir noves centrals nuclears a Espanya.

Recordem que a Espanya existeix un mercat elèctric liberalitzat, i les empreses elèctriques són conscients dels avantatges i inconvenients de les diferents fonts d'energia. Però les empreses no faran inversions en instal·lacions si el govern no hi està d'acord. Les empreses necessiten poder invertir amb la garantia d'un retorn de la inversió.

### Ampliació de la utilització de l'energia nuclear. Hidrogen i aigua

Fins ara, a molts llocs com, per exemple, Catalunya, l'energia nuclear s'ha utilitzat per a produir electricitat. Donada la conjuntura energètica internacional, les tendències de futur s'orienten a ampliar el seu ús a altres camps: produc-

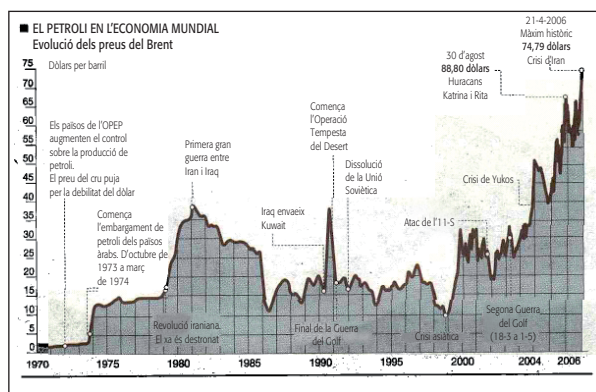


FIGURA 14. Evolució dels preus del petroli en els últims trenta-sis anys. Rècord històric de 74,79 \$/barril el dia 21 d'abril de 2006, i amb la perspectiva de continuar creixent.

Font: Analistes Financers Internacionals i Administració d'Informació Energètica dels EUA, Middle East Economic Survey (MEES), Bloomberg (publicat a El País).



FIGURA 15. Països que han signat el tractat de cooperació per a desenvolupar els reactors nuclears de quarta generació.

ció d'aigua dolça i producció de combustibles per a transport.

### Producció d'aigua dolça

Un altre dels problemes que pateix la nostra societat és la manca d'aigua dolça. Com va exposar l'expresident de l'URSS M. Gorbatxov a la seva conferència a Barcelona en el marc del Fòrum de les Cultures el 2004, «el problema de l'aigua es transforma en un problema d'energia, en què l'energia nuclear té un paper clau».

L'experiència adquirida amb la central tèrmica de Carboneras (Almeria) i la planta dessaladora de Carboneras (osmosi inversa), de 500 MW i 40 Hm<sup>3</sup>/any (en aquests moments la més gran d'Europa), posa de manifest la magnitud del problema.

El Pla Hidrològic Nacional tenia previst el transvasament de 1.050 Hm<sup>3</sup>/any, projecte cancel·lat per l'actual Govern d'Espanya. Si el volum d'aigua previst en el transvasament s'ha d'obtenir amb plantes dessaladores, l'experiència de Carboneras ens indica que serien necessàries 25 centrals similars a la de Carboneras, és a dir, 12.500 MW (Leira, 2005).

Si no es vol fer un increment massiu de les emissions de CO<sub>2</sub> i, per tant, incrementar l'incompliment dels acords de Kyoto, i es vol un cost baix de l'energia, cal que l'energia nuclear contribueixi a subministrar aquest increment de demanda d'energia.

### Producció d'un nou combustible per als cotxes: hidrogen

Com hem vist a la taula 3, l'any 2004 el 51,4 % de l'energia primària consumida a Espanya era petroli, majoritàriament dedicat al transport. A la mateixa taula es veu com l'energia nuclear representa el 12 % de l'energia primària, i tota es dedica a la producció d'electricitat.

Donada la situació internacional amb relació a l'evolució dels preus del petroli, hi ha un plantejament decidit per a trencar l'addicció al petroli. Un primer pas que des de fa anys s'està realitzant és procurar no utilitzar el petroli per a produir electricitat i un segon pas és disminuir el consum del petroli com a combustible per al transport.

Una de les alternatives que s'està impulsant a escala internacional és emprar l'hidrogen com a combustible per al transport.

Per a produir hidrogen es necessita energia, però es poden fer servir diferents fonts d'energia per a produir-lo. Quan l'hidrogen estigui introduït suficientment, ja no serà imprescindible emprar el petroli per al transport.

En aquest sentit s'ha signat un tractat de cooperació entre Estats Units, Regne Unit, Suïssa, Corea del Sud, Sud-àfrica, Japó, França, Canadà, Brasil i Argentina, per a impulsar el desenvolupament de reactors nuclears anomenats de quarta generació. Aquests reactors s'hauran de començar a construir entorn de l'any 2030. S'estan desenvolupant sis prototipus de reactors nuclears de quarta generació.

Els reactors nuclears de quarta generació incorporaran notables avantatges respecte dels reactors de tercera generació, però un dels seus nous objectius és l'orientació del seu disseny per a cogenerar hidrogen i electricitat.

La figura 16 presenta el reactor de quarta generació anomenat *reactor de molt alta temperatura*.

A conseqüència d'aquest ambiciós programa, per exemple, França ha anunciat que ha iniciat el projecte per a desenvolupar reactors de quarta generació amb l'objectiu que entorn del 2030 pugui construir el primer en el seu territori.

El programa de desenvolupament dels reactors de quarta generació per a produir hidrogen com a combustible per al transport fa preveure una ampliació important del paper de l'energia nuclear en el món.

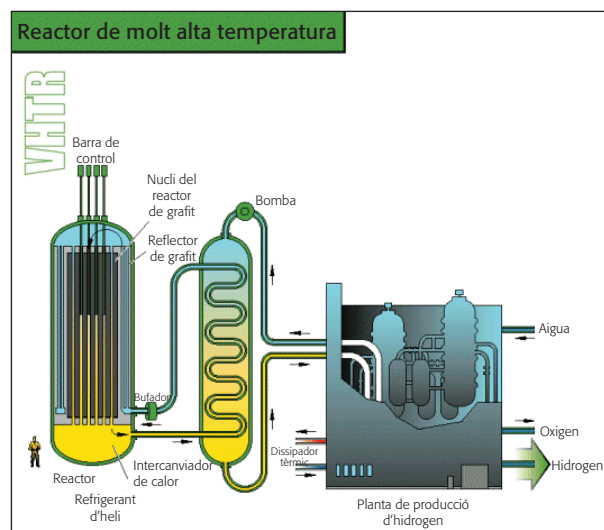


FIGURA 16. Reactor de generació quarta. Reactor de molt alta temperatura, orientat a la cogeneració d'electricitat i hidrogen.



### On es poden construir les noves centrals nuclears que necessita la nostra societat?

La taula 7 permet fer una ràpida comparació de la utilització de l'energia nuclear entre França i Espanya. Recull les dades de població, superfície, producte interior brut, potència elèctrica, nombre de centrals nuclears funcionant, potència elèctrica instal·lada amb centrals nuclears, energia elèctrica produïda d'origen nuclear.

Amb aquestes dades és sorprenent constatar com, en dos països veïns aparentment no tan diferents, l'un té 58 centrals nuclears i l'altre només 8.

TAULA 7  
Comparació de la utilització de l'energia nuclear a França i Espanya

	Any	França	Espanya
Població (habitants)	2005	63.213.894	44.108.530
Superfície (km <sup>2</sup> )		675.417	505.811
PIB (milions \$)	2005	1.811.561	838.672
PIB per càpita (\$)	2005	29.203	24.803
Centrals nuclears (unitats)	2006	58	8
Potència elèctrica nuclear (MWe)	2006	62.850	7.736
Electricitat produïda amb nuclears (MWh)	2004	427.000.000	61.253.000
Contribució de l'energia nuclear en la producció d'electricitat (%)	2004	78	23

Com es pot veure a la figura 17, les 58 centrals nuclears franceses han estat construïdes en 20 emplaçaments, de tal manera que en un emplaçament hi ha més d'una central nuclear. En concret a França hi ha un emplaçament amb sis centrals nuclears i vuit emplaçaments amb quatre centrals nuclears.

La figura 18 mostra un exemple d'un emplaçament amb quatre centrals nuclears; correspon a Dampierre-en-Burly (França), on hi ha quatre centrals nuclears del tipus PWR de 900 MWe cada una. Per tant, amb una potència instal·lada de 3.600 MWe.

Si es fa extensiva aquesta observació als diferents països del món que tenen centrals nuclears, es constatarà aquest fet: es construeixen les noves centrals nuclears als emplaçaments on ja existeixen centrals nuclears.

Hi ha diferents motius que justifiquen aquesta tendència que es verifica a escala internacional:

- La població de l'entorn conviu amb la central nuclear i coneix el seu impacte ambiental.
- La població de l'entorn ha experimentat que la construcció i operació d'una central nuclear és una font de riquesa econòmica per a la zona (taula 8).
- Els llocs que tenen una central nuclear aconsegueixen els requisits tècnics per a construir centrals nuclears.
- Es poden aprofitar o ampliar infraestructures realitzades per a la primera central nuclear.



FIGURA 17. Les 58 centrals nuclears franceses han estat construïdes en 20 emplaçaments: hi ha un emplaçament amb sis centrals nuclears i vuit emplaçaments amb quatre centrals nuclears. La potència nuclear instal·lada a França és de 62.850 MWe i representa el 78 % de l'electricitat produïda (Chambrú, 2005).



FIGURA 18. Dampierre-en-Burly (França), on hi ha quatre centrals nuclears PWR de 900 MWe cada una. Potència total instal·lada a l'emplaçament: 3.600 MWe (Chambrú, 2005).



FIGURA 19. Vuit centrals nuclears actualment en operació a Espanya, i una central nuclear «jubilada» el passat 30 d'abril de 2006. La potència nuclear instal·lada a Espanya és de 7.736 MWe i representa el 23 % de l'electricitat produïda.

En la figura 19 es pot veure els sis emplaçaments que hostatgen les vuit centrals nuclears actualment en operació a Espanya. També està indicat l'emplaçament de Zorita, on el propassat 30 d'abril de 2006 és va «jubilar» la central nuclear José Cabrera, de 160 MWe de potència.

Aplicant aquesta tendència internacional al cas d'Espanya, és podria fer, per exemple, que a cada un dels set emplaçaments actuals hi hagués tres centrals nuclears. Això permet hostatjar dotze centrals nuclears noves. Malgrat això, també seria convenient tenir algun emplaçament addicional per a millorar la distribució del subministrament pel territori.

L'impacte econòmic sobre el territori no és el mateix si es construeix una central nuclear o si es construeix una central de gas. A la central de gas el 61 % del cost del quilowatt hora correspon al cost de combustible (figura 13), i això és diner que es crema i va a parar al país productor de gas, i una part petita, 21,5 %, correspon a construcció, operació i manteniment, que és precisament la que s'inverteix majoritàriament en el territori.

En el cas d'una central nuclear, el repartiment de costos és l'oposat al d'una de gas. La construcció, operació i manteniment és el 88,7 % del cost del quilowatt hora, i el cost del combustible és petit, 11,4 %. Per aquest motiu la creació de riquesa en el territori a conseqüència de la construcció d'una central nuclear és entre quatre i sis vegades superior al cas d'una central de gas (taula 8, figura 13).

Per a tenir una referència dels llocs de treball que genera actualment la construcció d'una central nuclear de ter-

cera generació, es poden analitzar les dades corresponents a la central d'Olkiluoto, a Finlàndia (figura 20):

— 30.000 persones-any per llocs de treballs directes i indirectes, corresponents a la construcció de la central.

— 1.000 persones per llocs de treball directes i indirectes durant els seixanta anys de funcionament de la central.

— 2.500 persones serà el màxim de persones que treballaran en l'emplaçament durant la construcció.

TAULA 8

Escenari de construcció de 15.000 MWe a Espanya. Comparació de l'impacte a l'economia del territori, segons la utilització de centrals de gas o centrals nuclears (González, 2005)

	Gas	Nuclear
<b>Inversió inicial (M€)</b>	6.750	30.000
<b>Participació nacional (M€)</b>	3.037-4.387	18.000-25.500
Enginyeria i serveis (M€)	5 % 337	8,5 % 2.550
Bens d'equip (M€)	16 % 1.080	36 % 10.800
Construcció (M€)	24 % 1.620	32 % 9.600
Altres costos (M€)	10 % 675	10 % 3.000
<b>Pagaments al sector exterior</b>		
Inversió inicial (M€)	45 % 3.037	13,5 % 4.050
Combustible- 7500 h/any (M€/any)	4.500	256
<b>Emissions de CO<sub>2</sub> (Mt/any)</b>	60	—

Amb aquestes dades els ajuntaments, comerciants, empresaris, treballadors autònoms, dels municipis o comarques que tenen actualment centrals nuclears haurien de ser els primers a sol·licitar la construcció d'una nova central nuclear.

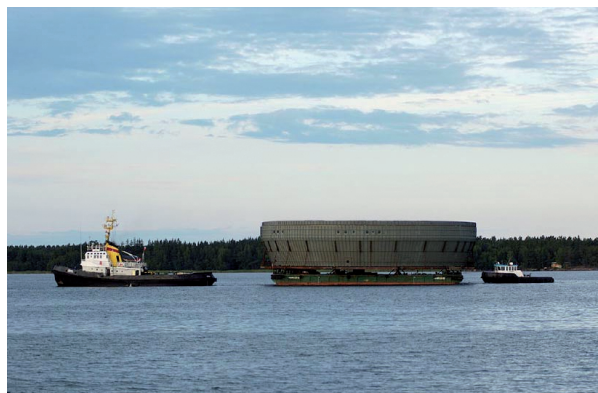


FIGURA 20. Construcció d'una central nuclear EPR de 1.600 MWe a Olkiluoto, Finlàndia, al costat de dues centrals nuclears en operació de 840 MWe cadascuna. Tres fotos il·lustren l'evolució del procés de construcció; la quarta és un fotomuntatge de la situació final. Aquest emplaçament tindrà una potència de 3.280 MWe (Salomaa, 2005).

## Conclusions

Actualment existeixen al món 441 centrals nuclears en operació i 30 en construcció. A Espanya n'hi ha 8 en operació.

S'està patint una intensificació del problema energètic: preus del petroli molt alts (entorn de 75 \$/barril) i amb perspectives de continuar creixent. El preu mitjà del quilo-watt hora al nostre país té uns nivells massa alts a conseqüència d'emprar energies cares. Espanya ha excedit les emissions de CO<sub>2</sub> corresponents als acords de Kyoto amb 133 milions de tones per any. Hi ha energies que no es poden gestionar en funció de la demanda. Una part massa alta del *mix* energètic del país prové de països inestables políticament i, en conseqüència, és feble la seguretat de subministrament.

En aquest context, nombrosos països han decidit construir més centrals nuclears: Finlàndia (figura 20), França, Anglaterra, Xina, Estats Units, Índia, Japó, República de Corea, Rússia, Ucraïna...

Per a fer front a aquesta situació, a Espanya seria convenient establir un programa per a construir en els propers anys uns 15.000 MWe amb centrals nuclears de les anomenades de tercera generació.

Seguint les tendències internacionals, els llocs on hi ha una central nuclear són uns bons candidats per a posar-ne més.

La creació de riquesa en el territori a conseqüència de la construcció d'una central nuclear és entre quatre o sis vegades superior al cas de construcció d'una central de gas. ■

## Bibliografia

- ASOCIACIÓN NUCLEAR ASCÓ-VANDELLÒS II, AIE. *Resum anual 2004*. 2005. 19 p.
- CHAMBRU, L. «El paper de les nuclears en la reducció de les emissions de CO<sub>2</sub> a França». A: *Kyoto i el seu compliment*. Cambra de Comerç, 2005, p. 41.
- DIES, J.; PUIG, F.; PEREIRA, C. *Multimedia de Física de Reactores Nucleares*. V. 2.01. Barcelona, 2004, p. 349.
- DIES, J.; PUIG, F.; PEREIRA, C. *Multimedia de Física de Reactores Nucleares*. CD-ROM, v. 2.01. Barcelona, 2004. 698 làmines.
- GONZÁLEZ, E. «Contribució de l'energia nuclear a la sostenibilitat a Espanya». A: *Kyoto i el seu compliment*. Cambra de Comerç, 2005, p. 26.
- LEIRA, G. «Una visión sobre la energia nuclear». *Seguridad Nuclear*, núm. 34 (2005), p. 16-23.
- SALOMAA, R. «Finlàndia aposta per l'energia nuclear per al compliment de Kyoto». A: *Kyoto i el seu compliment*. Cambra de Comerç, 2005, p. 66.
- UNESA. *Memoria estadística: Informe sobre las actividades eléctricas 2005*. UNESA, 2006. 198 p.