



L'energia en l'horitzó del 2030

Ramon Folch
Ivan Capdevila

Antoni Oliva
Anna Moreso



La progressiva dificultat a accedir a energia barata marcarà l'activitat econòmica en les properes dècades. Altrament, les conseqüències socioambientals de la utilització de les energies fòssils -el 85% del total mundial d'energia mobilitzada- seran també d'assumpció cada cop més difícil. La possibilitat d'una crisi seriosa d'abastament i/o de preus abans del 2030, o si més no d'un encadenat de petites crisis, no ha de ser descartada. En tot cas, les reserves de combustibles fòssils, sobretot de petroli, flaquejaran a poques dècades vista. Davant d'aquest conjunt de circumstàncies, resulta pertinent avaluar la situació des de tots els angles decisius i concebre prudents escenaris prospectius que ajudin a reaccionar adequadament davant les diferents eventualitats que s'aniran presentant. Més encara: en termes de bon govern, cal optar per un model productiu determinat i adoptar l'estratègia energètica que el faci viable per tal de no acabar quedant a l'entera mercè dels esdeveniments.

Aquest llibre aporta algunes dades i reflexions al respecte. Recull i amplia el contingut d'informe "Prospectiva estratègica de l'energia en l'horitzó del 2030" encarregat per l'Institut Català de l'Energia (ICAEN) a ERF Gestió i Comunicació Ambiental S.L. Compila, contextualitza i jerarquitzza informacions existents, d'acord amb els criteris i opcions de l'equip redactor, alhora que també aporta dades o formulacions enterament originals. Té caràcter de valoració sostenibilista i d'informació propositiva a l'ICAEN, que l'ha tinguda en compte a l'hora de formular el Pla de l'Energia a Catalunya 2006-2015.

L'energia en l'horitzó del 2030

Ramon Folch
Ivan Capdevila
i
Antoni Oliva
Anna Moreso

Biblioteca de Catalunya. Dades CIP:

L'Energia en l'horitzó del 2030

Bibliografia

I. Folch, Ramon (Folch i Guillèn) II. Institut Català d'Energia

1. Fonts d'energia _ Previsió 2. Fonts d'energia _ Catalunya _ Previsió 3.

Catalunya _ Política energètica

620.91(467.1)

Treball realitzat per:



ERF - Gestió i Comunicació Ambiental S.L.
(www.erf.es)

*L'Institut Català d'Energia no és fa responsable
de les opinions expressades pels autors de l'estudi.*

Generalitat de Catalunya
Departament de Treball i Indústria

Edició: setembre 2005
Tiratge: 1.000 exemplars

Dipòsit legal: B-37159-2005
Disseny: Domènec Òrrit
Impressió: Inom, SA

Aquest llibre recull i amplia el contingut de l'informe "Prospectiva estratègica de l'energia en l'horitzó del 2030" encarregat el juny de 2004 per l'Institut Català de l'Energia (ICAEN) a ERF Gestió i Comunicació Ambiental S.L. i enllestit pel febrer de 2005. Compila i jerarquitzava informacions existents, d'acord amb els criteris i opcions de l'equip redactor, alhora que aporta algunes dades o formulacions enterament originals. Té caràcter de valoració sostenibilista i d'informació propositiva a l'ICAEN, que l'ha tinguda en compte a l'hora de formular el Pla de l'Energia a Catalunya 2006-2015.

Els autors volen agrair les informacions fornides pels propis responsables de l'ICAEN, en especial el seu director, Josep Isern, el seu sotsdirector, Ignasi Nieto, i els caps d'àrea Joan Esteve, Albert Casanova i Francisco Torres.

Així mateix, els autors agraeixen la col·laboració dels experts consultats al llarg del procés d'elaboració del treball: José M. Baldasano (Universitat Politècnica de Catalunya), Juan M. Cámara (Ecotècnia), Albert Cuchí (Universitat Politècnica de Catalunya), Pere A. Fàbregas (Fundació Gas Natural), Mariano Marzo (Universitat de Barcelona), Joan Ramon Morante (CEMIC, Universitat de Barcelona), Xavier Ortega (Universitat Politècnica de Catalunya), Enric Tello (Universitat de Barcelona) i Miquel Vila (Fecsa-Endesa, antic directiu).

Els autors

Barcelona, 1 de maig de 2005

Sumari

Resum de conclusions	11
1. Els conceptes de fons	29
1.1. La projecció, la prospectiva i la proacció	31
1.1.1. La gestió de la incertesa	31
1.1.2. Els escenaris tendencials, els exploratoris i els normatius ..	33
1.2. Les convencions i els intervals semàntics	
a propòsit de l'energia	35
1.2.1. L'origen nuclear de tota energia	35
1.2.2. Les diferents manifestacions solars	36
1.2.3. Les formes d'obtenció de l'energia	38
2. La situació actual del sistema energètic global	41
2.1. El sistema energètic	43
2.1.1. Els àmbits del sistema	43
2.1.2. Els factors estratègics	45
2.1.3. Els àmbits escalars: Catalunya, Espanya, Europa, món	47
2.2. L'obtenció d'energia per reacció combustiva	49
2.2.1. A partir de l'extracció de dipòsits fòssils d'energies	
del carboni	49
- El carbó	51
- El petroli	51
- El gas natural	53
2.2.2. A partir de l'explotació de fonts biodegradables	
d'energies del carboni	54
- La biomassa	54
2.2.3. A partir de l'explotació de fonts no biodegradables	
d'energies del carboni	58
- La fracció fòssil dels residus	58
2.3. L'obtenció d'energia per reacció nuclear	61
2.3.1. La fissió nuclear	61
2.3.2. La fusió nuclear	64

2.4. L'obtenció d'energia per via no reactiva	65
2.4.1. La captació d'energies lliures i renovables d'origen solar	65
- L'aportació energètica del Sol	65
- La captació eòlica	66
- La captació solar tèrmica	68
- La captació solar fotovoltaica	69
2.4.2. La transformació cinètica d'energies potencials renovables	71
- La transformació hidroelèctrica	71
- La transformació mareomotriu	73
2.4.3. La captació d'energies lliures i renovables d'origen geonuclear	73
- La captació geotèrmica	73
2.5. La distribució i els canvis de format	75
2.5.1. L'accés a l'energia	75
- Les xarxes i els sistemes de distribució	75
- Els sistemes d'acumulació	76
2.5.2. Les transformacions i els canvis de format	77
- Els "carriers" i els recorreguts energètics	77
- El cas de l'hidrogen i les piles de combustible	78
2.6. La demanda i el consum	81
2.6.1. Les asimetries de consum i la intensitat energètica	81
2.6.2. Les necessitats del sector industrial	83
2.6.3. Les necessitats del transport	84
2.6.4. Les necessitats dels sectors residencial, terciari i primari	86
3. La previsible evolució del sistema energètic global	91
3.1. Les previsions tendencials	93
3.1.1. Visió socioeconòmica general	93
3.1.2. Les tendències d'obtenció, transformació i distribució	95
- L'energia obtinguda per reacció combustiva	98
- L'energia obtinguda per reacció nuclear	111
- L'energia obtinguda per via no reactiva	114
- La distribució i els canvis de format	118

3.1.3. Les tendències de la demanda i del consum	120
- El sector industrial	122
- El sector del transport	123
- Els sectors residencial, terciari i primari	125
3.2. Les previsions en cas de crisi energètica	129
3.2.1. Les causes d'una possible crisi energètica	129
3.2.2. Les diferents crisis energètiques plausibles	131
- Una crisi d'abastament	131
- Una crisi de preus	132
3.2.3. Les conseqüències socioeconòmiques d'una crisi energètica	134
3.2.4. Les conseqüències ambientals d'una crisi energètica	135
3.2.5. La reconfiguració del sistema energètic	136
3.2.6. Les estratègies de prevenció	136
3.3. L'opció sostenibilista	139
3.3.1. Les disfuncions sistèmiques actuals	139
- Les disfuncions socioeconòmiques	139
- Les disfuncions ambientals	141
3.3.2. La visió sostenibilista del sistema energètic	144
- El necessari distanciament de tot fonamentalisme	144
- El plantejament energètic sostenibilista	145
3.3.3. Els factors de l'estratègia energètica sostenibilista	148
- El model social	148
- El model econòmic	151
- El model territorial	152
- L'eficiència	153
- La proporció entre centralització i distribució	155
- La tecnologia	156
- El preu	157
- La fiscalitat	160
- L'autonomia	162
- La seguretat	162
- La governabilitat global	163

3.4. Les previsions i accions en curs	165
3.4.1. Les visions estratègiques d'alguns països significatius	165
- El cas del Regne Unit	165
- El cas de França	167
- El cas d'Irlanda	169
- El cas d'Àustria	169
- El cas de la Xina	170
- La interpretació global de les diferents visions	171
3.4.2. El futur a partir del protocol de Kioto	173
- El protocol de Kioto	173
- Altres mesures a partir de Kioto	175
4. El sistema energètic català en l'horitzó 2030	177
4.1. L'escenari tendencial	179
4.1.1. La capacitat d'intervenció des de Catalunya	179
- Sobre les fonts primàries d'energia, la transformació i la distribució	180
- Sobre els límits físics i ambientals de les energies renovables	180
- Sobre la demanda	184
4.1.2. La visió tendencial en l'horitzó 2030	184
4.1.3. Les disfuncions generades per la tendència	186
4.2. La transició cap a un escenari sostenibilista	189
4.2.1. Els escenaris exploratoris de demanda	189
4.2.2. Les principals conclusions dels escenaris	193
4.3. Les bases d'una política sostenibilista	195
Referències bibliogràfiques	201
Glossari	207

Resum de conclusions

La Terra disposa d'energia originada per una única font energètica, la nuclear, que pren la forma d'energia solar quan les reaccions de fusió tenen lloc al Sol. La resta són derivacions i canvis d'expressió de l'energia nuclear: l'energia solar i les seves derivades (eòlica, biomassa, hidroelèctrica, etc.) són energia nuclear solar capturada a la Terra, mentre que els hidrocarburs i el carbó són energia nuclear solar fossilitzada al llarg del temps. Així, doncs, les formes d'obtenció i utilització de l'energia es poden classificar de la manera següent:

- *Energia alliberada per reacció combustiva*
 - Extracció de dipòsits no renovables (fòssils) d'energies del carboni: carbó, petroli, gas natural
 - Explotació de fonts biodegradables d'energies del carboni: biomassa
 - Explotació de fonts no biodegradables d'energies del carboni: fracció fòssil dels residus
- *Energia generada per reacció nuclear*
 - Nuclear de fissió
 - Nuclear de fusió (tecnologia no disponible)
- *Energia capturada*
 - Captació d'energies lliures i renovables d'origen solar: eòlica, termosolar, fotovoltaica
 - Transformació cinètica d'energies potencials renovables: hidroelèctrica, mareomotriu
 - Captació d'energies lliures i renovables d'origen geonuclear: geotèrmica

La situació actual

El sistema energètic mundial està dominat avui dia per les energies de dipòsits no renovables (fòssils), que cobreixen el 85% del consum d'energia primària, envers un 6,5% de l'energia generada per reacció nuclear, un 7% de l'energia hidroelèctrica i un 1,3% de les altres energies capturades (renovables)¹. Quant a la demanda, un terç la consumeix el sector industrial, un terç el sector del transport (que és el que més ha crescut les darreres dècades) i un terç els sectors residencial, terciari i primari. La intensitat energètica ha disminuït progressivament als països occidentals els darrers anys, a un ritme d'un 1,4% anual. Una baixada no simultània a tots els països occidentals, ja que Catalunya, entre d'altres, ha vist créixer la seva intensitat energètica els darrers anys, sobretot en els sectors terciari i transport.

El sistema energètic instaura diverses disfuncions locals i globals. A nivell local, la majoria estan associades a les emissions contaminants, a l'impacte paisatgístic i a l'afectació dels sistemes naturals. A nivell global, les seves dues externalitats principals són els conflictes derivats de l'estructura geopolítica actual, basada en l'accés als recursos fòssils, i els efectes sobre el clima de la progressiva concentració de gasos amb efecte d'hivernacle.

L'escenari tendencial

En un escenari tendencial en l'horitzó 2030, l'increment mundial de consum d'energia primària es pot situar entorn dels 15.000-17.000 Mtep anuals, un 50-70% per sobre dels nivells actuals.

Les fonts energètiques

L'*energia d'origen fòssil* continuarà clarament essent hegemònica en aquest horitzó (77-82% de l'energia primària), amb alguns canvis en la distribució entre les fonts: increment substantiu de l'ús del gas natural (fins a assolir un valor entre 4.000 i 4.500 Mtep), reducció percentual de l'ús del petroli, que continuarà essent el material energètic més usat (amb un total entre 5.000 i

¹ No s'inclouen els combustibles no convencionals, com la biomassa no comercial (llenya...), l'ús dels quals –escassament rellevant a Occident, però importantíssim al Tercer Món– és molt difícil d'estimar.

5.800 Mtep) i estabilització percentual de l'ús del carbó (entre 3.100 i 3.500 Mtep). Es preveu un canvi a nivell global en el proveïment del petroli i del gas natural: Àsia obtindrà recursos a l'Orient mitjà; els EUA esperen obtenir alternatives al petroli del Golf a les costes d'Àfrica, Veneçuela i Canadà; i Europa incrementarà el proveïment de gas natural de Rússia i el Magrib. Per contra, la geografia d'abastament del carbó és menys concentrada mundialment i viurà canvis més petits.

- D'entre els combustibles fòssils, el *gas natural* viurà l'increment més important, com a combustible de transició entre un sistema basat en el petroli i un de futur menys dependent dels combustibles fòssils. Hi haurà un fort increment de la generació d'electricitat a partir de gas natural mitjançant centrals tèrmiques de cycle combinat (rendiments del 55-57%), amb noves centrals d'aquest tipus amb cogeneració o trigeneració (rendiments de l'ordre del 70%) per donar servei a sistemes de calefacció i/o refrigeració de districte. També es preveu l'extensió i millora del gas natural comprimit (GNC) i de la conversió *gas to liquid* (GTL) per a l'ús del gas natural en automoció.
- El *carbó*, malgrat el seu impacte ambiental, mantindrà un ús elevat: es farà servir menys en els països occidentals, però s'utilitzarà més en els països emergents asiàtics com la Xina, l'Índia o Indonèsia, que disposen d'un elevat volum de reserves. Es desenvoluparan noves tecnologies més eficients i menys contaminants que les actuals, com les centrals en llits de fluidització pressuritzada (rendiments del 40-45%), les centrals en vapor supercrític (rendiments del 45-47%) i les centrals de cycle combinat amb gasificació de carbó integrada (IGCC, rendiments del 45% i captura de gasos amb més facilitat). També es preveu l'extensió i millora de la producció d'alcohols a partir de carbó (conversió *carbon to liquid*, CTL) per al seu ús en el sector del transport.

L'*energia de fissió nuclear* continuarà tenint un pes prou important (entre 750 i 900 Mtep), tot i que percentualment més baix que avui dia degut a la seva negativa percepció social, si més no a Occident, malgrat el desenvolupament de reactors de tercera generació. Al llindar del 2030 es preveu l'entrada en funcionament de reactors nuclears de quarta generació, que produiran hidrogen com a subproducte complementari a la generació d'electricitat.

Per contra, no es preveu que l'*energia nuclear de fusió* sigui comercialment viable abans de l'any 2055.

La comercialització de l'energia generada a partir de la *biomassa* i de la *fracció fòssil dels residus* podria créixer fins a arribar a valors d'entre 350 i 600 Mtep.

Quant a les *energies obtingudes per via no reactiva* (les renovables excepte la biomassa), l'eòlica (eolèctrica) és la font d'energia amb més perspectives de creixement en la propera dècada, de manera que podria arribar a rangs d'entre 300 i 500 Mtep l'any 2030. L'energia solar tèrmica aportarà entre 100 i 200 Mtep mitjançant plafons termosolars i valors inferiors als 20 Mtep mitjançant centrals elèctriques termosolars. L'energia solar fotovoltaica aportarà entre 17 i 85 Mtep. La transformació hidroelèctrica continuarà essent l'energia renovable que aportarà més electricitat al sistema energètic, concretament un equivalent a 1.000-1.200 Mtep. La transformació mareomotriu, per la seva banda, pot assolir valors d'entre 20 i 100 Mtep.

Malgrat que aquests valors representen increments molt significatius en relació als actuals, no suposaran més del 10-15% de l'energia primària, ateses les seves limitacions. Les limitacions de les energies renovables en l'horitzó 2030 són degudes a factors diversos:

- L'aprofitament comercial de la *biomassa forestal i dels residus* serà limitat als països occidentals per l'absència d'activitat econòmica de valor associada al bosc, capaç de generar residus com a subproducte (i el cost elevat del desembosc i transport a l'engròs com a activitat econòmica per se i amb qualitat, és a dir, sense malmetre els valors naturals del bosc), l'impacte ambiental de les seves emissions, la percepció social negativa de les centrals de combustió i les consegüents exigències restrictives sobre elles.
- L'aprofitament dels *conreus energètics* com a combustible estarà limitat per l'elevada ocupació del sòl que exigeix (la substitució del 5% del combustible europeu necessita del 20% del sòl agrícola actual), la maduresa de les tecnologies (que fa difícil baixar el seu preu), la necessitat d'importació per part dels països occidentals i, sobretot, les limitacions naturals (el balanç global dels conreus energètics en països amb poca aportació natural de radiació solar i/o de precipitacions pot arribar a ser negatiu).

- Quant a la *captació eòlica*, la seva implantació serà limitada per l'impacte paisatgístic dels aerogeneradors –de dimensions cada vegada més considerables.
- La *captació solar tèrmica* es veurà limitada per la lentitud (15-20 anys) en arribar a la maduresa comercial dels sistemes de generació elèctrica termosolar. La *captació solar fotovoltaica* estarà limitada per l'elevat impacte ambiental i consum energètic de la purificació i cristallització del silici, els límits físics de rendiment de la transformació energètica (30%), la seva maduresa tecnològica i el seu cost elevat (molt més gran que qualsevol altre sistema de generació elèctrica).
- Finalment, la *transformació hidroelèctrica* es veurà limitada per l'impacte sobre valls inundades i sobre ecosistemes fluvials i límnics i l'increment de la sensibilitat social en relació a aquest impacte.

Els formats i la demanda

D'altra banda, hi haurà una *diversificació dels formats energètics*. Els combustibles del sector transport no es derivaran només del petroli, sinó també del gas natural, del carbó i de la biomassa, mitjançant biocombustibles, GNC i processos com *gas to liquid* (GTL) o *carbon to liquid* (CTL). L'electricitat incrementarà significativament el seu ús, mentre que l'hidrogen, l'altre *carrier* potencial, tindrà un creixement limitat si no hi ha un trencament tecnològic imprevist abans del 2030.

La *demanda d'energia final* també creixerà significativament (60%), tot assolint-se un valor de l'ordre dels 11.000 Mtep de consum final mundial. Els països en desenvolupament concentraran dos terços del creixement total, de manera que el 2030 consumiran vora del 50% de l'energia mundial. Els increments més grans es donaran als sectors transport i serveis, seguits del sector residencial. Quant a la intensitat energètica, baixarà una mitjana d'un 1,2% anual en l'horitzó 2030, disminuint en tots els sectors i amb més intensitat en els sectors industrial i residencial. Les emissions de CO₂ s'intensificaran més d'un 60%, tot i que el creixement serà molt més petit a Europa que a la resta del món. Però fins i tot a la UE la intensitat de carboni s'incrementarà en el sector del transport, sobretot per l'increment de l'ús de l'avió i per l'augment de la demanda de transport dels deu països recentment incorporats.

L'escenari de crisi

Tanmateix, no és descartable un escenari futur de tendència no lineal. Entre els possibles, el més rellevant es relacionaria amb una situació de crisi energètica, especialment lligada als combustibles fòssils. En efecte, ningú no dubta que el petroli acabarà globalment el seu cicle com a font d'energia al llarg del segle XXI. I, si no ocorren canvis sobtats, també pot acabar-hi el gas natural com a tal. Això és perquè les previsions de disponibilitat de les reserves dels combustibles fòssils en funció del seu consum actual són limitades: entre 35 i 45 anys per al petroli, entre 60 i 70 per al gas natural i entre 200 i 230 per al carbó. Les reserves d'urani, per la seva banda, permeten un ús màxim de 50 anys al consum actual.

Els jaciments petrolers més accessibles comencen a donar mostres d'esgotament. Hi ha reserves encara importants i expectatives de descobrir-ne de noves, però el cost d'explorar-les no serà baix. A mesura que l'oferta no pugui cobrir la demanda es produirà una presumible gran inestabilitat dels preus. Un esgotament de les reserves, però molt abans una crisi dels preus, són fenòmens, doncs, amb què cal comptar.

La crisi de preus del petroli és la més plausible en un horitzó indeterminable, però potser abans del 2030, quan s'hagi arribat al zenit de la capacitat d'extracció del petroli o *peak oil*. Així, en l'horitzó 2030 no es preveu tant l'exhauriment físic del petroli com la incapacitat de satisfer a preus moderats una demanda cada vegada més gran. Tal com passa amb els fenòmens de canvi d'estat (glaç a aigua líquida, aigua líquida a vapor, per exemple) la crisi sobrevindria per mor d'un increment no especialment important sobre un sistema ja sobreincrementat (de 0 a 1°C o de 99 a 100°C hi ha només un grau).

La crisi podria tenir conseqüències socioeconòmiques importants sobre tots els sectors econòmics, atesa la gran dependència del sector transport –sector transversal–, dels combustibles fòssils convencionals. Però també pot provocar impactes ambientals severos, per la utilització de petrolis no convencionals, de menys qualitat i contingut més gran de sofre, així com d'altres combustibles fòssils, com el carbó.

La crisi energètica comportaria la reconfiguració del sistema energètic, amb les conseqüències següents:

- *Reserva del petroli per a usos no energètics*. Les indústries química i farmacèutica faran mans i mànigues per assegurar-se el

recurs per a usos de més valor afegit que la seva simple combustió.

- *Cerca d'alternatives.* Els preus més elevats faran viables alternatives energètiques que ara no ho són, tant en el camp de les energies renovables com en el camp de les energies convencionals. S'intensificarà la R+D i la transferència de tecnologia en aspectes com noves conversions (GNC i carbó per a sector transport, etc.) i nous aprofitaments a partir d'hidrocarburs no convencionals.
- *Inversions importants en cerca de nous jaciments de petroli i nous combustibles fòssils:* sorres bituminoses o asfàltiques a Canadà i Veneçuela, pissarres bituminoses, i hidrats de gas dels oceans. Els hidrats de gas representen la reserva més gran de metà del planeta, en una quantitat que dobla les reserves conegudes de petroli, carbó i gas natural juntes, fins ara no explotada perquè l'accés és complicat i encara no existeix un mètode eficaç per obtenir-ne l'energia útil.

Les disfuncions socioeconòmiques i ambientals a nivell mundial

En qualsevol cas, tant en un escenari tendencial com en un escenari de crisi del petroli, el sistema energètic agreujarà les disfuncions socioeconòmiques i ambientals en l'horitzó del 2030. Les més importants seran els desequilibris geopolítics mundials i la concentració creixent de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH): el 70-75% de les emissions actuals provenen de l'ús a gran escala de recursos energètics d'origen fòssil (vegeu les figures 3.5, 3.6 i 3.7, pàg. 141). Es preveu un increment de les emissions d'un 60% en relació a les actuals en l'horitzó tendencial, i més elevades en un horitzó de crisi, per l'ús d'hidrocarburs no convencionals, amb els conseqüents trastorns sobre el règim atmosfèric i el clima.

Els símptomes de canvi climàtic per mor de la creixent concentració atmosfèrica de GEH són ja evidents. Hi ha un ampli consens científic sobre l'origen antròpic de l'escalfament planetari en el darrer mig segle. Els diferents escenaris elaborats per l'IPCC (Panel Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic) preveuen una concentració de CO₂ creixent a l'atmosfera almenys fins a final del segle XXI, cosa que comportarà un augment de temperatura d'entre 1,4 i 5,8°C. Les precipitacions augmentaran, tot i que amb una distribució territorial diferent a l'actual, s'am-

pliarà l'abast de les zones àrides, les geleres seguiran retirant-se i el nivell del mar seguirà pujant. Les ciutats litorals, l'agricultura, la distribució de les malalties lligades a les condicions ambientals, la productivitat ecològica, l'estat dels sòls i les disponibilitats d'aigua dolça seran els àmbits més afectats. L'elevada concentració de GEH a l'atmosfera indueix, a més, a canvis en la freqüència, la intensitat i la durada d'episodis meteorològics extrems (huracans, tempestes, nevades, etc.). Això, juntament amb la possibilitat de canvis sobtats deguts a la naturalesa no lineal del sistema climàtic, fa augmentar la incertesa climàtica i el risc que s'hi associa.

Davant la previsió d'agreujament d'aquestes i d'altres disfuncions en l'horitzó 2030 (vegeu la taula 3.12 (pàg. 143) per a una valoració dels impactes de les diferents fonts energètiques), cal una aposta agosarada per contrariar les tendències, una aposta sostenibilista distanciada de tot fonamentalisme, sigui de caràcter ecologista o desenvolupista.

L'opció sostenibilista

La visió sostenibilista del sistema energètic té per finalitat evitar, tant l'agreujament de les disfuncions socioeconòmiques sobre la governabilitat global i les disfuncions ambientals sobre el medi de la propagació tendencial de l'actual sistema energívor, com la prevenció de les disfuncions d'una eventual crisi energètica.

La sostenibilitat com a alternativa real

L'escenari energètic mundial i la plausible eventualitat d'una crisi seriosa aconsellen la gradual adopció d'un model socioeconòmic diferent. En efecte, només amb mesures tecnocientífiques, altrament necessàries, no es podrà revertir la situació. Cal ser clars en aquest sentit. Cercar noves fonts per a satisfer una demanda desbocadament creixent o només elevar el rendiment productiu de les unitats energètiques posades al mercat, ni evitarà el *peak oil* i/o la crisi –bé que potser en retardarà l'arribada uns quants anys–, ni frenarà els trastorns ambientals d'abast planetari. Són imprescindibles canvis substantius en les pautes de consum que permetin modular l'oferta a la baixa, en comptes de tractar de satisfer debades una demanda indefinidament creixent.

És per això que l'opció sostenibilista no pot basar-se només en l'increment de la generació mitjançant fonts renovables. El sílici

dels plafons fotovoltaics, per exemple, s'encareix a mesura que n'augmenta la demanda. Les plaques fotovoltaïques forneixen menys d'un 0,01% de l'energia elèctrica mundial (equivalent a un 0,003% de l'energia primària consumida): les disponibilitats i el preu del silici evolucionarien malament si aquest percentatge deixés de ser simbòlic. Tard o d'hora acabaria produint-se la reacció contrària d'alguns sectors per l'elevat impacte ambiental de la producció d'obles de silici, de la mateixa manera que ja s'ha produït en el cas de l'energia eòlica quan la proliferació d'aerogeneradors ha deteriorat determinats paisatges.

Per contra, l'opció sostenibilista representa el necessari canvi de model efectuat des del rigor tecnocientífic i amb realisme socioeconòmic. En termes energètics, es concreta en l'establiment d'uns límits al consum, de manera que es puguin satisfer les necessitats actuals sense comprometre les necessitats de les generacions futures, internalitzant els costos dels processos amb lògica planetària i voluntat d'equitat mundial. Avançar cap a la sostenibilitat energètica també és avançar cap a aquest model social de menys necessitats.

El consum energètic endogen² desitjable, suficient per satisfer les necessitats físiques, intel·lectuals i assegurar una qualitat de vida digna a tot el món es pot establir en un valor entre 1,5 i 2 tep/hab·any³. Un valor que cal ajustar país per país en funció del grau d'especialització en sectors intensius en energia: no consumeix el mateix un país amb força indústria petroquímica o metal·lúrgica que un país especialitzat en serveis o microelectrònica. La limitació del consum d'energia és un plantejament no excessivament agosarat ni necessàriament impopular, tenint en compte que la majoria de persones de les societats occidentals ja fa anys que s'han autoimposat una limitació energètica en relació al consum d'aliments.

Així, doncs, la sostenibilitat aplicada a l'energia no implica una sola forma de generar, una de distribuir i una de consumir. La

² El consum energètic endogen d'una comunitat correspon a l'energia esmerçada en les seves necessitats pròpies. Es calcula restant del consum energètic total l'energia esmerçada a la generació de productes o serveis destinats a l'exportació i sumant-hi l'energia incorporada en els productes o serveis importats i la part alíquota del transport de les importacions i exportacions. En el cas de Catalunya, el consum energètic endogen representa de l'ordre del 80-90% del consum energètic total.

³ La mitjana de consum total d'energia primària als països de l'OCDE és (2002) de 4,7 tep/hab·any, mentre que a Catalunya és de 3,6 tep/hab·any.

sostenibilitat formula els objectius per poder plantejar models energètics locals sostenibles, a través de diversos camins. D'aquesta manera, la sostenibilitat energètica es defineix d'acord amb diferents respostes als factors estratègics del sistema energètic (vegeu taula adjunta).

L'assoliment d'un escenari sostenibilista d'aquest tipus és una tasca ingent que durarà bona part del segle XXI. La prioritat en l'horitzó 2030 és revertir la tendència de creixement del consum mitjançant una transició energètica que comenci a fer disminuir el consum per persona. Una transició també cap a un model energètic que depengui molt menys dels combustibles fòssils i molt més de les fonts renovables. Alguns països ja disposen de visions estratègiques relativament avançades en aquest sentit. El Regne Unit, per exemple, es proposa reduir en un 60% les emissions de CO₂ en l'horitzó 2050, basant-se especialment en millores d'eficiència en la transformació i de gestió de la demanda. Irlanda, Àustria i molts altres països disposen de visions estratègiques semblants. En totes, els factors clau que marquen les estratègies de futur per contrarestar l'increment previst de l'ús de combustibles fòssils són la seguretat energètica i el canvi climàtic. I les eines per fer front a aquests factors clau són una combinació de polítiques de: *a*) diversificació de les fonts d'energia; *b*) diversificació i millora de les vies d'abastament, en especial dels combustibles fòssils; i *c*) una política de gestió de la demanda.

Objectius, eines i recursos de la sostenibilitat en els diferents àmbits de l'energia.

Àmbits	Factors estratègics	Objectius sostenibilistes	Eines i recursos
FONTS PRIMÀRIES D'ENERGIA	Autonomia	Menor dependència exterior	Estímul de la generació pròpia
	Seguretat	Garantia d'abastament	Diversificació de les fonts
	Governabilitat global	Menor consum combustibles fòssils, reducció externalitats globals	Noves relacions amb els proveïdors, protocol Kioto
GENERACIÓ I DISTRIBUCIÓ ENERGÈTICA	Eficiència	Minimització de l'entropia, maximització	Noves tecnologies, recorreguts més eficients
	Centralització/distribució	Equilibri entre generació centralitzada i distribuïda	Xarxa amb grans i petits productors
	Preu	Internalització dels costos reals	Reformulació dels balanços econòmics
DEMANDA ENERGÈTICA	Model social	Valors individuals: equitat, integració ambiental, governabilitat	Conscienciació sostenibilista
		Valors col·lectius: estils de vida menys energívors, equitat territorial i intergeneracional	Polítiques sostenibilistes que facilitin l'accés a millors tecnologies
	Model econòmic	Globalització efectiva	Responsabilitat social corporativa
	Tecnologia	Maximització de l'eficiència, tancament de cicles	Tecnologies netes i eficients
	Fiscalitat	Penalització del sobreconsum, incentivació de l'eficiència	Fiscalitat i primes ambientals
	Model territorial	Disminució de la mobilitat motoritzada	Sistema urbà complex i compacte

Font: elaboració pròpia

El valor del protocol de Kioto

Actualment, la signatura, ratificació i posterior entrada en vigor del protocol de Kioto és la plasmació efectiva de la intenció per primera vegada a nivell mundial d'internalitzar macroeconòmicament les externalitats del sistema energètic, en aquest cas per disminuir l'impacte associat a les emissions amb efecte d'hivernacle. Si s'estén temporalment (després del 2012) i geogràficament (incloent-hi compromisos per a tots els països del món i la incorporació dels EUA), i malgrat les seves limitacions i mancances, la seva aplicació podria ser un primer pas per a la governabilitat global ambiental. Pot esdevenir, i aquest és el seu veritable valor, el catalitzador inicial per al canvi de tendència en relació a l'increment del consum energètic.

Tanmateix, els esforços per aturar l'increment d'emissions de GEH també han fet desenvolupar solucions tecnològiques en l'emmagatzematge de les emissions una vegada produïdes:

- *La captura i confinament del CO₂* emès, també anomenat 'secrest' de CO₂, per tal que les emissions produïdes no arribin a l'atmosfera. La captura, tècnicament viable avui dia, es pot realitzar en grans fonts d'emissions com les centrals tèrmiques de generació elèctrica. Els principals problemes d'aquesta tecnologia són la ubicació dels pous, normalment allunyats de les grans centrals, i els riscos ambientals. El segrest de CO₂ pot representar en el futur una bona solució a nivell puntual i per a fonts no difuses.
- *La captació sòlida* en forma de carbonats nanocristallins de les emissions de CO₂. Una tecnologia en fase de desenvolupament, que tampoc no ha resolt encara el destí final dels carbonats precipitats.

Tanmateix, aquestes solucions s'afegeixen al final del procés productiu. No estan basades en la prevenció i no són significatives respecte la tendència majoritària, representada per l'augment de l'eficiència en la transformació (en termes d'emissions), i especialment en el descens del consum. Els canvis de debò, si arriben, dependran de mutacions profundes, tal com s'ha exposat anteriorment.

El sistema energètic català al 2030

La visió tendencial de Catalunya en l'horitzó 2030 mostra un increment del consum d'energia final de l'ordre del 70% en el període 2002-2030, fins arribar als 24-25 Mtep (10 Mtep més que el 2002); els sectors del transport, serveis i domèstic serien els que més incrementarien el consum. Una situació que agreujaria, tant a nivell global com a nivell local, les disfuncions socioeconòmiques i ambientals del sistema energètic i que caldria revertir en termes sostenibilistes, en el benentès que en el 2030 tot just s'estaria a mig camí del procés de transició. Una situació preocupant sobretot si es té en compte la limitada capacitat d'intervenció des de Catalunya sobre les fonts primàries d'energia.

La capacitat d'intervenció des de Catalunya

Les energies d'obtenció no reactiva (les renovables) representen l'àmbit amb més marge de maniobra des de Catalunya. La promoció o limitació de l'energia eòlica o la introducció de biocombustibles, per posar dos exemples, tenen una complexitat tècnica o social determinada, però depenen fonamentalment de la voluntat del govern català.

Tanmateix, cal tenir present les limitacions ambientals del nostre territori. Catalunya és un país petit i muntanyós, en què hi ha poques zones ventoses en les què es pugui aprofitar comercialment l'energia eòlica (en algunes zones ventoses hi fa sovint massa vent), o en què les superfícies de secà (útils per a conreus energètics) són també limitades.

En l'àmbit de la biomassa forestal i biocombustibles, el potencial màxim anual en l'horitzó 2030 és de l'ordre d'1,1 Mtep, tret que no es fes una aposta important per la valorització energètica dels residus municipals. Pel que fa al biogàs, una estimació del seu aprofitament màxim podria donar valors de l'ordre de 0,3 Mtep. En l'àmbit hidroelèctric, i atès que ja s'aprofita un 90% de la potencialitat hidràulica efectiva (2.320 MW), difícilment es podrien instal·lar més de 160 MW addicionals, els quals generarien un màxim de 570 GWh (0,05 Mtep). Pel que fa al potencial eòlic, cal tenir present que la morfologia territorial, el règim de vents i la voluntat de conservar certs valors naturals i paisatgístics no permeten un aprofitament intensiu de l'energia eòlica. Una aproximació màxima podria estimar-se de l'ordre de 5.000 MW instal·lats, que podrien aportar una energia màxima de l'ordre de 0,95 Mtep anual.

Els altres sistemes d'obtenció d'energia per via no reactiva (renovable) podrien generar valors no significatius, d'un ordre inferior al 0,1 Mtep anual per a cadascun dels sistemes d'obtenció (captació solar tèrmica per a usos tèrmics, captació solar tèrmica per a electrogeneració, captació solar fotovoltaica i energia geotèrmica). En conseqüència, l'aportació màxima de les energies renovables en l'horitzó 2030 seria de l'ordre dels 2-2,5 Mtep addicionals als actuals. Un aprofitament més gran, de l'ordre aproximat de 0,5 Mtep addicional, només seria possible mitjançant l'increment significatiu de l'aprofitament energètic dels residus urbans i industrials.

A més de la intervenció en el sector de l'obtenció d'energia de fonts renovables, des de Catalunya es poden promoure generacions no convencionals, com la cogeneració –tant en el sector industrial com en el primari, com en el residencial o els serveis.

En definitiva, la capacitat d'intervenció des de Catalunya en l'àmbit de les fonts primàries d'energia és limitada, tant per l'absència de materials energètics fòssils o radioactius, com pels límits potencials naturals de l'aprofitament de les energies renovables, mentre que la capacitat d'intervenció en la transformació i la distribució és mitjana. En qualsevol cas, la capacitat d'intervenció en aquests àmbits també haurà de considerar els límits que la societat s'autoimposi d'acord amb nous valors emergents a nivell mundial.

En efecte, malgrat una capacitat d'intervenció teòricament alta en certs àmbits, el suport o el rebuig social a certs tipus de sistemes i plantes de generació elèctrica, com l'energia nuclear, els aerogeneradors, la incineració dels residus, etc., serà determinant.

La transició cap a un escenari sostenibilista

L'assoliment d'un escenari sostenibilista en què s'estableixi un límit de consum endogen de l'ordre de 2 tep/hab·any és una tasca ingent que durarà bona part del segle XXI. La prioritat a curt i mitjà termini és revertir la tendència de creixement del consum mitjançant una transició energètica que comenci a fer disminuir el consum per persona. Una transició d'una dificultat important, que molt difícilment haurà acabat el 2030. En termes de consum, doncs, l'objectiu de la política sostenibilista catalana podria ser assolir a més llarg termini un consum endogen d'energia primària de l'ordre de 2 tep/hab·any.

En qualsevol cas, per avançar cap a un sistema energètic sostenible, els elements clau de la política energètica de Catalunya haurien de ser els següents en l'horitzó 2030:

1. *La base principal d'una política energètica sostenible és contenir de manera efectiva la demanda.* Les inversions tecnològiques en la demanda (enfocades a la reducció del consum) seran molt més eficients en l'avenç cap a la visió sostenible del sistema energètic que les inversions tecnològiques en les energies renovables, que sempre tindran un resultat limitat i no contrariaran la tendència energívora de la nostra societat. L'anàlisi dels apartats anteriors ho deixa clar: en una situació hipotètica ideal en què es poguessin construir totes les instal·lacions necessàries (situació que en aquests moments no es dona), l'aportació màxima de les energies renovables en l'horitzó 2030 s'estima de l'ordre de 2 Mtep addicionals als actuals, envers un creixement tendencial del consum d'energia primària de 9-10 Mtep. Per contra, les polítiques agosarades de gestió de la demanda permetrien reduir el consum en relació a la tendència en 4-5 Mtep o més, en funció de les sinèrgies entre els factors socials i els tecnològics.
2. *La disminució significativa de la intensitat energètica és capital, com a expressió de la millora tecnològica en el control de la demanda* d'un sistema productiu cada vegada més eficient, capaç de generar la màxima riquesa amb el menor consum energètic possible. A la major part dels països occidentals la intensitat energètica disminueix esperançadorament entre un 1,2 i un 1,4% cada any, però a Catalunya segueix augmentant.
3. *La configuració d'un model social avançat és l'element més decisiu d'entre els elements de limitació de la demanda energètica.* Un model social amb l'objectiu de configurar uns valors individuals i col·lectius que posin en valor el fet d'autoimposar-se límits de demanda energètica. Aquest nou model social només serà possible gràcies a un canvi cultural, que s'hauria de recolzar en infraestructures col·lectives i en eines normatives, com ara la fiscalitat desincentivadora i la incorporació de l'eficiència energètica a les licitacions de la pròpia administració.

4. *La constitució d'un model territorial compacte i complex és la segona eina bàsica de limitació de la demanda, atès que el sistema territorial determina la majoria de paràmetres relacionats amb el sector del transport i el sector residencial. La planificació territorial, el planejament urbanístic i la planificació sectorial són les eines que permeten definir a mitjà i llarg termini un model territorial compacte i complex diferent de l'actual.*
5. *La fiscalitat desincentivadora del sobreconsum és una eina molt útil per fer viables certes opcions socials a mitjà termini. La fiscalitat energètica hauria de penalitzar l'excés de consum i els usos especialment ineficients. Una de les eines fiscals més eficients és la tarifació per trams, ja existent al nostre país en relació al consum domèstic de l'aigua.*
6. *L'establiment d'un sistema de certificació energètica d'edificis nous i rehabilitats, que estableixi una eficiència energètica mínima és clau per reduir el consum de dos dels sectors que l'incrementaran més, el residencial i el dels serveis. Així mateix, és imprescindible avançar la R+D en àmbits com l'estalvi passiu i l'eficiència energètica global dels edificis mediterranis, els sistemes de refrigeració a partir de l'absorció de calor i la cogeneració amb *district-cooling* per a grans àrees de serveis.*
7. *Els vehicles híbrids, la disminució del consum dels motors de combustió interna i l'ús de biocombustibles destaquen com a apostes tecnològiques actuals clau en una estratègia a mitjà i llarg terminis en el sector del transport.*
8. *El sector industrial serà el que disminuirà més la intensitat energètica. Un avenç que a nivell català s'ha d'estimular perquè traspassi amb més celeritat a la immensa xarxa de PIMES que per falta d'escala i per dificultats tècniques fins ara no han fet una aposta prou clara per l'eficiència.*
9. *La segona base de la planificació estratègica a llarg termini és l'aprofitament de totes les energies renovables locals. Ateses les dimensions de la demanda energètica prevista en l'horitzó 2030, fins i tot en el cas d'una reducció de la demanda no té sentit desapropiar cap font d'energia autòctona. Tanmateix, aquelles que poden oferir aportacions més grans en un horitzó*

a mitjà termini són l'eòlica (especialment els possibles aprofitaments *off-shore*), els biocombustibles, l'aprofitament tèrmic de la biomassa i l'aprofitament termosolar.

10. *L'aprofitament de totes les fonts energètiques també comporta una aposta per la diversificació energètica*, com a garantia de seguretat front a eventuals disruptions de subministrament. També cal garantir la robustesa de la xarxa elèctrica, entre d'altres raons per permetre l'aparició de nous agents que aprofitin les possibilitats d'un model més distribuït.
11. *Els preus de l'energia haurien d'internalitzar la totalitat del cost*, inclosos els costos ambientals actualment no contemplats, sempre amb un rigorós balanç triple: un balanç energètic, un balanç econòmic i un balanç ambiental.
12. *Tot això només serà possible a través d'un model de coneixement que integri l'energia com a corç central*. Un model de coneixement que incorpori nova formació transversal sobre l'energia en les titulacions existents i noves titulacions universitàries quan calgui, nous centres de recerca bàsica i aplicada, que possibiliti la consolidació d'enginyeries energètiques d'abast global i que faciliti una extensió de la nova cultura energètica al conjunt dels consumidors.



Els conceptes de fons

1

1.1

Projecció, prospectiva i proacció

La prospectiva no és futurisme ni ciència-ficció. Tampoc no és la simple extrapolació de seqüències actuals o històriques. La prospectiva és la capacitat de generar un plausible escenari futur per tal d'anticipar-se a l'avenir. En contextos lineals, la prospecció és fàcil, però en contextos complexos i/o dominats per la incertesa resulta tan incerta i complexa com el mateix present. I, tanmateix, és aleshores quan fa més falta.

1.1.1 La gestió de la incertesa

L'evolució de la història quasi mai no és lineal. El món avança a disrupcions, de manera que les previsions requereixen de revisions, rectificacions i replantejaments constants. La incertesa i l'atzar modelen l'avenir i solen desmentir la majoria de les previsions. Sense les previsions parcialment errònies, però, el desencert en la presa de decisions encara seria més gran. La prospectiva tracta de reduir aquests marges d'error.

La complexitat de la societat actual, amb interaccions cada cop més intenses i freqüents, afegeix més graus d'aleatorietat en qualsevol previsió. Hi ha fenòmens que tal vegada podríem predir si en coneguéssim la dinàmica, i altres que responen a la no linealitat més absoluta, comparables a la papallona que bat les ales al Brasil i acaba induint un tornado a Texas⁴. Lògicament, res

⁴ Celebrada imatge, que ha fet fortuna, proposada l'any 1963 pel meteoròleg Edward N. Lorenz. A diferència de la igualment coneguda fabulació del clau de ferradura que féu perdre a Napoleó la batalla de Waterloo (el cavall del missatger, en coixejar, no arribà a temps, cosa que desena denà una seqüència lineal d'ordres inadequades), la papallona de Lorenz modifica un sistema complex i indueix canvis absolutament imprevisibles en la dinàmica atmosfèrica.

no podem fer per enfrontar-nos a aquest segon tipus de fenòmens, fora de ser conscients que l'augment d'interaccions incrementa les possibilitats d'efectes no esperats. La prospectiva a mitjà o a llarg termini s'enfronta, doncs, a riscos d'error que cal assumir i, en la mesura del possible, minimitzar. L'assumpció vol dir ser conscient de tots aquells factors l'evolució dels quals no es pot controlar des de l'àmbit considerat; la minimització significa que cal controlar els factors sobre els que es pot incidir.

A partir de tantes incerteses i impredictibilitats, hom podria optar per la passivitat. En efecte, davant la impossibilitat de planificar amb seguretat el futur, podria optar-se per no fer res i deixar que les coses passessin al seu aire. Davant d'aquesta actitud permissiva s'aixeca la posició prospectivista i la subsegüent planificació estratègica que se'n deriva. En termes de bon govern, i amb la prudència i reserves oportunes, l'establiment d'escenaris responsablement prospectius i l'adopció de plans estratègics reajustables es revela com una actitud intel·ligent i útil, si més no per les raons següents:

- En la contrariació de tendències de risc no és tan important establir quan i com es concretarà l'amenaça detectada, sinó instal·lar la consciència que aquest risc existeix i el sistema s'hi encamina, car aleshores és més fàcil maniobrar amb rapidesa arribat el moment⁵.
- Es pot reflexionar amb temps sobre els criteris a seguir i preparar reaccions alternatives; és a dir, es pot substituir la reacció per la proacció i fer-ho entendre als agents socials.

El posicionament prospectiu, doncs, permet transmetre de manera coherent les decisions preses, entorn de les quals es pot generar un clima de complicitat. La prospectiva concreta, d'aquesta manera, el pensament i la planificació. Esdevé l'expressió de la voluntat, el desig d'incidir en el sistema malgrat la seva irreductible impredictibilitat completa.

Si un camp demanda avui dia previsions prospectives és l'energètic. Les incerteses són moltes en aquest domini. Es comprèn, car es tracta d'un espai transversal que abasta des de l'extracció

⁵ Sobre aquest punt un exemple ens col·loca de ple en l'àmbit energètic: la companyia petrolera Shell té una llarga experiència en el desenvolupament de prospectives a mig i llarg termini en forma d'escenaris. Pocs mesos abans de la crisi del petroli de l'any 1973, va ser presentat a la direcció un estudi prospectiu que contemplava dos escenaris titulats "coneixements convencionals" i "escenari de crisi de preu del petroli". L'estudi d'una possibilitat de crisi va fer que la companyia reaccionés amb molta més agilitat a la crisi, com si ja l'hagués viscuda.

de matèries primeres fins al consum final, tot plegat amb múltiples recorreguts possibles i amb nombroses variables associades a cada recorregut. L'única certesa és òbvia i ben negativa: els combustibles fòssils –o, més genèricament, les fonts d'energia no renovables– s'esgoten de manera inexorable.

El cas és que les previsions i la planificació energètiques s'han caracteritzat pels errors continuats i considerables: estimacions equivocades en l'evolució del preu del cru (desviacions de més del 500%), prediccions de tancament de centrals nuclears que no s'han complert; o la promesa sempre ajornada d'una font inesgotable d'energia a partir de la fusió de l'heli... Caldria afegir a la llista esdeveniments imprevistos que, encara que no relacionats directament amb l'energia, acaben tenint una gran influència en les dinàmiques de transformació i consum: el desastre de Txernòbil, l'atac terrorista de l'11 de setembre de 2001 o l'espectacular creixement de la Xina en els darrers anys, per exemple. A escala catalana hi ha també exemples d'aquesta mena, com és el cas dels canvis en l'estructura de la població i de les pautes de consum derivats del considerable flux migratori rebut en els darrers anys.

Tanmateix, la certesa de l'esgotament dels recursos energètics no renovables a mitjà o a llarg termini obliga a posicionar-se prospectivament. Aquests recursos no renovables constitueixen la base de més del 85% del total del consum d'energia a nivell mundial. La incertesa sobre quan arribarà el moment del seu exhauriment no ha de ser una excusa per no actuar, i més tenint en compte que, per raons de preu, deixaran presumiblement de ser assequibles per a determinats usos molt abans que no s'esgotin del tot.

1.1.2. Els escenaris tendencials, els exploratoris i els normatius

L'aproximació prospectiva en forma d'escenaris permet definir futurs possibles de manera quantitativa, qualitativa o mixta. Un escenari és un conjunt de suposicions sobre allò que podria passar en un futur, basat en l'experiència passada (però no pas en la simple extrapolació del passat). Així, doncs, per construir un escenari calen dades sobre tendències passades i presents, a més de conjetures plausibles sobre com aquestes tendències poden evolucionar en el futur. El fet que tot escenari futur tingui sempre components especulatius no invalida ni el seu rol ni la seva utili-

tat. El seu rol com a marc de referència, la seva utilitat com a suport per a la presa de decisions a partir de la identificació de problemes, amenaces i oportunitats.

Els escenaris poden ser de caire exploratori o bé de caràcter normatiu.

- *Els escenaris exploratoris* especulen sobre el futur en funció d'evolucions previstes d'un seguit de variables, i ho fan segons uns criteris definits prèviament. De vegades de tipus purament tendencial: el criteri que assumeixen és el de la continuïtat en les tendències històriques, amb escenaris del tipus “business as usual” que poden funcionar relativament bé en períodes curts. Tanmateix, majoritàriament no són meres extrapolacions lineals sinó que integren tendències diferents, marcades per criteris que s'han decidit prèviament i per a cada escenari concret. Els escenaris exploratoris responen en definitiva a la pregunta: *què passaria si s'esdevingués allò altre?* Els escenaris exploratoris poden ajudar polítics i gestors a identificar les principals dimensions i agents que modelen les evolucions futures, a entendre i explorar les interrelacions entre els principals agents i, finalment, permeten una visió més sistèmica i completa de les incerteses relacionades, per exemple, amb l'energia.
- *Els escenaris normatius*, en canvi, pretenen contrariar més fermament una tendència desfavorable. Fixen els objectius a assolir en un termini concret i, a partir d'aquí, estudien els camins i les possibilitats de reeixir. Els escenaris normatius responen al raonament següent: *si volem que passi això, hauríem de fer allò altre.*

Els escenaris normatius són prescriptius i estan orientats directament a l'acció pública, és a dir assumeixen que les accions polítiques poden modificar les tendències. Des d'una òptica sostenibilista, han de combinar les aspiracions per una qualitat de vida més alta i els compromisos de preservar la integritat de la biosfera amb el reconeixement dels nombrosos límits i incerteses del món real.

Els escenaris exploratoris i els normatius són complementaris. Per bé que cap d'ells busca la predicció, ambdós aprofundeixen en el coneixement del sistema actual i les seves possibles evolucions, els uns des de diferents hipòtesis de partida (els exploratoris) i els altres fixant els objectius finals (els normatius). L'estudi d'escenaris energètics mundials existents i la construcció de models pel que fa al consum a Catalunya han estat dues de les bases del present informe.

1.2 Les convencions i els intervals semàntics a propòsit de l'energia

S'ha fet usual parlar d'energia fòssil, d'energia renovable i d'energia nuclear com si aquestes tres denominacions cobrissin camps semàntics ben delimitats, completament disjunts i perfectament sumables per a completar un tot. No és gens exacte, sobretot si considerem la qüestió en termes temporals.

1.2.1 L'origen nuclear de tota energia

Els hidrocarburs o el carbó són fossilitzacions de matèria orgànica d'origen fotosintètic. Per tant, l'energia fòssil és, en realitat, energia solar fossilitzada. 'Fòssil' no s'oposa a 'solar', doncs, sinó a neo-orgànic, a matèria orgànica biodegradable acabada de sintetitzar. L'energia fòssil és energia solar d'una altra època i, per això mateix, irreplicable un cop alliberada dels enllaços orgànics. Per això l'energia fòssil no és renovable, tot i ser solar.

L'energia solar, a son torn, és d'origen nuclear (fusions de nuclis d'hidrogen per a formar nuclis d'heli) i no renovable a llarg termini, un tan llarg termini (milions d'anys) que, tanmateix, no té sentit pràctic considerar-la no renovable. El cas és que tota l'energia és d'origen nuclear i hem d'entendre, doncs, que nuclear, solar i fòssil són expressions temporals de la mateixa font energètica. Fins l'energia geotèrmica és nuclear en el seu remot origen.

La gestió energètica quotidiana es basa en l'explotació habilitosa d'aquesta asincronia. En efecte, s'explota en un mateix període el que correspon a processos generatius esdevinguts en períodes diferents. Per això tenim la sensació, actualment, de disposar de tanta energia.

I també per això, en consumir tan de pressa la fracció fossilitzada –la més fàcilment obtenible i manipulable– la societat industrial ha pogut desenvolupar-se amb tanta rapidesa (un milió d'anys d'acumulació solar fòssil es cremen cada any, aproximadament).

La reacció ambientalista, o la simple sensatesa administrativa, introduí el concepte d'energia renovable' (o, fins i tot, d'energia alternativa') com una metàfora útil, oposada al d'energia no renovable o fòssil. L'expressió, a causa de les seves connotacions ecològiques, també sol contraposar-se al concepte d'energia nuclear, en la ja referida i ben equívoca triangulació que ha esdevingut clàssica (fòssil, renovable, nuclear). En rigor, tota l'energia és nuclear i l'energia solar no és pròpiament renovable...

L'energia nuclear solar, o energia solar “*tout court*”, a més de 'renovable' és 'neta', perquè els residus de la seva generació es queden al Sol (no perquè no se'n produeixin...). Això accentua el caràcter amable d'aquesta font energètica: solar, renovable i net acaben esdevenint termes correlatius i fins pretesament intercanviables. No ho són exactament, però cal admetre que, a la pràctica, quasi que en resulten.

1.2.2. Les diferents manifestacions solars

Dins l'àmbit de les energies renovables, sol considerar-se un ampli ventall de possibilitats: l'energia solar, l'energia eòlica, l'anomenada energia hidroelèctrica, la biomassa, fins i tot l'energia mareomotriu o els biocombustibles... Tot són manifestacions de l'energia solar i per això acabem d'admetre que, a la pràctica, solar, renovable i net vénen a dir el mateix.

L'energia solar en sentit més estricte és l'energia solar tèrmica: l'escalfor que arriba del Sol és objecte de captura immemorial, fins i tot per part de molts animals (regulació tèrmica dels animals pecloterms o de sang freda, que 'paren el sol' en qualsevol recer, per exemple). L'anomenada energia solar fotovoltaica és ja una forma derivada que recorre l'efecte fotoelèctric per a generar electricitat, de manera comparable a com les plantes recorren a l'efecte fotoquímic governat pels pigments fotosintetitzadors (clorofil·la, principalment) per a fixar energia d'enllaç i bastir molècules orgàniques carbonatades. En definitiva, mentre que l'energia solar tèrmica captura directament radiació infraroja, l'energia solar fotovoltaica transforma radiacions lluminoses en electricitat.

L'energia eòlica és una expressió mecànica de l'energia solar, ja que el vent és aire que es mou a favor d'un diferencial termobaromètric generat pel Sol en diferents zones de l'atmosfera. Admet un aprofitament mecànic directe (vaixells a vela, molins de vent tradicionals, etc.) o una altra forma derivada que, com en el cas de l'efecte fotovoltaic, acaba generant electricitat: l'aerogeneració o energia eòlica tal com actualment s'entén.

Aquesta tendència a produir electricitat a partir d'energia solar presenta una tercera i ja quasi clàssica via en la generació hidroelèctrica (que és a l'aerogeneració el mateix que les rodes hidràuliques als molins de vent o a les veles). Si el vent és aire a favor de diferencial termobaromètric, la turbinació és aigua a favor de diferencial hipsomètric. És l'energia solar tèrmica qui evapora l'aigua marina i la diposita a cotes altes. I és energia solar gravitatòria (combinada amb la Lluna) l'agent causant de les mareas, susceptibles de generar electricitat mareomotriu.

Els biocombustibles o la biomassa alliberen energia de provinença també solar. Són l'expressió actual de l'energia lligada al procés desconstructiu de les molècules carbonatades d'origen fotosintètic, simètrica a l'expressió fòssil dels hidrocarburs, del gas natural o del carbó. Per això biocombustibles i biomassa són 'renovables', com tota forma energètica d'origen solar, però no gaire 'nets', ja que alliberen CO₂.

En definitiva, podem parlar d'una única font energètica, la nuclear, que pren la forma d'energia solar quan les reaccions de fusió tenen lloc al Sol. Tota la resta són derivacions i canvis d'expressió, la dificultat resideix a controlar-les adequadament. Mentre no hem sabut fer-ho –encara no en sabem prou, o no pas de forma prou segura– l'estalvi biosfèric de les energies fossilitzades ha suplerit la nostra inhabilitat tècnica.

1.2.3. Les formes d'obtenció de l'energia

Tot plegat porta a haver d'admetre que el nus de la qüestió no és identificar les fonts energètiques bàsiques (només n'hi ha una: la nuclear), sinó les formes d'obtenció de les diverses expressions en què es manifesta l'energia. Bàsicament són quatre:

- *Captació* directa d'energies 'lliures' (vent, aigua elevada, escalfor radiant,...).
- *Extracció* de compostos orgànics rics en energia d'enllaç, fòssils o no (hidrocarburs, gas natural, carbó, llenya, biomassa...).
- *Generació* d'expressions energètiques aplicables a les nostres necessitats, principalment electricitat (aerogeneració, hidrogenació, fotogeneració, nucleogeneració, geogeneració,...).
- *Transformació* seqüenciada d'expressions energètiques successives a fi de compatibilitzar-les amb el motor o destinatari final (la mateixa producció d'electricitat o l'hidrogen).

Aquestes quatre formes d'obtenció d'energia corresponen a conceptes distints que es mouen en plans diferents. Formen part de l'univers semàntic equívoc a què ens hem referit més amunt. Així, és comú parlar de 'producció' de petroli per a referir-se a l'extracció del cru i al procés petroleoquímic posterior o és corrent parlar de 'generació eòlica' per a referir-se a la generació elèctrica a partir de la captació mecànica feta pels aerogeneradors. Cal fer un esforç per anar precisant la terminologia i evitar equívocs semàntics que desemboquin en confusions conceptuals.

Una altra qüestió important és la dels residus ocasionats en els processos d'obtenció o d'utilització. La brutícia associada a l'extracció del carbó o el fum de les calderes acompanyà els primers temps de la revolució industrial, aleshores que la novetat i l'enlluernament del vapor minimitzaven la percepció del costat negatiu del procés. Amb els hidrocarburs ha passat el mateix, però en èpoques de menor entusiasme i de més sentit crític, sobretot des que alguns d'aquests efectes han pres dimensions planetàries (exaltació de l'efecte d'hivernacle). Per això, el gas natural també té detractors, tot i que resulti més net en termes de contaminació convencional. Fins i tot la combustió de biomassa es veu afectada en aquest sentit, sobretot quan s'associa a la incineració de fraccions més o menys orgàniques de residus diversos.

Les reaccions nuclears de fissió no generen aquesta mena de problemes, però instauren situacions no pas menys inquietants. Van arribar, com a quarta ona energètica, a una societat previnuda pels efectes de les tres anteriors (biomassa, carbó i petroli), de manera que han estat mirades amb molta prevenció. El problema principal és el risc radioactiu residual, naturalment. L'energia nuclear de fissió no provoca contaminació atmosfèrica i és abundant (fins a cert punt: els jaciments d'urani són limitats), però perillosa. Un cop més, les limitacions dels processos tècnics dificulten la gestió energètica.

També dignes de consideració són les modificacions territorials provocades per l'obtenció energètica. L'entusiasme inicial de l'ecologisme per l'energia eòlica ha esdevingut rebuig en alguns sectors a causa de les alteracions paisatgístiques que comporten els parcs eòlics. Aquest canvi d'actitud té precedents en el camp hidroelèctric, l'energia renovable clàssica, cada cop més contestada per les alteracions que les rescloses o les minicentrals causen en els cursos fluvials.

Vist així: quin sentit té la locució 'energies alternatives', aplicada durant molt de temps a les expressions energètiques que, per pretesament netes i duradores, s'aplicava a les energies renovables? Fins i tot: existeixen, realment, 'energies renovables'? En realitat, cap font energètica no és enterament renovable, ni completament neta. Convé abandonar els simplismes i admetre la complexa natura de les coses.

A la vista de tot plegat, i per tal que tots aquests aspectes quedin recollits en una terminologia més ajustada que l'habitual, en el present informe adoptem l'ordenació següent:

- *Energia alliberada per reacció combustiva*
 - Extracció de dipòsits no renovables (fòssils) d'energies del carboni
 - Carbó
 - Petroli
 - Gas natural
 - Explotació de fonts biodegradables d'energies del carboni
 - Biomassa
 - Explotació de fonts no biodegradables d'energies del carboni
 - Fracció fòssil dels residus
- *Energia generada per reacció nuclear*
 - Nuclear de fissió
 - Nuclear de fusió (tecnologia no disponible)

- *Energia capturada*

- Captació d'energies lliures i renovables d'origen solar

- Eòlica

- Termosolar

- Fotovoltaica

- Transformació cinètica d'energies potencials renovables

- Hidroelèctrica

- Mareomotriu

- Captació d'energies lliures i renovables d'origen geonuclear

- Geotèrmica

L'hidrogen i les piles de combustible no figuren en aquesta relació. L'hidrogen és un transportador energètic (*carrier*), no pas una font. Ve a ser com la mateixa electricitat, que és l'expressió energètica potser més important, però es genera sempre a partir de fonts preexistents: hi ha electricitat o hidrogen perquè primer hi ha reaccions nuclears, o formes d'energia solar (carbó, petroli i gas natural inclosos).



La situació actual del sistema energètic global

2

2.1 El sistema energètic

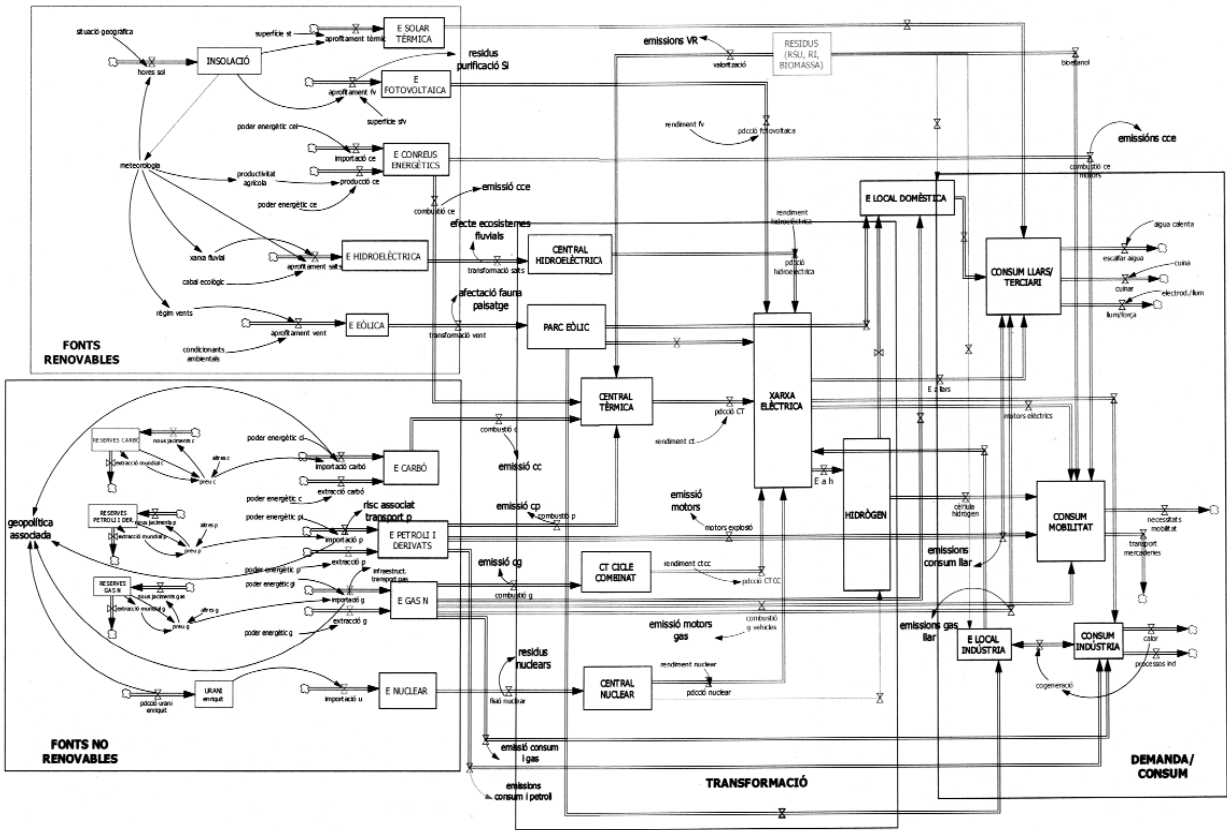
El món de l'energia constitueix un veritable sistema, és a dir un conjunt complex d'elements interaccionats. La incertesa i les interdependències amb el sistema socioambiental graviten tothora sobre el sistema energètic. Arreu del planeta, l'energia flueix en xarxa. És pertinent, per tant, mirar la situació general de l'energia al món abans de centrar-nos en l'estat del sistema energètic català.

2.1.1 Els àmbits del sistema

El sistema energètic és clarament transversal, tal com mostra la representació conceptual simplificada de la figura 2.1. S'hi identifiquen tres àmbits diferents, en funció del procés:

- *L'abastament de matèries primeres energètiques.* En el cas de les matèries primeres no renovables inclou l'extracció, el tractament (refinament del petroli, purificació i enriquiment de l'urani, etc.) i el transport global. Es tracta d'un àmbit de geografia global, atesa la distribució irregular de les fonts i la geopolítica associada al seu control.
- *La transformació i la distribució d'energia.* La transformació energètica es realitza principalment per reaccions combustives i nuclears a partir de matèries primeres energètiques. També es pot realitzar, tanmateix, a partir de la captació d'energies renovables d'origen solar o de la transformació cinètica d'energies potencialment renovables. El sistema de transport energètic o *carrier* més usat actualment és l'electricitat.
- *El consum final* és el conjunt d'energia lliurada als consumidors dels sectors industrial, transport, residencial, terciari i primari per al seu aprofitament. D'aquesta se n'aprofita l'*energia útil*, que és la utilitzada per satisfer una necessitat energètica, real o creada.

Figura 2.1. Esquema del sistema energètic



Font: elaboració pròpia

La figura 2.1 incorpora els múltiples recorreguts de l'energia, fruit de la diversitat de combustibles, transformacions, formats de transport i usos finals. Cadascun d'ells té associat eficiències i externalitats diferents. Als recorreguts tradicionals i majoritaris s'afegeixen d'altres d'emergents, com ara l'hidrogen.

2.1.2. Els factors estratègics

Els factors estratègics lligats a l'energia es relacionen amb les fonts primàries, amb la transformació i distribució, i amb el consum. Els factors estratègics associats a les fonts primàries d'energia són l'autonomia, la seguretat i la governabilitat global. En l'àmbit de la transformació i la distribució, els factors estratègics clau són l'eficiència, el model de centralització/distribució i el preu. En l'àmbit del consum són els models social, econòmic, tecnològic, fiscal i territorial. El conjunt constitueix una matriu complexa de capital importància per al sistema social i econòmic.

Els factors estratègics associats a les fonts primàries, és a dir als recursos físics que forneixen l'energia, són:

- *L'autonomia* energètica, que és la capacitat per aplicar mesures energètiques des de i a partir de l'escala local. La majoria de països occidentals, i en especial els europeus, grans consumidors d'energia però mancats de quantitats significatives de materials energètics fòssils i nuclears, disposen de poca autonomia. Pateixen, doncs, una forta dependència exterior pel que fa a l'obtenció de matèries primeres energètiques.
- *La seguretat* energètica, que és la possibilitat de mantenir unes estratègies energètiques prefixades davant de discontinuïtats o falles en l'abastament. En l'actualitat, les limitacions de seguretat vénen donades, bàsicament, per la capacitat d'accés a materials energètics fòssils. El possible declivi del seu abastament dibuixa, en un horitzó incert, un escenari futur de crisi energètica (vegeu 3.2).
- *La governabilitat global* està molt relacionada amb el sistema energètic. L'energia s'ha anat configurant al llarg del segle XX i principi del XXI com un vector d'instabilitat global. De fet,

Taula 2.1.
Àmbits i factors estratègics del sistema energètic

Àmbits	Factors estratègics
FONTS PRIMÀRIES D'ENERGIA	Autonomia
	Seguretat
	Governabilitat global
GENERACIÓ I DISTRIBUCIÓ ENERGÈTICA	Eficiència
	Centralització/distribució
	Preu
DEMANDA ENERGÈTICA	Model social
	Model econòmic
	Tecnologia
	Fiscalitat
	Model territorial

Font: elaboració pròpia

la situació geopolítica mundial de principi del segle XXI està associada a l'acapament de recursos fòssils, aspecte que condiciona negativament les possibilitats de governabilitat global.

En l'àmbit de la transformació i la distribució, cal considerar els factors estratègics següents:

- *L'eficiència*, que és la relació entre eficàcia i esforç. L'eficiència energètica és la relació entre l'energia útil obtinguda mitjançant un procés energètic i l'energia continguda en els materials energètics utilitzats. En aquest àmbit, l'eficiència energètica afecta els sistemes d'extracció, transport, processament, transformació i distribució de l'energia.
- *La distribució centralitzada* d'energia (generació centralitzada d'electricitat, distribució canalitzada de gas, etc.) ha estat el model al que s'ha tendit durant la segona meitat del segle XX. És una tendència lligada al propi desenvolupament del model industrial, en què les economies d'escala de les grans centrals, amb la corresponent minimització de despeses per unitat de producte energètic, justifiquen les grans instal·lacions productores i en què la seguretat de subministrament –que ofereix la xarxa de producció centralitzada– és un factor molt valorat.
- *El preu de la generació* energètica és un factor clau en el sistema energètic actual, perquè condiciona l'accés a determinades fonts energètiques i la possibilitat de desenvolupament de fonts renovables.

Finalment, en l'àmbit del consum cal tenir en compte:

- *La tecnologia*, fonamental en termes d'eficiència, de generació de residus, etc. El rendiment de motors i màquines, així com el tipus de combustible o energia utilitzada (gasolina, electricitat, hidrogen, etc.) en depèn absolutament, i de retruc, la demanda global d'energia.
- *El model social* en què s'opera. L'evolució dels valors individuals i col·lectius és clau en la configuració del consum energètic.
- *El model econòmic*, que al capdavant és indestriable del model social.
- *La fiscalitat*, estretament relacionada amb el model socioeconòmic. La repercussió fiscal de les diferents opcions energètiques estimula o desincentiva determinades pràctiques, de manera que per via de la fiscalitat es fa econòmicament viable o inviable una opció o una altra.

- *El model territorial*, que determina la majoria de paràmetres lligats a la mobilitat obligada i al transport de mercaderies.

2.1.3. Els àmbits escalars: Catalunya, Espanya, Europa, món

El sistema energètic té característiques multidimensionals. Molts dels aspectes lligats a l'energia es defineixen de forma diferent segons l'escala que es consideri, mentre que les implicacions en cada àmbit escalar són diferents. Les externalitats, la tecnologia, la capacitat d'intervenció o la pròpia sostenibilitat del sistema energètic es definiran de forma diferent segons l'àmbit escalar considerat. Cal tenir present aquest caràcter multidimensional per poder definir amb claredat les accions que es poden impulsar des de l'àmbit català i aquelles que ens vindran donades per variables sobre les quals la influència serà mínima.

En aquest sentit, Catalunya es mou en un nivell escalar modest, ja que les variables que limiten l'acció són les associades a la dimensió i a les competències políticoadministratives. En efecte, la dimensió del país defineix la seva capacitat de consum, i per consegüent la capacitat d'intervenció en els mercats globals. El consum d'energia de Catalunya per si sol no dóna cap opció d'intervenir en els mercats globals. Quant a la distribució de competències polític-administratives en l'àmbit energètic, les de Catalunya queden definides en el propi Estatut i en els dos marcs jurídics superiors: la Unió Europea i l'Estat Espanyol.

A nivell europeu, l'energia és una de les competències compartides entre els estats i la Unió, tal com recullen els tractats actuals i el projecte de Tractat pel qual s'estableix una Constitució per a Europa. La gran quantitat d'actes legislatius, directives, etc. i de programes de finançament europeus de les darreres dècades són la prova pràctica de la seva aplicació competencial. Quant a Espanya, l'estat té competències exclusives en les bases del règim energètic (art. 149 de la Constitució Espanyola). Això afecta aspectes clau com la planificació energètica global, l'autorització de les centrals de generació elèctrica d'una certa dimensió, etc., però també les estratègies globals com ara la *Estrategia Española de Eficiencia Energética 2004-2012*, també coneguda com a E4. Això no impedeix, però, que Catalunya pugui elaborar la seva pròpia planificació centrada en els àmbits de decisió lligats a la seva escala.

D'altra banda, Catalunya no es configura com un sistema energèticament aïllat, sinó com un de plenament connectat: les xarxes elèctriques o gasístiques són avui dia d'abast europeu. La progressiva integració dels mercats energètics i la liberalització del sector fan del sistema energètic una xarxa amb una interconnexió creixent, per motius de seguretat i de fiabilitat.

En definitiva, l'àmbit de decisió de Catalunya és limitat, però no pas irrellevant. La capacitat d'intervenció és més important quan més local és l'escala. D'aquesta manera, el consum serà l'àmbit energètic en què es podrà incidir amb més força des de Catalunya (vegeu més detall a 4.1.1). La taula 4.1 resumeix la capacitat d'intervenció de Catalunya pels diferents àmbits de l'energia.

2.2

L'obtenció d'energia per reacció combustiva

Existeixen moltes maneres diferents d'obtenir energia. La primera utilitzada per la humanitat i la més utilitzada encara avui dia és la reacció combustiva. Si bé històricament el combustible utilitzat havia estat la font renovable de la biomassa, des de l'inici de la revolució industrial els combustibles més utilitzats són els fòssils, no renovables. Uns i altres alliberen CO₂ en ser cremats i, doncs, contribueixen a exaltar l'efecte d'hivernacle.

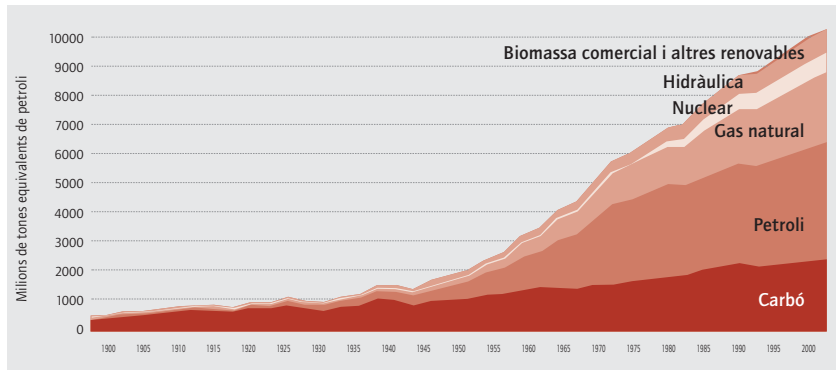
2.2.1 A partir de l'extracció de dipòsits fòssils d'energies del carboni

L'obtenció d'energia a partir de fonts fòssils del carboni és el sistema més estès d'aprofitament energètic des del segle XVIII ençà. Tot i que la proporció de cadascuna de les fonts fòssils –carbó, petroli i gas natural– ha variat significativament en el darrer segle, el conjunt de les energies d'origen fòssil continua essent el principal pilar del sistema energètic mundial, tal com mostra la figura 2.2.

La figura 2.4 il·lustra els principals factors a considerar associats a l'obtenció d'energia de fonts fòssils.

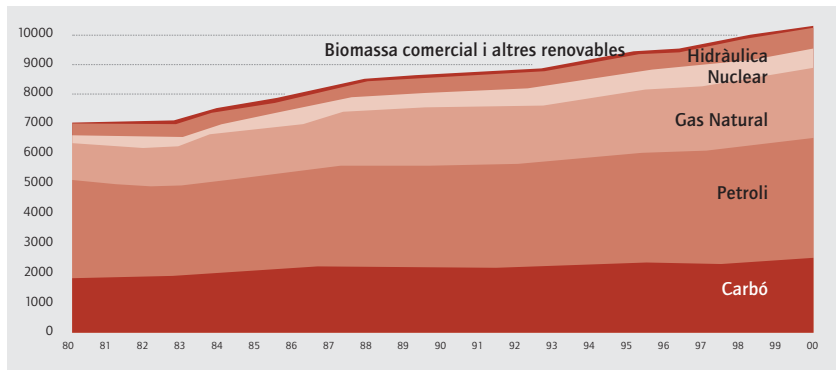
Les externalitats associades als recursos energètics fòssils a nivell global són principalment dues: els conflictes derivats de l'estructura geopolítica actual, basada en l'accés a aquests recursos, i els efectes sobre el clima de la progressiva concentració de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH, vegeu 3.3.1).

Figura 2.2. Evolució del consum mundial d'energia primària (1900-2002) exclosa l'energia no comercialitzada (l'lenya, etc). El consum mundial d'energia primària no ha parat de créixer a partir de la revolució industrial, especialment des de mitjans del segle XX.



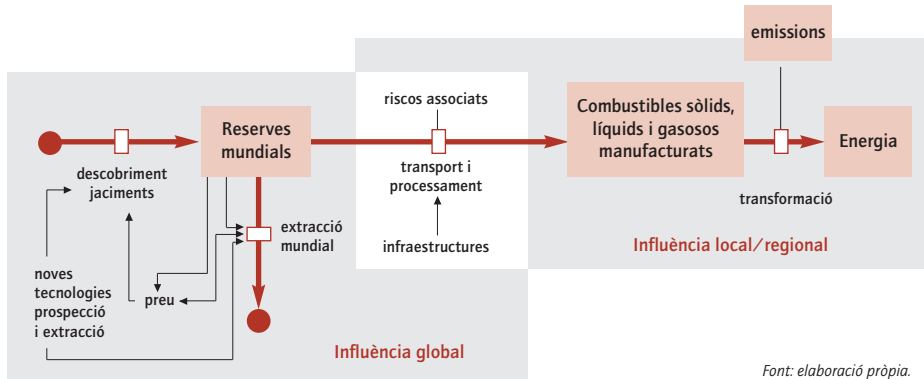
Font: Energy Information Administration, EIA 2002.

Figura 2.3. Evolució del consum mundial d'energia primària (1980-2002), exclosa l'energia no comercialitzada (l'lenya, etc). Les crisis del petroli de 1973 i 1979 van reduir-ne el ritme de creixement, que tornà a ser ascendent a partir de mitjan anys vuitanta.



Font: Energy Information Administration, EIA 2002.

Figura 2.4. Esquema de la transformació d'energia lligada a fonts fòssils.



Font: elaboració pròpia.

El carbó

El carbó va ser el primer material energètic fòssil a ser explotat de manera massiva, en concret com a combustible de la primera revolució industrial. La proporció d'energia primària provinent del carbó ha variat molt durant el segle XX: el 1900 representava un 55% de l'energia primària consumida a nivell mundial (450 Mtep), mentre que l'any 2002 era tan sols el 23% (2.389 Mtep).

Els jaciments de carbó es troben concentrats geogràficament en pocs països, però precisament molts d'aquests països són els més grans consumidors d'energia: EUA, la Xina, Rússia, Austràlia i Alemanya, principalment. Aquesta distribució geogràfica fa del carbó un recurs amb poques implicacions geopolítiques globals, tant avui dia com en el futur immediat. Tanmateix, el fet que la Xina posseeixi una de les reserves de carbó més grans i que es proposi servir-se'n pot incrementar considerablement les concentracions futures de GEH a l'atmosfera i dificultar la seva incorporació al sistema del protocol de Kioto.

L'ús principal del carbó (69%) és la generació elèctrica a partir de la seva combustió en grans centrals tèrmiques, amb rendiments baixos (30-35%) i impactes ambientals severos. Els principals impactes ambientals del carbó com a font energètica són les emissions contaminants (òxids de sofre i de nitrogen i partícules en suspensió, principalment) i les elevades emissions de CO₂ produïdes en la seva combustió. Les plantes més modernes utilitzen sistemes de depuració que limiten els nivells d'emissió de contaminants atmosfèrics.

Un altre ús, no majoritari però força estès en alguns països com Sudàfrica, és la seva utilització com a font de combustibles líquids, mitjançant el procés de conversió de carbó a líquid (CTL, de l'anglès *coal to liquid*). Aquest sistema permet obtenir un combustible apte per a la propulsió de vehicles mitjançant motors de combustió interna diesel.

El petroli

L'ús del petroli com a matèria primera energètica va suposar un pas qualitatiu en l'evolució de la societat industrial al llarg del segle XX. La seva facilitat de transport i la seva elevada densitat energètica l'ha fet esdevenir el combustible ideal per a motors en moviment, fins al punt que avui dia el sector del transport té una dependència quasi absoluta (més del 90%) del petroli. Les seves qualitats químiques l'han fet valuósíssim per a les indústries petroquímiques i farmacèutiques, permetent obtenir tota mena de productes: plàstics, fibres sintètiques, medicaments, etc.

Aquests nous usos del segle XX s'han desenvolupat especialment els darrers 50 anys. Des de 1965 a 1979 l'extracció de petroli es va duplicar, passant de 1.566 a 3.233 milions de tones anuals. Avui dia, és la matèria primera energètica més consumida mundialment (3.676 Mtep l'any 2002, el 36% del consum d'energia primària) i, malgrat el considerable increment del seu preu al llarg de l'any 2004 (fins a un 70% en 6 mesos), les previsions immediates no apunten a una davallada en el seu ús.

Pel que fa a les empreses petrolieres privades, es dona una paradoxa important. Els mals resultats econòmics dels darrers anys han provocat que els beneficis actuals, fruit dels preus elevats del petroli, es destinin a repartir dividendes, en comptes d'invertir en noves tecnologies o en exploracions. Aquesta situació escurça doblement les reserves: per manca de noves troballes i pel ritme d'explotacions actual.

Els usos energètics del petroli se centren en el transport i en la generació d'electricitat⁶. Tanmateix, la distribució entre aquests àmbits varia molt segons els països. Així, els països desenvolupats centren el seu ús en el sector del transport, mentre que la seva utilització per a la generació elèctrica ha disminuït sensiblement. En canvi, en molts països en desenvolupament es produeix un creixement del seu ús tant en el sector del transport com en la generació elèctrica.

⁶ Els usos no energètics del petroli els concentren les indústries petroquímiques i farmacèutiques, esmentades anteriorment.

Catalunya ha disposat de reserves testimonials de petroli, a la costa de Tarragona. Aquestes reserves aportaren un màxim del 6% del consum de petroli del país. Avui dia estan pràcticament exhaurides.

El gas natural

Cronològicament, el gas natural ha estat el tercer material energètic fòssil en entrar en el *mix* energètic mundial. Està predestinat a ocupar un rol significatiu els propers anys, com a combustible de transició entre l'actual model basat en el petroli i un de futur amb menys fonts fòssils (vegeu 3.3). Actualment (2002) aporta el 21% de la demanda d'energia primària mundial (2.190 Mtep).

El gas natural s'extreu dels mateixos jaciments que el petroli, com a subproducte extractiu. Això fa que el seu preu estigui indexat al del petroli. Encara que la seva composició varia en funció del jaciment, el gas natural és bàsicament metà en proporcions que normalment superen el 90%.

Les reserves de gas natural es concentren a l'Orient Mitjà i Rússia, que disposen conjuntament més del 70% de les reserves mundials (Rússia, Iran i Qatar en tenen el 55%). Tanmateix, la seva distribució és internacionalment més distribuïda que la del petroli.

La dificultat en el transport del gas natural des dels jaciments i fins als centres de consum, condicionada per la seva baixa densitat, s'ha resolt tradicionalment de dues maneres: mitjançant la construcció de grans gasoductes o bé mitjançant la líquüefacció del gas (GNL, o LNG en les seves sigles en anglès) en origen i la seva regasificació en destí. A més d'aquestes dues pràctiques majoritàries, una tercera agafa força progressivament: la tecnologia GTL (*gas-to-liquid*), consistent en la conversió del gas natural en hidrocarburs nets en forma líquida. Aquesta transformació es realitza a la sortida dels pous, i fa intervenir un dels agents principals en la transició energètica: les companyies petrolieres.

El gas natural s'usa per a la generació d'electricitat, per a usos domèstics i serveis (calefacció, aigua calenta sanitària i cuina) i per a l'automoció. La utilització que ha crescut més els darrers anys és la primera, sobretot a partir de la construcció de centrals tèrmiques de cycle combinat, amb rendiments del 55-57%. El seu ús domèstic i de serveis és relativament baix. El seu ús en automoció és encara minoritari a nivell mundial, però significatiu en alguns països: el gas natural comprimit (GNC) és combustible habitual en vehicles a l'Argentina, l'Índia i el Pakistan.

2.2.2. A partir de l'explotació de fonts biodegradables d'energies del carboni

L'aprofitament energètic de la llenya, és a dir de biomassa extreta dels boscos, fou el primer sistema de demanda energètica de la humanitat. Un sistema que avui dia encara és àmpliament usat en els països en desenvolupament; de fet, en molts països, és l'únic sistema d'aprofitament energètic a l'abast de la majoria de la població.

La major part de l'aportació energètica de la biomassa es fa a través de sistemes no comercials, en països en desenvolupament en els quals l'ús dispers fa molt difícil estimar el consum real. Quant als sistemes comercials, la generació elèctrica a partir de la biomassa i dels residus aporta el 2% del conjunt de la generació mundial d'electricitat (207 TWh). Més enllà de l'interès energètic, l'aprofitament de determinades fraccions de la biomassa, sobretot quan té caràcter residual, radica en la seva retirada com a contaminant potencial o com a càrrega de foc en els ecosistemes forestals.

La biomassa

La biomassa és la massa total de matèria viva existent en un ecosistema. Energèticament, comprèn la generació de calor, electricitat o moviment a partir de matèria orgànica natural, biodegradable: llenya, conreus, residus biodegradables, fangs de depuradora, residus ramaders, etc. Els usos de la biomassa s'han multiplicat i diversificat les darreres dècades, atesa la seva polivalència com a recurs.

A partir de la matèria primera, es diferencien cinc tipus de biomassa:

- *La biomassa forestal*: estassades forestals, restes de poda, residus del procés de transformació de la fusta, etc.
- *La biomassa agrícola*: conreus energètics i residus de les indústries agroalimentàries.
- *Els residus ramaders*: purins, fems i gallinassa.
- *Fracció biodegradable dels residus municipals*: residus de fruita, verdura, carn, peix i closques d'ou i fruits secs.
- *Altres residus biodegradables*: olis vegetals, fangs d'EDAR, etc.

L'aprofitament energètic de la biomassa pot provocar impactes ambientals importants, com ara la desforestació incontrolada de grans zones de països en desenvolupament. Per contra, en els països desenvolupats l'aprofitament de la biomassa adquireix un nou paper atès el seu caràcter positiu (combustible neutre) en la reduc-

ció de les emissions de GEH establerta en el protocol de Kioto. Convé no oblidar, tanmateix, que aquesta convenció emanada del protocol de Kioto no significa que la combustió de la biomassa no envii CO_2 a l'atmosfera... Així doncs, els països occidentals tenen expectatives importants en l'aprofitament energètic a partir de biomassa forestal.

Les tecnologies d'aprofitament de la biomassa s'estructuren en tres grans grups en funció del tipus de tractament intermig: tecnologies termoquímiques, fisicoquímiques i bioquímiques. En qualsevol cas, l'aprofitament energètic final sempre té lloc a través d'una reacció combustiva, sigui en una central tèrmica, en un motor de combustió interna, etc.

- *Els processos termoquímics* obtenen energia elèctrica a partir de la conversió tèrmica de la biomassa. Existeixen tres tecnologies termoquímiques: la combustió directa, la gasificació i la piròlisi.
- *Els processos fisicoquímics* són tecnologies de conversió química per obtenir biocombustibles sòlids (carbó vegetal...) o líquids (biodiesels i bioalcohols).
- *Els processos bioquímics* es produeixen mitjançant una descomposició bacteriana que elimina la matèria orgànica. El sistema més estès és la metanització o digestió anaeròbia, que produeix un gas combustible amb una elevada proporció de metà (CH_4) anomenat biogàs.

La combustió directa, la gasificació i la piròlisi

Les característiques bàsiques de cadascuna de les tecnologies termoquímiques són:

- *La combustió directa* és la tecnologia més usada històricament, però està actualment en davallada en llocs com Catalunya. És l'única tecnologia termoquímica avui dia comercialment viable.
- *La gasificació* és una combustió incompleta a temperatures d'entre 800 i 1.500 °C. El producte de la gasificació és un gas de síntesi, que es pot fer servir amb finalitats energètiques (motors, turbines de gas per produir electricitat, etc.).
- *La piròlisi* és la descomposició termoquímica dels residus en fraccions líquides, gasoses i sòlides, totes tres utilitzables posteriorment energèticament.

Les tecnologies termoquímiques es fan servir sobretot a partir de biomassa forestal i de la fracció biodegradable dels residus municipals.

Quant a l'obtenció d'energia a partir de biomassa forestal, presenta dificultats en països occidentals degudes sobretot a la manca de matèria primera, relacionada amb la disminució de l'activitat productiva forestal. Així doncs, el problema de fons de la generació energètica a partir de biomassa forestal és l'absència d'activitat econòmica de valor associada al bosc, capaç de generar residus o subproductes no reciclables.

La situació del sector forestal és complicada: amb prou feines s'arriba a cobrir costos per a la fusta d'alta qualitat. En conseqüència, la fusta de menor qualitat (la més abundant a Catalunya: pi blanc, alzina jove, etc.) no té sortida comercial. El cost del desembosc i transport a l'engròs com a activitat econòmica *per se* i amb qualitat, és a dir sense malmetre els valors naturals del bosc, és molt elevat. Això encareix molt la biomassa i dificulta la viabilitat econòmica de les centrals tèrmiques de biomassa forestal.

Un altre element que ha desincentivat l'aprofitament de la biomassa forestal a Catalunya ha estat l'equiparació –per part de l'Administració– a efectes pràctics, de moltes centrals de biomassa amb les incineradores de residus municipals, cosa que significa inversions importants en filtres per minimitzar les emissions contaminants. La incapacitat d'algunes petites i mitjanes empreses per fer front a les inversions de filtres necessàries i els preus no competitius de la biomassa forestal han fet disminuir significativament l'aprofitament energètic de la biomassa forestal a Catalunya entre 1986 i 2000.

Quant a l'obtenció d'energia a partir de la fracció biodegradable de residus municipals, tracta d'aprofitar els valors energètics dels residus. La societat moderna genera quantitats ingents de residus de diferents tipus: domèstics o municipals, industrials, de la construcció, etc. Els dos primers, ultra fraccions reciclables diverses, poden contenir valors energètics relativament elevats, cosa que ha permès que arreu del món fossin aprofitats per a la generació elèctrica mitjançant combustió. D'aquest aprofitament energètic se'n diu 'valorització'.

L'eficiència del sistema depèn de la natura i l'homogeneïtat dels residus. Bona part de la seva rendibilitat està associada a una òptima gestió prèvia dels residus (separació de fraccions indesitjables). La valorització és una alternativa per aquells residus que no han pogut seguir cap altra opció ambientalment òptima (reutilització o reciclatge); una alternativa millor que la seva disposició final en abocador.

En efecte, la jerarquia ambiental dels residus estableix com a preferible valoritzar energèticament els residus que disposar-los en un abocador controlat. Quant a la fracció biodegradable dels residus municipals, això és perquè la seva disposició en abocador controlat suposa emissions de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ elevades en forma de metà (21 tones $\text{CO}_{2\text{eq}}$ per tona de metà), mentre que la seva combustió emet només CO_2 (1 tona $\text{CO}_{2\text{eq}}$ per tona de CO_2 , naturalment). A més, d'acord amb el protocol de Kioto, aquesta darrera emissió associada a la combustió de la fracció orgànica té un balanç neutre (factor 0 d'emissions de CO_2), atès el seu origen renovable. També cal tenir en compte que la directiva europea 99/31/CE, relativa a l'abocament de residus, estableix que els residus municipals biodegradables destinats a abocador hauran d'haver-se reduït l'any 2016 fins a un 35% de la quantitat total (en pes) dels residus municipals biodegradables generats el 1995.

Els biocombustibles

Distinta és l'estratègia d'orientar la producció agrícola a l'obtenció de biocombustibles. Les tecnologies fisicoquímiques permeten obtenir biocarburants (biocombustibles sòlids o líquids) a partir de conreus energètics mitjançant conversions fisicoquímiques. Els biocombustibles són una opció parcial de futur en el sector de l'automoció, atès el seu potencial de reducció de les emissions de CO_2 . Els dos principals biocombustibles són el biodiesel i el bioetanol, que normalment es fan servir mesclats amb combustibles convencionals (biodiesel amb el gasoil i bioetanol amb la gasolina), tot i que el primer d'ells també es pot fer servir sol, sense mesclar amb el gasoil.

El biodiesel s'obté de conreus de soia i altres llavors oleaginoses o bé a partir d'olis vegetals reciclats. La mescla de biodiesel amb gasoil convencional funciona sense problemes en motors diesel estàndard. Alguns països de l'OCDE ja l'empren en diferents proporcions de mescla: 5% a França, 20% als EUA i fins al 100% a Alemanya. De fet, la producció de biodiesel es concentra a Europa, essent Alemanya, França i Itàlia els primers productors mundials.

El bioetanol és una barreja d'alcohols vegetals procedents de conreus de canya de sucre, blat de moro i remolatxa principalment. Es pot fer servir en vehicles convencionals en mescles amb gasolina de fins el 10%. Per a mescles amb un contingut més gran d'etanol és necessari realitzar modificacions en els motors dels

vehicles. Els dos països que consumeixen més etanol són el Brasil i els EUA, amb un volum de producció similar, tot i que representa el 30% de la demanda al Brasil i només el 2% als EUA. De fet, tota la gasolina venuda al Brasil conté entre un 22 i un 26% d'etanol en volum. La producció d'etanol a Europa és molt petita, essent Espanya el principal productor europeu.

Però els conreus energètics presenten també limitacions, relacionades amb la seva baixa densitat energètica i amb els impactes ambientals de l'explotació a gran escala, necessària per a una comercialització general.

El biogàs

El biogàs s'obté a partir de la metanització o digestió anaeròbia de residus biodegradables, com ara residus ramaders, fangs d'EDAR o residus municipals. En aquest últim cas, el biogàs es pot aprofitar des de l'abocador o a partir de plantes específiques, denominades ecoparcs a Catalunya. Quant als fangs d'EDAR, s'aprofiten a partir de la depuració biològica d'aigües residuals. En relació als residus ramaders, el sistema d'aprofitament és mitjançant la construcció de seccions de metanització en els centres de tractament de purins.

2.2.3. A partir de l'extracció de fonts no biodegradables d'energies del carboni

La fracció fòssil dels residus

La fracció fòssil, no biodegradable, dels residus municipals i industrials també s'aprofita energèticament. De fet, la valorització energètica és especialment indicada per a determinats materials d'origen fòssil, atès el seu poder calorífic. L'enterrament en abocador d'aquest material energètic un cop ha esdevingut inútil i no es pot reciclar és un despropòsit energètic i ambiental. Finalment, també cal assenyalar que la valorització energètica dels residus també permet reduir les aportacions a abocadors i, doncs, allargarne la vida útil.

La valorització energètica dels residus d'origen fòssil es fa mitjançant processos termoquímics de combustió directa, tot i que eventualment també es podrien fer servir tecnologies de gasificació o piròlisi. Un aspecte que ha frenat l'extensió de la valorització energètica dels residus és l'impacte ambiental de les centrals de

combustió, les incineradores. L'impacte ambiental se centra en el risc associat als compostos químics resultants de la combustió (dioxines, furans, emissions sulfurades o nitrogenades, etc.). Per tal de minimitzar aquest risc, les legislacions europea, espanyola i catalana han introduït exigències molt restrictives per a aquest tipus de centrals, cosa que ha obligat a instal·lar-hi els més moderns filtres i tecnologies de depuració de gasos.

Tanmateix, l'acceptació social de les centrals de combustió de residus és molt baixa en el conjunt de l'estat, i en particular a Catalunya (però no pas a la gran majoria de països europeus, que hi recorren de manera habitual). En qualsevol cas, la incineració de residus és una tecnologia sotmesa a exigències ambientals molt estrictes, l'observació de les quals fa baixar a nivells mínims els seus riscos ambientals.

2.3

L'obtenció d'energia per reacció nuclear

Tal com ja ha estat posat de manifest, tota l'energia és d'origen nuclear. En el llenguatge corrent, però, l'energia nuclear és només la provinent de les centrals termoelèctriques que generen electricitat a partir de reaccions nuclears controlades a partir d'isòtops de l'urani (U^{235})⁷.

2.3.1 La fissió nuclear

La fissió nuclear és una reacció nuclear exoenergètica consistent en la partició d'un nucli atòmic en dos altres nuclis de masses comparables. El fenomen és conegut des de començament del segle XX, però no fou mínimament controlat en el laboratori fins als anys trenta. Els experiments desembocaren en una primera 'aplicació pràctica' amb la fabricació de la bomba atòmica (1945) per a, immediatament, encaminar-se cap a les inicialment anomenades 'piles atòmiques', unitats en què la reacció en cadena del combustible nuclear (U^{235}) era moderada per la interposició de barres de grafit, la qual cosa permetia un generós i durador alliberament d'energia.

El desenvolupament de l'energia termoelèctrica nuclear de fissió començà als anys cinquanta del segle XX, amb l'entrada en funcionament de la primera central nuclear de fissió al Regne Unit (Calder Hall, 1957). Es presentava com una bona alternativa als combustibles fòssils, però els accidents de Three Miles Island (EUA, 1979) i de Txernòbil (Ucraïna, 1986) van fer incrementar una percepció social negativa envers aquesta font energètica. La forta pressió social en alguns països europeus ha desembocat en

⁷ Existeixen altres generacions termoelèctriques d'origen nuclear, però són globalment irrelevantes (cas dels submarins nuclears).

l'establiment de moratòries nuclears amb l'objectiu d'estabilitzar-ne la generació o, en alguns casos, de prescindir-ne progressivament.

Per tot plegat, el futur del sector nuclear és incert i s'ha generat un debat entre defensors i detractors que gira principalment entorn dels aspectes següents:

- La gestió de la *seguretat del funcionament dels reactors*. Tot i les excepcionals mesures de seguretat de les centrals nuclears, el risc –real o percebut– dels efectes d'un possible accident alimenten el rebuig de l'opinió pública envers aquestes instal·lacions. La vulnerabilitat de les centrals a un atac (guerra o terrorisme) és també un factor que cal considerar.
- La gestió dels *residus nuclears*. En l'actualitat, l'emmagatzematge i el tractament dels residus d'elevada activitat, que representen el 5% del volum total dels residus nuclears però el 95% de la radioactivitat total, no està resolta. Algunes solucions possibles són la transmutació, amb l'objectiu d'escurçar el temps de la seva activitat radioactiva (la seva vida mitjana), i l'emmagatzematge en dipòsits profundament soterrats.
- La *competitivitat econòmica* de l'energia nuclear. Amb la progressiva internalització de les externalitats associades a aquesta font energètica (a principis de 2005 s'ha aprovat la incorporació de la gestió dels residus al compte d'exploració de les centrals nuclears espanyoles) la seva competitivitat és més sensible a factors externs com ara els preus del gas natural, atès el gran nombre de centrals de cicle combinat construïdes en els últims anys.
- La importància creixent de les *emissions de CO₂* i els compromisos de reduir-les en un futur proper. Les centrals nuclears presenten un avantatge competitiu envers les centrals termoelectriques de combustibles fòssils: no emeten GEH a l'atmosfera. És per això que el debat sobre l'energia nuclear es torna a reprendre en el marc dels objectius de Kioto, tenint en compte que les energies renovables encara no ofereixen prou potència com per substituir les nuclears.
- La *percepció social* de l'energia nuclear. És potser el factor més important i el que pot suposar a llarg termini la seva davallada definitiva. Es tracta d'una percepció associada al risc i a la gestió dels residus. La pressió de l'opinió pública ha fet adoptar polítiques de planificació de tancament de centrals a alguns països europeus, com ara Alemanya i Suècia.

La negativa percepció social no només està generalitzada entre l'opinió pública, sinó també entre molts tècnics. En resulta una dificultat per incorporar al sector prou tècnics joves i altament qualificats. Si aquesta tendència es consolida, es pot provocar una pèrdua significativa del *know-how* adquirit, amb els consegüents riscos en la gestió d'unes centrals tan crítiques. Aquestes dificultats, existents en aquests moments en molts països centreeuropeus, podrien aparèixer en un termini breu al nostre país.

Les implicacions geopolítiques del sector nuclear resulten menors que les dels hidrocarburs. No obstant això, la indústria electronuclear es troba regida per una triple dependència:

- *Matèria primera*: el 94% de l'extracció mundial d'urani es troba en mans de només deu països (Canadà [aprox. un 33% de la producció mundial], Austràlia [aprox. un 25%], Níger, Rússia, Kazakhstan, Namíbia, Uzbekistan, EUA, Ucraïna i Xina). Les reserves d'urani (a un cost igual o inferior a 80 \$/t) s'estimen en 3.300.000 tones, que permeten la seva explotació al ritme actual durant aproximadament 50 anys. La UE només disposa del 2% de les reserves mundials d'urani natural i les previsions apunten a l'esgotament imminent dels jaciments francesos i portuguesos. Així, doncs, ben aviat la UE dependrà totalment de les importacions.
- *Purificació de l'òxid d'urani*: la capacitat de purificació de l'òxid d'urani (U_3O_8 , 'pastís groc') per convertir-lo en hexafluorur d'urani (UF_6), compost bàsic per al procés d'enriquiment, es troba pràcticament només en mans de cinc països (Rússia, França, EUA, Canadà i el Regne Unit). Es tracta d'una dependència tecnològica i no de recursos, com l'anterior.
- *Procés d'enriquiment*: la capacitat d'enriquiment d'urani -per tal que el percentatge de l'isòtop radioactiu U^{235} respecte de l' U^{238} no radioactiu augmenti sensiblement, del 0,7% al 5%- també es troba dominada per pocs països: Rússia, França, EUA, Regne Unit, Holanda i Xina.

Quant a les centrals de generació d'electricitat, tot i que en coexisteixen de diversos tipus, les constituïdes per reactors d'aigua lleugera (LWR) són les més comunes avui dia. Aquests reactors utilitzen l'aigua com a refrigerant i com a moderador. Els més utilitzats són els reactors d'aigua en ebullició (BWR) i els reactors d'aigua a pressió (PWR), considerats com a reactors estàndard de segona generació.

2.3.2. La fusió nuclear

La fusió nuclear és una reacció exotèrmica en què dos nuclis lleugers es fonen en un de pesant (cas dels dos nuclis d'hidrogen que en formen un d'heli en les reaccions solars). La versió d'aquesta reacció més fàcil d'aconseguir és la d'un nucli de deuteri (un protó més un neutró) amb un de triti (un protó més dos neutrons): es forma heli (dos protons més dos neutrons) i un neutró, i s'alliberen 17,6 MeV.

Els avantatges energètics de la fusió nuclear són considerables: el deuteri abunda a l'aigua de mar i el triti és fàcil de produir a partir del mateix neutró que s'allibera, la radioactivitat generada és baixa i de durada curta, etc. El problema és que la tecnologia de fusió és encara incipient. S'hi han fet ingents inversions en R+D arreu del món i se'n preveuen de noves com el projecte ITER (vegeu 3.1.2), però el seu futur és encara incert. Les previsions més optimistes no en preveuen una implementació pràctica abans de 2050.

2.4

L'obtenció d'energia per via no reactiva

Totes les formes d'obtenció d'energia anteriorment considerades partien d'una reacció, fos oxidativa (combustió), fos nuclear. Però també hi ha maneres d'obtenir energia ja alliberada. Cal parlar, aleshores, més aviat de 'captació' energètica que no pas de 'generació'.

2.4.1 La captació d'energies lliures i renovables d'origen solar

Les tecnologies solars són aquelles que permeten aprofitar les fonts d'energia renovables que es manifesten a la natura. Moltes són conegudes d'antic, d'altres s'han desenvolupat més recentment. Es basen en la captació més o menys directa de l'energia solar interceptada per la Terra.

L'aportació energètica del Sol

El Sol es comporta, respecte de la Terra, com una central energètica de 175×10^9 MW de potència instal·lada. Es calcula que la Terra intercepta anualment radiacions solars equivalents a uns 130×10^6 Mtep, és a dir unes 15.000 vegades l'energia fòssil i nuclear consumida en total per la humanitat, però aquest generós doll d'energia solar resulta enganyós a efectes de captura pràctica, car arriba amb molt baixa intensitat per unitat de superfície. En efecte, el seu aprofitament a fons exigiria sistemes de captació estesos per la totalitat del planeta. Les possibilitats d'aprofitament de les diferents manifestacions de l'energia solar són elevades, però sempre amb la limitació que suposa la seva baixíssima densitat.

S'anomena 'constant solar' la quantitat d'energia rebuda per la Terra per unitat de temps i superfície. Mesurada a la part exterior de l'atmosfera, equival a 19.400 calories per minut i m^2 , és a dir 1.353 W per m^2 , tot i que aquesta quantitat varia lleugerament en

funció del punt en què es fa la mesura i també de la dinàmica solar⁸. En tot cas, mesurada arran de la superfície continental o oceànica té un valor mitjà de només 342 W per m², perquè la major part de l'energia solar interceptada per la Terra és reflectida cap a l'exterior o invertida en fenòmens geofísics d'abast planetari (els vents o el cicle de l'aigua, per exemple). En la més optimista de les hipòtesis, per tant, podem aspirar a capturar no més enllà d'aquests 342 W per m² que corresponen a la constant solar mitjana.

Menys d'un 0,1% d'aquesta energia és capturat fotosintèticament per a fer funcionar la biosfera, concretament un 0,069%, és a dir, l'equivalent a uns 90.000 Mtep. Atès que la humanitat consumeix actualment uns 10.000 Mtep –uns 9.000 dels quals són fòssils o nuclears–, és prou exacte afirmar que una sola espècie, la humana, demanda en l'actualitat el 10% de l'energia consumida per tota la biosfera en el seu conjunt. La vida recobreix la Terra com una parsimoniosa pel·lícula extensa i de baixa demanda energètica, mentre que els humans tendim a frenètiques concentracions d'alta densitat (ciutats) i elevat consum energètic, dues estratègies oposades que fan de mal conciliar⁹.

La captació eòlica

L'energia eòlica és l'energia renovable que ha crescut més els darrers anys i també la que presenta més expectatives de futur, tant en termes de fiabilitat operacional com en termes de costos unitaris. En determinats casos ja és competitiva sense cap tipus de subvenció o prima. Tanmateix, no se'n fa un aprofitament directe com abans (vaixells a vela, molins de vent), sinó una transformació a electricitat, de manera que, amb propietat, caldria parlar d'energia eolèctrica.

Els avenços tecnològics en aprofitament eolèctric han estat molt grans en les darreres dècades. Actualment, existeixen aerogeneradors de grans prestacions (fins a 4,5 MW de potència instal·lada,

⁸ S'estima una oscil·lació de $\pm 0,2\%$ cada cicle de 30 anys, ultra variacions d'entitat més gran en funció de l'evolució de les taques solars.

⁹ La producció primària de la biosfera (generació fotosintètica de matèria orgànica), expressada per la quantitat de carboni amb què es construeixen les molècules orgàniques, és de $66 \cdot 10^9$ t de C anuals, és a dir poc menys de 130 g de C per m² i any (400 g en el cas dels boscos densos, 200 g en estepes i pastures, 100 g en els sistemes oceànics i a penes 50 g en les formacions àrides). No és gaire, raó per la qual els dipòsits d'energia orgànica fòssil que ara explotem van trigar tants milions d'anys a acumular-se (actualment consumim en un any l'acumulació d'un milió d'anys, aproximadament). Per passiva, això explica els problemes generats per l'alliberament sobtat (combustió) d'aquests dipòsits de matèria orgànica fossilitzada (exaltació de l'efecte d'hivernacle).

amb pales de 114 m de diàmetre sobre torres de 120 m d'altura), capaços de connectar-se i desconectar-se automàticament quan el vent és insuficient o excessiu (normalment per sota dels $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i per sobre dels $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, és a dir, entre 18 i 90 km/h)¹⁰. Això no obstant, l'aerogeneració elèctrica presenta encara limitacions, com ara la distància que separa, en la majoria dels casos, els parcs eòlics –ubicats en les zones amb punts de vent fort i constant, feblement habitades molt sovint– dels grans centres consumidors urbans i industrials. Per això, l'òptima connexió amb la xarxa de transport elèctric és essencial per permetre'n el desenvolupament. Altrament, l'energia eòlica presenta algunes limitacions relacionades amb l'impacte paisatgístic dels parcs o l'impacte ambiental de les línies d'evacuació. Els aerogeneradors moderns, en efecte, tenen unes dimensions considerables i, per definició, cerquen indrets oberts al vent, circumstàncies que solen fer-los molt visibles i en interferència amb paisatges notables. Per contra, i tal com mostra la taula 3.12, l'impacte ambiental global és més baix que el de les altres fonts renovables amb excepció de la minihidràulica. En relació al seu impacte ornitològic, també és baix: només un de cada 10.000 ocells morts per activitats humanes ho és a causa d'aerogeneradors.

Els avenços en la tecnologia d'aquesta font energètica –augment de la potència mitjana dels aerogeneradors i major capacitat de generació a partir de velocitats de vent més baixes– han afavorit mundialment l'increment de la potència instal·lada, que ja supera (2004) els 40 GW, amb una generació elèctrica mundial de més de 70 TWh (equivalent aproximadament a 6 Mtep). Europa concentra el major nombre d'instal·lacions eòliques: el 70% de la potència mundial instal·lada. La seva implantació és significativa en països com Alemanya, Holanda o Dinamarca; aquest darrer país genera el 50% de l'electricitat a partir d'aerogeneradors, molts d'ells emplaçats al mar.

Espanya ocupa el segon lloc mundial: a final de 2004 hi havia instal·lats 8.263 MW de potència eòlica, nivell que supera els objectius fixats el 1999 pel Pla de Foment de les Energies Renovables en l'horitzó 2010 (8.140 MW). De fet, l'any 2004 els aerogeneradors van cobrir més del 6% de la demanda elèctrica estatal, quantitat

¹⁰ Això es tradueix en un nombre de rotacions per minut comprès entre les 7 i les 14 només, de manera que el gir parsimoniós dels aerogeneradors no ha de ser interpretat com un símptoma d'escassa potència. La baixa velocitat angular amb què giren no és correspon amb el parell de força d'unes pales de fins a 100 m de diàmetre o més, l'extrem distal de les quals, entre 7 i 14 rpm, es desplaça a velocitats compreses entre els 130 i els 260 km/hora.

força significativa. La potència instal·lada supera els 1.000 MW a quatre comunitats (Galícia, Castella - La Manxa, Castella - Lleó i Aragó); Galícia és la que en té més: 1.914 MW. Navarra està en cinquena posició amb 952 MW instal·lats, que proporcionen el 22% de la demanda elèctrica d'aquesta comunitat; el seu objectiu és arribar a cobrir el 45% de l'electricitat l'any 2010. Catalunya, per contra, només disposa (2004) de 86 MW de potència instal·lada, amb una oposició considerable d'alguns sectors ambientalistes o ecologistes.

La captació solar tèrmica

L'energia solar es pot aprofitar tèrmicament a dues escales diferents: a petita escala, per a usos domèstics tèrmics, o a gran escala, per a usos industrials i per a la generació d'electricitat.

L'ús més clàssic de l'energia termosolar és l'escalfament domèstic d'aigua sanitària a partir de col·lectors solars plans, fets d'acer, coure, alumini o plàstic, que aprofiten la radiació calòrica solar mitjançant l'efecte d'hivernacle. La superfície de col·lectors instal·lada a la Unió Europea es concentra principalment a Àustria, Grècia, Alemanya, Espanya, França i Itàlia, amb ritmes de creixement anual del 20%. Barcelona, i Catalunya en el seu conjunt, han estat pioneres en els darrers anys en la promoció de col·lectors solars mitjançant ordenances municipals anomenades "solars", que obliguen a instal·lar plaques en nous edificis i reformes integrals.

L'energia termosolar també es pot utilitzar per a produir fred. Els sistemes de climatització solar són interessants en aquells edificis que tenen un ús prolongat de climatització en el transcurs de tot l'any. Aquesta tecnologia, malgrat que disponible, encara no s'utilitza a gran escala pel seu elevat cost relatiu, tot i el seu potencial en països calorosos.

L'energia solar tèrmica també es fa servir per produir calor industrial. Amb col·lectors solars d'alta eficiència es genera escalfor a nivells de fins a 150°C, escalfor que es pot aprofitar per a processos industrials. Malgrat el seu potencial, el seu ús encara és limitat, tant al nostre país com a nivell internacional.

Finalment, l'energia termosolar també s'utilitza per a la generació d'electricitat. Aquest ús és una expectativa des de fa dècades que fins ara no ha quallat arreu del món. La solució més emprada consisteix en sistemes cilíndrics i parabòlics que concentren la radiació solar en un fluid de transmissió, que genera vapor sobreescalfat que produeix electricitat al seu pas per turbines de vapor convencionals.

L'eficiència màxima d'aquest tipus de centrals se situa en el 30% en moments pic, però la mitjana anual no supera el 20%.

La captació solar fotovoltaica

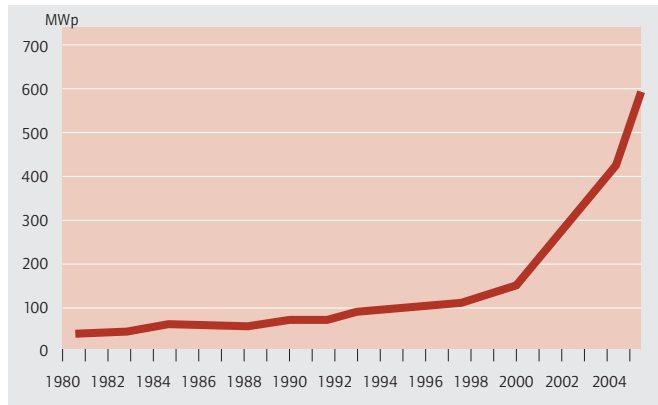
La captació energètica a partir de plaques fotovoltaïques que, per efecte fotoelèctric, transformen la radiació solar visible en electricitat, ha viscut un creixement molt important arreu del món aquests darrers anys, especialment al Japó i a la UE. L'any 2003 van ser instal·lats plafons fotovoltaïcs amb un valor global de potència de 570 MW, i es preveuen ritmes de creixement de l'ordre del 30-40% anual en els propers anys, ateses les subvencions i primes que la promouen. De fet, la captació solar fotovoltaica és, amb diferència, el sistema de generació d'electricitat més subvencionat per unitat energètica, a Catalunya i arreu del món.

Tanmateix, malgrat el creixement exponencial de la potència instal·lada (vegeu figura 2.5) el seu preu s'ha estancat els darrers anys (vegeu figura 2.6), cosa que demostra la maduresa tecnològica dels plafons de silici actuals. Els sistemes solars fotovoltaïcs han pres un important paper pedagògic en la visualització de la importància i potencialitats de les energies renovables, però no pot dir-se que siguin especialment eficients. En efecte, l'energia solar fotovoltaica encara és lluny de competir amb altres fonts energètiques pel seu elevat cost, ja que multiplica per 10 la produïda per altres fonts energètiques (vegeu figura 2.7).

Una de les principals limitacions de la tecnologia fotovoltaica és que a nivell mundial la producció de silici està concentrada en uns pocs països, ateses les importants emissions contaminants i l'elevat consum energètic de la seva purificació i cristallització. L'impacte ambiental global de la producció de plafons de silici mitjançant una anàlisi del cicle de vida comparada amb d'altres sistemes de generació elèctrica (vegeu taula 3.12) conclou que provoca un fort impacte ambiental global, el doble que el gas natural i fins a vuit vegades superior a l'eòlica.

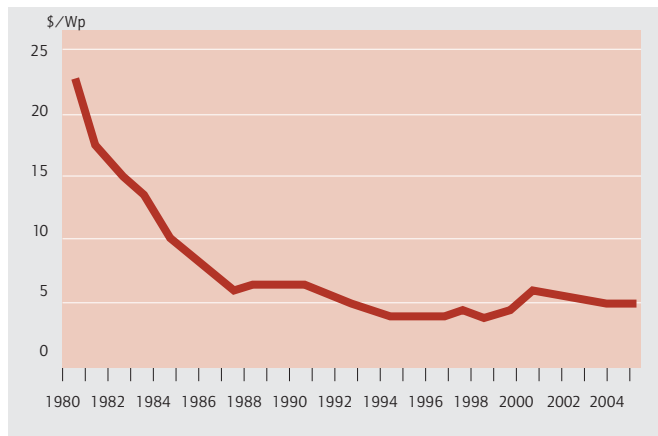
Les seves limitacions de cost fan que aquesta tecnologia només s'utilitzi en punts molt distants de la xarxa elèctrica –a nuclis aïllats de muntanya en els països desenvolupats i de manera molt més extensiva en els països en desenvolupament– o, justament al contrari, en punts connectats directament a la xarxa elèctrica en països desenvolupats en què aquesta està fortament subvencionada mitjançant primes, com al nostre país.

Figura 2.5. Venda mundial de plafons fotovoltaics.



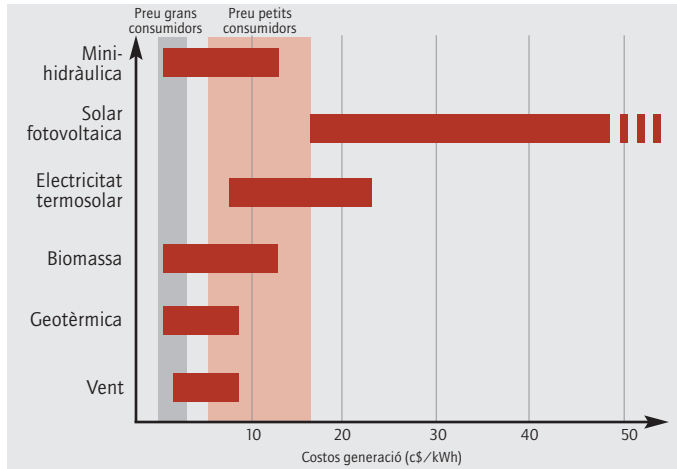
Font: Solarbuzz, Inc, (2005), i Smil, V. (2003). *Energy at the Crossroads. Global perspectives and uncertainties.* Cambridge, Massachussets: MIT Press.

Figura 2.6. Preu de venda dels mòduls fotovoltaics.



Font: Solarbuzz, Inc, (2005), i Smil, V. (2003). *Energy at the Crossroads. Global perspectives and uncertainties.* Cambridge, Massachussets: MIT Press.

Figura 2.7. Comparació de costos de generació d'electricitat a partir de diverses fonts renovables. La columna gris es refereix al preu de l'energia al mercat dels operadors i la crema al preu que paga el consumidor final.



Font: International Energy Agency (2003), *Integrating Energy and Environment Goals*. París: OECD/IEA.

2.4.2. La transformació cinètica d'energies potencialment renovables

La transformació hidroelèctrica és la transformació cinètica d'energies potencialment renovables més desenvolupada a Catalunya, i al món, des de fa un segle. També n'hi ha d'altres, com la mareomotriu.

La transformació hidroelèctrica

L'energia hidroelèctrica és la segona font energètica renovable més important del món i la primera a nivell comercial. Mitjançant turbinació, transforma en electricitat l'energia potencial acumulada en aigua situada en cotes altes, normalment ajudant-se d'embassaments reguladors del cabal. La transformació hidroelèctrica aporta entre el 16 i el 20% de la generació elèctrica mundial (2.610 TWh l'any 2002). La hidroelectricitat és el mètode de generació elèctrica més barat arreu del món i el més eficient en termes de cicle de vida global de la instal·lació.

L'energia hidroelèctrica s'explota a nivell de grans centrals o bé d'instal·lacions minihidràuliques. El ventall és molt gran, en efecte,

ja que va des de macrocentrals immenses, com la paraguaio-brasiliana d'Itaipú (18 turbines Francis amb un total de 12.000 MW de potència instal·lada que donen 79.000 GWh anuals), fins a petites minicentrals que disposen d'una potència inferior a 10 MW. En tot cas, les centrals hidroelèctriques necessiten cabals constants que es deriven del curs d'aigua principal; en alguns casos, fins i tot, es fa passar tot el curs del riu per les turbines. Per això, solen recórrer a l'efecte regulador de cabals, que és propiciador de salts de nivell, de grans rescloses. Així, les centrals duen molt sovint aparellats embassaments més o menys considerables (el d'Itaipú emmagatzema 29 km³ d'aigua en una extensió de 1.350 km² mitjançant una imponent resclosa de 185 m d'altura). Més rarament, les centrals se situen al peu de llacs, una part de l'aigua dels quals és derivada a favor del pendent mitjançant canonades.

La transformació hidroelèctrica s'expandí en el món des de l'inici del segle XX, fins al punt que tingué un paper capital en la generalització de l'ús de l'electricitat. Lògicament, s'imposà sobretot en països de relleu fort, on els rius salven importants diferències de cota i on és més fàcil barrar-los el pas mitjançant rescloses que tanquin valls estretes. Fou el cas de Catalunya, de la mà de Barcelona Traction, Light and Power, companyia canadenca que, a partir de 1911, emprengué la tasca de construir diversos embassaments i centrals a la zona pirinenca. El primer (1916) fou el de Sant Antoni, a Tremp, precedit per la petita central hidroelèctrica de Sossís, a la Pobla de Segur, fornidora de l'energia necessària per a les obres. El seguiren molts altres embassaments i centrals construïts al llarg de tot el segle XX, alguns de prou singulars, com els que connecten diversos estanys, o fins centrals reversibles (estany Gento) que retornen l'aigua a les cotes altes quan l'oferta d'energia elèctrica, a les nits, supera la demanda.

Els grans embassaments, així com el represat i interconnexió d'estanys, provoquen impactes ambientals significatius. Se'n ressenteixen, en primer lloc, les valls inundades, naturalment, però també els ecosistemes fluvials i límnics. Les minicentrals hidràuliques provoquen un impacte ambiental menor, raó per la qual en els darrers anys s'han difós més que les grans centrals, però la seva proliferació en una mateixa conca pot produir un efecte acumulatiu igualment negatiu. Per això, la generació hidroelèctrica, malgrat el seu caràcter captatiu i net, topa amb una seriosa contestació ambientalista en els darrers temps.

La transformació mareomotriu

Les variacions del nivell del mar subsegüents a les mareas són susceptibles de ser aprofitades en termes de transformació d'energia potencial en cinètica. En aquest sentit s'han fet nombrosos assaigs i s'han construït algunes centrals elèctriques mareomotrius de caràcter experimental, particularment en llocs on les diferències entre marea alta i marea baixa, sobretot en sizígia, són notables (superen els 13 m en llocs com les badies de Fundy i Frobisher, al Canadà, o a l'estuari del Severn, a la Gran Bretanya).

Tanmateix, i tret d'un projecte en curs a l'estuari del Rance, a la costa bretona, cap dels diferents assaigs fets fins ara ha tingut resultats pràctics. A Catalunya, amb oscil·lacions intermareals més que modestes, no cal ni plantejar-s'ho.

2.4.3 La captació d'energies lliures i renovables d'origen geonuclear

La temperatura de la Terra augmenta a raó d'1°C cada 30 m de fondària, de mitjana. Aquest salt tèrmic es contempla com una potencialitat energètica interessant, sobretot en determinats llocs on és especialment intens.

La captació geotèrmica

Les aigües termals són una manifestació ben coneguda del fenomen. En llocs com Islàndia brollen amb tanta abundància que són aprofitades des de fa temps per a cobrir les necessitats de calefacció i aigua calenta. Però és possible anar més enllà i generar electricitat a partir de centrals tèrmiques que utilitzin aquest diferencial. Més encara: teòricament és possible injectar aigua freda, fer que s'escalfi en profunditat i recuperar-la calenta en superfície. Aquest és el principi de les centrals geotèrmiques.

Catalunya té àrees d'especial activitat geotèrmica, conegudes per les seves manifestacions termals o 'caldes'. En aquestes zones (la Garrotxa, l'eix la Garriga-Caldes de Montbui, Caldes de Malavella, certes zones de la Cerdanya, etc.) s'han fet alguns assaigs, sense resultats gaire encoratjadors. El màxim aprofitament que se'n pot extreure és tèrmic, ja sigui per a usos termals o, hipotèticament, per a usos de calefacció de districte (calefacció i aigua calenta). Està descartada la generació elèctrica a partir d'aquestes zones.

2.5

La distribució i els canvis de format

L'energia es genera o es capta en punts sovint allunyats dels centres de consum. Altrament, cada format energètic serveix unes necessitats i no unes altres. Transportar eficaçment l'energia i presentar-la en el format adequat són components essencials del sistema energètic modern.

2.5.1 L'accés a l'energia

L'energia ha d'arribar, sota formats adequats i amb la densitat convenient, a tots els punts que la demanden. Aconseguir-ho no és senzill. Els sistemes de distribució o de canvi de format són tan importants com els sistemes d'extracció o de captació. La qüestió capital és la densitat energètica disponible en cada punt i moment, perquè l'energia difusa no permet el funcionament dels motors i de les màquines modernes. Així, l'automoció depèn actualment del petroli perquè 1 tona de gasolina equival a uns 10 MWh, i és per això que els vehicles elèctrics o estan tothora connectats a la xarxa (trens, tramvies) o bé depenen de bateries molt pesants i d'autonomia limitada. Accedir a energia densa o a energia fornida de manera contínua és la clau de la qüestió.

Les xarxes i els sistemes de distribució

Les xarxes i els sistemes de distribució són peces essencials del sistema energètic, ja que permeten transportar l'energia a gran distància i atorgar una immediatesa al consum energètic que no havia tingut mai anteriorment. Això és vàlid per a qualsevol format energètic, sigui un hidrocarbur, gas o electricitat. La manca d'unes hores d'abastament d'energia elèctrica o d'uns dies d'abastament de combustibles per a vehicles poden provocar trasbalsos de grans dimen-

sions. Tanmateix, cap format es revela més polivalent i més fàcil de distribuir que l'electricitat, raó per la qual, i exceptuant el cas de l'automoció, cada cop pren més rellevància.

La maduració de la xarxa elèctrica al llarg de la segona meitat del segle XX ha comportat la seva centralització: unes grans centrals productores generen electricitat i la distribueixen radialment. Tanmateix, l'entrada de les energies renovables ha fet més complexa la gestió de la xarxa elèctrica. De fet, és precisament la xarxa de distribució la que dóna valor a aquest tipus d'energies, molt més difuses en el territori i amb molts més punts d'entrada. Per tant, la ubiqüitat de la xarxa és la implementació d'un model que aprofita les energies residuals allà on es generen i és capaç de distribuir-la de manera que no hi hagi dèficits ni excedents.

Els sistemes d'acumulació

Quan no es disposa de xarxes, s'ha de recórrer a l'acumulació. Una certa acumulació transitòria no presenta problemes en el cas dels combustibles fòssils: els grans tancs portuaris o, fins i tot, els dipòsits dels vehicles, en són l'exemple. L'acumulació, per contra, es fa molt més difícil en el cas de l'energia elèctrica.

Existeixen diferents sistemes d'acumulació d'energia:

- *Electroquímics*: piles, bateries i piles de combustible.
- *Elèctrics*: condensadors i sistemes de superconductors magnètics.
- *Mecànics*: acumuladors d'aire comprimit, volants d'inèrcia, acumuladors hidràulics, sistemes d'emmagatzematge hidroelèctrics (centrals hidroelèctriques reversibles) i molles.

El sistema més usat històricament ha estat el format per bateries i piles. De fet, una bateria no és res més que un conjunt de piles agrupades. I una pila és un sistema d'emmagatzematge electrostàtic que aprofita el corrent elèctric que es genera a partir d'una reacció redox. Per acumular energia, les piles han de permetre invertir el sentit de la reacció química redox: són les piles recarregables¹¹.

Les bateries recarregables més usades estan compostes per piles de plom i àcid (Pb-àcid), de níquel i metall hidrur (Ni-MH) i d'ió i liti (Li-Ion). En sistemes que requereixen una potència ele-

¹¹ També existeixen piles no recarregables, com ara les de zinc i carboni (Zn-C), les alcalines de zinc i diòxid de manganès (Zn-MnO₂), les de liti (Li) i les piles botó de plata i òxid (Zn-Ag₂O).

vada, com ara en automòbils elèctrics o híbrids, en submarins convencionals quan naveguen submergits o sistemes autònoms d'energies renovables per a edificacions aïllades, es fan servir bateries Pb-àcid, que disposen d'una eficiència (energia retornada en relació a l'energia consumida) al voltant del 90%. En sistemes que demanden un pes mínim, com ara els aparells electrònics portàtils, es fan servir les bateries de Ni-MH i Li-Ion. Aquestes darreres han viscut un desenvolupament tecnològic important els darrers anys, lligat a l'explosió de l'ús d'ordinadors portàtils i telèfons mòbils.

Les bateries recarregables presenten avui dia tres limitacions importants: la seva baixa densitat energètica, la limitació del seu cicle de vida i el seu impacte ambiental. En relació a la densitat energètica, cal un volum molt important de bateries per generar quantitats d'energia mitjanament elevades. Quant a la limitació del seu cicle de vida, les bateries s'esgoten al cap d'alguns centenars de recàrregues, a causa de la severitat de les reaccions químiques. Per la seva banda, l'impacte ambiental és important per la toxicitat dels productes utilitzats i pel seu difícil reciclatge.

2.5.2. Les transformacions i els canvis de format

La complexitat de la distribució i la diversitat dels formats de la demanda fan que l'oferta energètica hagi de ser capaç de procedir a diverses transformacions i canvis de format segons el moment i les circumstàncies. L'energia mecànica del vent esdevé energia elèctrica ja en l'aerogenerador i finalment pot expressar-se tèrmicament en un sistema de climatització. El petroli refinat pot cremar-se directament en una caldera o en un motor de combustió interna o generar electricitat en una central termoelèctrica. Les situacions de canvi de format són molt nombroses, totes llastades per les pèrdues associades als processos de transformació.

Els "carriers" i els recorreguts energètics

Tot plegat fa que, en la pràctica quotidiana, l'energia sigui percebuda en termes de transportador energètic o *carrier*. El més versàtil de tots és l'electricitat, percebuda com 'energia elèctrica'. De fet no és una font primària d'energia, com pot ser-ho el carbó o el gas natural, però sí que és l'expressió energètica més corrent en la societat moderna. A més, cobreix molts fronts alhora: en arribar

a un ordinador, per exemple, és força motriu per al motor del disc dur, flux d'electrons per als sistemes electrònics i informàtics o llum a la pantalla del monitor. És per això que se li sol associar la idea d'energia de qualitat'. L'energia elèctrica és una energia d'alta qualitat, en efecte, i per això el seu ús tèrmic constitueix sovint un malbaratament.

Cada situació local, tanmateix, introdueix singularitats en aquestes apreciacions. Així, una directriu de l'estratègia francesa per a reduir les emissions de CO₂ en un factor 4 aconsella la utilització d'electricitat per a l'escalfament de la llar. En aquest exemple es dona prioritat a la disminució de les emissions de GEH generades per la combustió de fòssils a nivell domèstic, per damunt de les pèrdues en eficiència que l'operació presenta. L'origen nuclear de gran part de l'electricitat explica el sentit d'aquesta directriu a França, circumstància no extensiva a d'altres països.

Per tot plegat, és previsible un augment de la participació de l'electricitat en el consum final. Això no obstant, hi ha trams del sistema energètic en què és prioritària l'existència de formats energètics que permetin l'emmagatzematge. L'augment del nombre de recorreguts possibles sembla un tendència clara en els propers anys.

El cas de l'hidrogen i les piles de combustible

L'hidrogen és un *carrier* amb moltes expectatives de futur perquè representa una de les solucions al problema de l'emmagatzematge. L'hidrogen, generat a partir de la hidròlisi de l'aigua en un moment diferent al del consum, ha de servir per generar després electricitat mitjançant les anomenades 'piles d'hidrogen'. De moment, el seu ús ha de quedar restringit a moments puntuals, degut a la immaduresa tecnològica, al preu del kWh generat mitjançant aquestes fonts i a la poca eficiència energètica de la transformació global: un sistema d'hidròlisi i una pila de combustible retornen menys del 50% de l'energia original.

Es contempen altres recorreguts novedosos en relació a l'hidrogen. Un d'ells es basa en la possibilitat de generació a partir de centrals eòliques o geotèrmiques que, o bé no estan en xarxa, o bé generen electricitat quan la xarxa no en demanda. Un altre recorregut generador d'hidrogen és el que parteix de les centrals nuclears de quarta generació, en les què es genera hidrogen a partir de reaccions químiques a alta temperatura. Un tercer recorre-

gut, encara, parteix de la distribució de l'hidrogen per la xarxa fixa de gas natural i de manera conjunta. Al punt de consum domèstic es pot, o bé cremar en proporcions de fins al 20% amb el gas natural (amb la consegüent reducció de les emissions de GEH), o bé separar-lo del gas natural i generar electricitat mitjançant la corresponent 'pila'.

No es contempla, ni a curt ni mitjà termini, la generació massiva d'hidrogen i el seu transport a llarga distància ('mines d'hidrogen'). A mitjà o llarg termini, s'experimenta en l'obtenció d'hidrogen a partir de la fotòlisi de l'aigua, imitant mitjançant processos fotoelectroquímics, allò que fan les plantes en la fotosíntesi. Aquest recorregut podria representar una autèntica revolució en el model energètic, car permetria la captació i generació d'electricitat autònoma.

En els darrers anys, ha avançat força la recerca i les primeres aplicacions de les anomenades 'piles de combustible' (*fuel cells*), que són sistemes de generació electroquímica alimentats per una font contínua d'hidrogen: a l'ànode s'injecta hidrogen i al càtode un oxidant (aire o oxigen), ambdós separats per un electròlit que és un hidròxid d'un metall alcalí. El corrent generat permet alimentar un motor elèctric convencional, mentre que el residu de la reacció és aigua, raó per la qual aquesta mena de piles-motor són qualificades de 'netes'.

Les piles de combustible funcionen amb la lògica de les bateries elèctriques, amb la diferència que no s'esgoten ni moren a causa de la severitat de les reaccions químiques de les bateries convencionals. Per contra, han de ser contínuament alimentades amb hidrogen i tenen un rendiment energètic global baix: un sistema d'electròlisi i una pila de combustible retornen menys del 50% de l'energia original, mentre que una bateria estàndard de plom-àcid en restitueix el 90%. Així doncs, les piles de combustible encara no són òptimes com a sistemes d'emmagatzematge, excepte en els casos en què el pes o l'absència d'un altre format energètic sigui una variable significativa.

Les piles de combustible s'han fet servir, fins ara, en ubicacions difícils d'abastir amb combustibles convencionals, com ara satèl·lits artificials o estacions meteorològiques remotes. També es comencen a fabricar bateries d'ordinadors portàtils amb piles de combustible alimentades d'hidrogen. Tanmateix, el sector que ha posat més esperances en les piles de combustible és l'automobilístic, atès que la seva utilització pot resoldre problemes locals, com

la contaminació atmosfèrica o sonora provocades pel trànsit a grans ciutats. El problema és que la tecnologia de les piles de combustible aplicada a l'automoció és encara rudimentària, malgrat els avenços efectuats¹².

¹² Algunes companyies japoneses disposen de prototips d'automòbils amb piles de combustible, mentre que a Europa es fan assaigs de consideració en autobusos urbans: projecte CUTE (Clean Urban Transport for Europe), amb els vehicles Citaro de Mercedes Benz, i projecte City Cell d'Iveco-Pegaso, amb vehicles mixts de pila de combustible i bateria convencional, en circulació a Madrid i Barcelona, respectivament.

2.6

La demanda i el consum

La demanda mundial d'energia ha crescut fortament a partir de mitjan segle XX. Si a principi del segle XX la humanitat consumia al voltant de 1.000 Mtep anuals d'energia final, l'any 1971 en va consumir 4.200 Mtep i el 2002 7.750 Mtep. Des de 1971 fins avui en dia, el consum energètic ha augmentat a un ritme del 2% anual de manera força lineal, amb petits canvis de tendència a la baixa per les successives crisis del petroli (1973 i 1979-80) i a l'alça per la posterior contracrisi dels anys 80.

2.6.1 Les asimetries de consum i la intensitat energètica

El creixement del consum energètic no ha estat igual arreu del món. Els primers a disparar el consum –i, encara avui, els consumidors del 25% de l'energia mundial– foren els EUA. Europa, el Japó i els països de l'antiga Unió Soviètica també incrementaren fortament el consum a partir dels anys 60 del segle XX. En les darreres dècades s'ha produït una disminució del consum als països de l'antiga Unió Soviètica, inclosos els de l'est d'Europa i, de 1990 ençà, un creixement significatiu del consum als països asiàtics, en especial la Xina.

A Catalunya, la demanda d'energia final total ha crescut de 7,7 Mtep l'any 1980 a 13,3 Mtep l'any 2000. Les etapes de més increment de consum (1985-90 i 1995-00) corresponen a etapes d'alt creixement econòmic, fet que mostra la forta vinculació entre el creixement del PIB i el consum energètic. Històricament, el sector industrial ha estat el sector de més alt consum energètic. Tanmateix, el seu pes com a consumidor ha baixat significativament les darreres dècades degut a l'increment de l'eficiència del sector, el creixement del consum en els sectors residencial i terciari i, sobretot, el fort creixement del consum del transport. Una tendència global en

Taula 2.2. Prospectiva comparativa d'emissions de CO₂ per sectors a nivell internacional.

Emissions de gasos d'efecte hivernacle (kt CO ₂ equivalent)				
Catalunya	1990	1995	2000	2001
Processament de l'energia	26.458,7	32.782,5	36.349,8	37.359,1
Processos industrials	4.819,0	7.282,2	9.372,4	6.865,5
Ús de dissolvents i altres productes	236,6	228,7	290,4	279,0
Agricultura	4.280,0	4.371,4	4.932,4	4.848,4
Tractament i eliminació de residus	1.338,4	2.018,5	2.749,7	2.918,4
TOTAL	37.132,7	46.683,3	53.694,7	52.270,4
Espanya	1990	1995	2000	2001
Processament de l'energia	216.943,3	244.816,0	296.516,0	295.177,3
Processos industrials	22.560,7	24.743,5	30.698,3	27.849,7
Ús de dissolvents i altres productes	1.329,8	1.355,4	1.706,9	1.627,6
Agricultura	37.373,5	36.776,5	43.642,7	42.987,9
Tractament i eliminació de residus	9.401,3	11.672,1	14.540,4	15.146,8
TOTAL	287.608,6	319.363,5	387.104,3	382.789,3

Font: CE (2003) *European Energy and Transport Trends*

la què es troba plenament immers també el nostre país: el sector del transport és el més consumidor des de 1992, havent incrementat el seu consum final un 135% entre 1980 (2,2 Mtep) i 2000 (5,2 Mtep). Els sectors residencial i terciari han crescut amb especial intensitat aquests darrers anys (3,7 Mtep l'any 2000), bàsicament per l'increment dels estàndards de confort.

Una manera d'analitzar el grau d'eficiència en el consum de l'energia és a partir de la intensitat energètica, que és la quantitat d'energia necessària per generar una unitat econòmica (PIB). La disminució de la intensitat energètica comporta el decrement del consum. Als països occidentals la intensitat energètica ha disminuït progressivament als darrers anys, a un ritme d'un 1,4% anual. Tanmateix, la disminució ha estat especialment important en alguns països, com ara Alemanya i el Regne Unit, mentre que en d'altres ha estat menor. I, en d'altres, com Espanya, no ha disminuït sinó que ha augmentat. Catalunya, immersa en aquest darrer cas, ha vist créixer la seva intensitat energètica, sobretot en els sectors terciari i transport. Una tendència negativa que caldrà analitzar en detall per revertir-la.

D'altra banda, l'anàlisi del grau d'eficiència ambiental del consum de l'energia es realitza a través de la intensitat de carboni. La intensitat de carboni mesura les tones de CO₂ emeses per cada tona equivalent de petroli consumida, i històricament ha seguit una trajectòria creixent. Tanmateix, en la dècada 1990 – 2000, i per la constatació dels efectes dels GEH sobre el clima planetari, la tendència va començar a canviar de signe. A Europa s'observen reduccions a tots els sectors de consum excepte en el transport, en què la intensitat de carboni s'ha incrementat lleugerament (de 2,90 a 2,91 t CO₂/tep) la dècada passada.

2.6.2. Les necessitats del sector industrial

El sector industrial és un fort consumidor arreu del món. Demanda al voltant d'un terç de l'energia final total disponible. La taula 2.3 mostra l'evolució del consum final total del sector industrial i del percentatge del consum d'aquest sector sobre el consum final total.

Taula 2.3. Consum, percentatge sobre el consum final total i intensitat energètica del sector industrial.
No s'han considerat els usos no energètics a l'hora de valorar el consum final total.

Consum final del sector industrial (Mtep)				% sector industrial sobre consum final total			
	1990	1995	2000		1990	1995	2000
Catalunya	3,6	3,7	4,4	Catalunya	39%	36%	33%
Espanya	19,4	20,0	25,0	Espanya	35%	32%	32%
UE-15	262,2	255,6	268,7	UE-15	31%	29%	28%
UE-25	328,4	306,5	310,2	UE-25	32%	30%	29%
Món			2.102,0	Món			33%

Fonts:
Món: International Energy Agency (2002).
WEO 2002. París: OECD/IEA.
Europa i Espanya: CE (2003).
European Energy and Transport Trends.
Catalunya: ICAEN (2001).
Pla de l'Energia de Catalunya 2001-2010

Intensitat energètica del sector industrial (sobre el valor afegit)			
	1990	1995	2000
Espanya	100	103,0	106,1
UE-15	100	95,0	89,6
UE-25	100	91,7	82,7

La disminució del percentatge de consum energètic del sector industrial ha estat especialment important a Catalunya entre 1990 i 2000. Això ha estat relacionat amb una incorporació de processos més eficients al sector, però també amb una certa deslocalització d'activitats intensives en energia. En aquest sentit, la intensitat energètica del sector industrial ha viscut una tendència oposada a Espanya respecte al conjunt d'Europa. Mentre que al conjunt de l'estat s'ha incrementat un 6% entre 1990 i 2000, a nivell d'Europa ha disminuït més d'un 10% en el mateix període.

En el sector industrial català, l'eficiència energètica només es té en compte quan és un factor de cost significatiu. D'aquesta manera, les empreses intensives en energia han fet importants inversions en eficiència energètica, però a la resta d'empreses les inversions han estat molt parcials. L'estructura econòmica catalana, farcida de 'pimes', dificulta la integració de criteris d'eficiència energètica. Una dificultat que s'ha incrementat a finals de la dècada dels 90 i a principis dels 2000, quan la liberalització del mercat energètic ha comportat un descens important del preu al què les empreses compraven l'energia –i fins i tot la facturació independent del consum– i una consegüent disminució de la inversió en eficiència energètica.

2.6.3. Les necessitats del transport

El transport és el sector que ha incrementat més la demanda energètica en els darrers anys, degut a un increment global de la mobilitat de les persones, que fan molts més trajectes que no feien fa uns anys. A més a més, també és el menys eficient, ja que és l'únic sector que a nivell del conjunt de la UE no ha disminuït la seva intensitat energètica entre 1990 i 2000, malgrat la millora significativa en l'eficiència dels motors de combustió interna. La pèrdua de passatgers (en percentatge) del transport col·lectiu front al transport privat, la tendència a l'increment del volum i el pes dels vehicles, per qüestions de seguretat, i l'increment de la demanda d'immediatesa del transport (increment del transport de mercaderies en avió, per exemple) ha impedit que la intensitat energètica disminuís.

L'increment del consum del sector del transport ha estat més important i menys eficient (increment significatiu de la intensitat energètica entre 1990 i 2000) a Catalunya i a l'estat que al con-

junt d'Europa. A més, el nostre país ha viscut un augment considerable del transport de mercaderies per carretera, amb el consegüent increment del col·lapse a les vies del país i la construcció de noves infraestructures viàries. Tot plegat intensifica l'impacte ambiental d'aquest sector, centrat en les emissions de GEH, la contaminació atmosfèrica, l'ocupació i fragmentació del territori, el soroll i el consum de matèries primeres. L'impacte social dels vehicles també té la seva part negativa, en fets com l'accidentalitat (435 víctimes mortals a Catalunya l'any 2004), els efectes sobre la salut humana, la segregació espacial i la pèrdua de temps social. Tanmateix, els vehicles han viscut aquests darrers anys millores significatives en l'eficiència energètica i la reducció de les emissions de CO₂ dels motors de combustió interna.

Taula 2.4. Consum, percentatge sobre el consum final total i intensitat energètica del sector del transport. No s'han considerat els usos no energètics a l'hora de valorar el consum final total.

Consum final del sector transport (Mtep)				% sector transport sobre consum final total			
	1990	1995	2000		1990	1995	2000
Catalunya	3,4	3,9	5,2	Catalunya	37%	38%	39%
Espanya	22,3	26,1	32,8	Espanya	40%	41%	42%
UE-15	253,8	275,7	309,1	UE-15	30%	31%	32%
UE-25	273,6	296,0	333,1	UE-25	27%	29%	31%
Món			1.775,0	Món			27%

Fonts:
 Món: International Energy Agency (2002). WEO 2002. París:
 OECD/IEA. Europa i Espanya: CE (2003). European Energy and
 Transport Trends. Catalunya: ICAEN (2001). Pla de l'Energia de
 Catalunya 2001-2010

Intensitat energètica del sector transport (sobre el valor afegit)			
	1990	1995	2000
Espanya	100	108,4	113,1
UE-15	100	101,2	99,5
UE-25	100	101,3	99,6

2.6.4. Les necessitats dels sectors residencial, terciari i primari

En el seu conjunt, la demanda d'energia dels sectors residencial, terciari i primari ha crescut arreu del món, però especialment al nostre país, amb un increment continu del seu pes en el consum final total (vegeu taula 2.5). La part més substantiva de l'increment és deguda al sector terciari, que ha incrementat molt el consum de manera no gaire eficient.

Taula 2.5. Consum i percentatge sobre el consum final total dels sectors residencial, terciari i primari. No s'han considerat els usos no energètics a l'hora de valorar el consum final total.

Consum final dels sectors residencial, terciari i primari (Mtep)				% sectors residencial, terciari i primari sobre el consum final total			
	1990	1995	2000		1990	1995	2000
Catalunya	2,3	2,7	3,7	Catalunya	25%	26%	27%
Espanya	14,5	17,0	21,2	Espanya	26%	27%	27%
UE-15	343,4	363,9	377,4	UE-15	40%	41%	40%
UE-25	412,2	425,7	433,4	UE-25	41%	41%	40%
Món			1.954,0	Món			34%

Fonts:
 Món: International Energy Agency (2002). WEO 2002. París: OECD/IEA.
 Europa i Espanya: CE (2003). European Energy and Transport Trends.
 Catalunya: ICAEN (2001). Pla de l'Energia de Catalunya 2001-2010

Quant al sector residencial, l'increment de la demanda ha estat important degut a un increment del confort tèrmic –la proliferació d'aparells d'aire condicionat en domicilis particulars n'és potser l'evidència més significativa– i a l'expansió de primeres residències en habitatges unifamiliars i en filera, tipologies que consumeixen molta més energia que els habitatges plurifamiliars.

El consum energètic del sector residencial és significativament menor a Catalunya que al conjunt de l'estat, i a Espanya que al

conjunt de la UE, degut a les diferències climàtiques (vegeu taula 2.6). Tanmateix, mentre que el conjunt de la UE ha disminuït significativament la intensitat energètica del sector, a Espanya aquesta s'ha incrementat; una vegada més la tendència espanyola és la contrària a l'europea.

Quant a la disminució del pes del sector respecte el total, s'explica per canvis d'usos de les famílies occidentals, que tendeixen a menjar cada vegada més fora de casa. D'aquesta manera, hi ha usos que traspassen del sector residencial al sector terciari (preparació primària d'aliments, bars i restaurants, etc.) i al sector industrial (precuinats...).

Taula 2.6. Consum, percentatge sobre el consum final total i intensitat energètica del sector residencial. No s'han considerat els usos no energètics a l'hora de valorar el consum final total.

Consum final del sector residencial (Mtep)				% sector residencial sobre consum final total			
	1990	1995	2000		1990	1995	2000
Catalunya			1,8	Catalunya			13%
Espanya	9,3	10,0	11,9	Espanya	17%	16%	15%
UE-15	228,1	236,0	244,7	UE-15	27%	26%	26%
UE-25	267,4	277,7	279,1	UE-25	26%	27%	26%

Intensitat energètica residencial (sobre la renda privada)			
	1990	1995	2000
Espanya	100	102,2	101,1
UE-15	100	97,6	88,2
UE-25	100	98,5	86,1

Fonts:
 Europa i Espanya: CE (2003).
 European Energy and Transport Trends.
 Catalunya: ICAEN (2001).
 Pla de l'Energia de Catalunya 2001-2010

Per tal de limitar la demanda en aquest sector, la UE ha promogut l'establiment de diverses certificacions energètiques. Les primeres, i les que han estat més efectives fins ara, han estat les relatives als electrodomèstics. A banda d'informar al consumidor, han incentivat uns esforços importants en R+D per millorar l'eficiència global del conjunt de màquines. El resultat després d'una

dècada d'ús d'aquesta certificació és una millora significativa de l'eficiència de l'electrodomèstic mitjà venut al conjunt de la UE i l'aparició de nous estàndards de certificació per a aparells més eficients¹³. Un altre exemple reeixit, en aquest cas als EUA, ha estat la certificació energètica de finestres com a estratègia de reducció del consum energètic en aquest sector. Aquestes finestres han ocupat més del 35% del mercat nordamericà, i continuen tenint una tendència de creixement.

La certificació que hauria de tenir més repercussió en el conjunt del sector és la relativa a l'eficiència energètica del conjunt de l'edifici, establerta a través de la Directiva 2002/91/CE, que haurà d'estar transposada abans del 5 de gener de 2006. La certificació a què obliga aquesta directiva forçarà a incloure valors de referència sobre la normativa i valoracions comparatives, amb la finalitat de comparar i avaluar l'eficiència energètica dels edificis.

Taula 2.7. Consum, percentatge sobre el consum final total i intensitat energètica dels sectors terciari i primari. No s'han considerat els usos no energètics a l'hora de valorar el consum final total.

Consum final dels sectors terciari i primari (Mtep)			
	1990	1995	2000
Catalunya			1,9
Espanya	5,2	7,0	9,3
UE-15	115,3	127,9	132,7
UE-25	144,8	148,0	154,3

% sectors terc. i prim. sobre consum final			
	1990	1995	2000
Catalunya			14%
Espanya	9%	11%	12%
UE-15	13%	14%	14%
UE-25	14%	14%	14%

Intensitat energètica dels sectors primari i terciari (sobre la renda privada)			
	1990	1995	2000
Espanya	100	126,4	143,1
UE-15	100	101,8	90,9
UE-25	100	93,9	84,1

Fonts:
 Europa i Espanya: CE (2003).
 European Energy and Transport Trends.
 Catalunya: ICAEN (2001).
 Pla de l'Energia de Catalunya 2001-2010

¹³ En el cas de rentadores, rentaplats i neveres, per exemple, ha comportat l'aparició del nivell A+, d'eficiència superior al nivell més eficient de fa uns anys (A).

També obligarà a desenvolupar una metodologia de càlcul de l'eficiència energètica, que haurà d'integrar, com a mínim, aspectes com l'aïllament tèrmic, les instal·lacions de calefacció i aire condicionat, la ventilació natural, la disposició i orientació dels edificis, els sistemes solars passius i la protecció solar.

Quant als sectors terciaris i primaris, el creixement de la demanda energètica d'aquests darrers anys és també molt significatiu. Un creixement degut sobretot al sector terciari, atès que el consum del sector primari creix molt més lentament que el de la resta de sectors.

El sector terciari és el sector productiu en què el consum ha crescut més ràpidament, tant pel creixement del seu pes en el conjunt de les economies occidentals com per l'increment dels estàndards de confort del sector. En general, l'activitat del sector disposa d'uns valors afegits molt grans, que provoquen que l'energia no es tingui en compte ni tan sols com a variable econòmica. D'aquesta manera, les instal·lacions més noves i modernes no esdevenen més eficients que les antigues, sinó tot el contrari.

Aquesta situació és especialment certa al conjunt de l'estat, tal com mostren les dades d'intensitat energètica de la taula 2.7. L'increment de la intensitat energètica del sector entre 1990 i 2000 ha estat del 43%, mentre que en el mateix període al conjunt de la UE la intensitat energètica del sector disminuïa un 10%.



La previsible evolució del sistema energètic global

3

3.1

Les previsions tendencials

És arriscat fer projeccions tendencials en sistemes sotmesos a moltes variables, car l'exaltació de qualsevol d'elles pot produir variacions significatives en la tendència. Més encara: l'acció política té per objecte introduir aquestes variacions quan la tendència es fa alarmant, de manera que els escenaris tendencials d'abast mundial són especulatius. Això no obstant, ajuden a entendre el caire que podrien prendre els esdeveniments, cosa molt útil a l'hora de prendre decisions.

3.1.1 Visió socioeconòmica general

Les anàlisis per als propers anys preveuen una baixada gradual del ritme de creixement de la població mundial, fet que comportarà arribar a uns nivells d'entre 8.000 i 8.500 milions de persones el 2030. Es preveu un fort envelliment de la població, fins i tot en els països en desenvolupament, i un increment molt significatiu de la població que viu en zones urbanes. La població urbana, en efecte, l'any 2030 serà el 80% de la població total, quan avui dia només és el 50% (ja és el 75% a les àrees més desenvolupades del planeta).

En les dues properes dècades, el creixement econòmic mundial previsiblement es reduirà lleugerament en relació a l'actual. La mitjana de creixement del PIB mundial pot ser del 3,2% anual en el període 2002-2030 (3,7% en el període 2002-2010 i 2,7% en el període 2020-2030). El creixement econòmic més important es produirà a la Xina, l'Índia i altres països asiàtics. L'economia xinesa per força haurà de baixar el seu ritme de creixement a mesura que esdevingui una economia més madura, però tot i així es preveu que sigui la primera economia mundial als primers anys de la dècada 2020-2030. El creixement als països més desenvolupats (dins l'OCDE) serà del 2,2% anual de mitjana.

El creixement econòmic seguirà essent la variable més lligada a la demanda energètica creixent. A les dècades passades, la demanda energètica ha crescut linealment amb el PIB. Des del 1971, cada 1% de creixement del PIB representa un increment del 0,6% de la demanda energètica. Tanmateix, l'índex ha caigut d'un 0,7% (per punt de creixement percentual del PIB) durant la dècada del 1970 fins a un 0,4% en el període 1991-2002, en part degut a un clima més suau a l'hemisferi nord, però també per avenços en eficiència energètica.

A la Unió Europea, la incorporació de deu nous països, el maig de 2004, ha significat un increment de la seva població de 75 milions de persones, cosa que fa que representi actualment el 7% de la població mundial (453 milions de persones, amb dades de població de l'any 2000). L'evolució de la població serà molt diferent segons els països, però la tendència que marca el període és la de l'envelliment i un cert estancament del creixement. La població estimada per al 2030 és de 458 milions de persones.

El creixement econòmic previst a la Unió Europea en el període 2005-2030 se situa entre el 2 i el 2,5% anual, amb diferències significatives entre els nous països incorporats i els antics membres. Es preveu un creixement més accentuat durant el primer decenni, resultat de la progressiva recuperació després de la davallada de principis de la dècada, mentre que s'assumeix una lleugera estabilització del creixement durant la resta del període.

L'evolució del sistema productiu pot venir marcada pel desenvolupament de l'anomenada Agenda de Lisboa. L'Agenda de Lisboa és un ambiciós programa aprovat pel Consell Europeu el març de 2000 a la capital portuguesa, amb l'objectiu que la UE assolixi, a deu anys vista, una posició de lideratge econòmic en matèria de dinamisme i competitivitat mitjançant una estratègia basada en tres eixos d'acció:

- Accelerar la transició cap a una economia basada en el coneixement gràcies a la promoció de l'R+D i de la societat de la informació; intensificar les reformes estructurals i completar el mercat interior europeu.
- Modernitzar el model social europeu.
- Mantenir unes polítiques macroeconòmiques orientades a l'estabilitat.

Per tal d'avançar en aquest sentit, la UE ha establert en diferents reunions del Consell Europeu (Estocolm, 2001; Göteborg, 2002; Barcelona, 2002; Brussel·les, 2003) una sèrie d'objectius

quantificats i amb límit temporal, i d'altres menys específics. Tanmateix, l'assoliment d'aquestes fites ha estat limitat, en part per la conjuntura econòmica, però també per les imperfeccions del mateix programa i per la manca d'instruments per a fer-lo realitat. L'actual president de la Comissió Europea, José Durao Barroso, ha emprès la tasca de revisió de l'Agenda de Lisboa, però minimitzant alguns dels objectius més avançats de l'antic document i centrant els esforços en la política econòmica, atesa la pèrdua de potencial de creixement que la UE ha experimentat en els últims anys.

La demanda energètica de la UE augmenta des de l'any 1986 a un ritme d'entre l'1-2% anual, i actualment representa el 16% de l'energia primària consumida a nivell mundial. Les divergències entre països en el pes de les diverses fonts energètiques i en l'evolució de la demanda d'energia s'han accentuat arran de l'ampliació de la UE, ja que la major part dels nous països incorporats no han viscut una renovació tecnològica i d'eficiència, sinó el simple tancament de plantes antigues obsoletes, i tenen encara un sector de serveis força menor que la resta de països europeus.

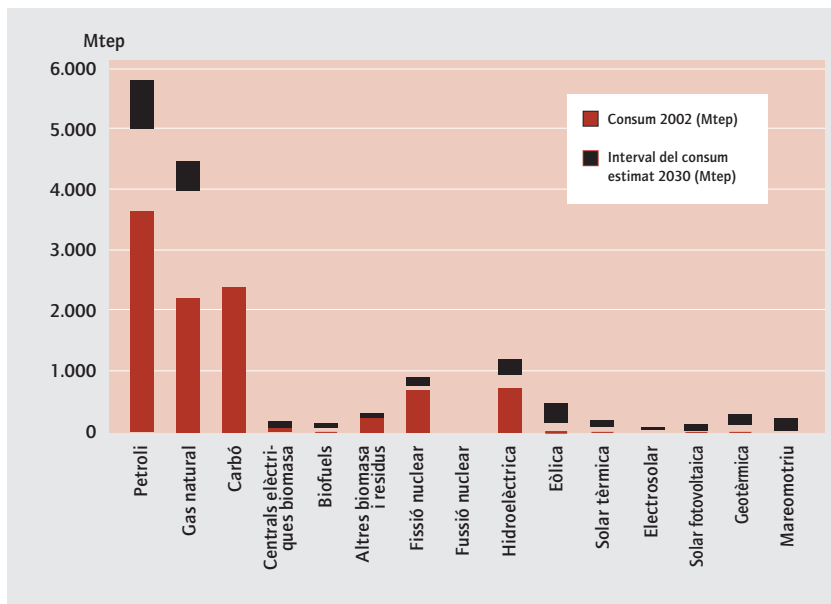
A l'actual UE, doncs, conviuen països que basen la seva economia en el carbó (prop del 60% de l'energia primària consumida a Polònia prové d'aquesta font) amb països que aposten per les fonts energètiques renovables i per l'estabilització de la demanda energètica. El camí marcat pel protocol de Kioto, vigent des de febrer de 2005, i els mecanismes interns que la UE ha implementat per poder-lo complir, influiran també decisivament en les tendències energètiques de la UE.

3.1.2. Les tendències d'obtenció, transformació i distribució

En un escenari tendencial en què no hi hagi crisi energètica ni trencament tecnològic o social que permeti el desenvolupament avançat de l'eficiència energètica i de les energies d'origen no fòssil, l'increment de demanda d'energia primària a nivell mundial en l'horitzó del 2030 es pot situar entorn dels 15.500-16.500 Mtep anuals, un 55-60% per damunt dels nivells actuals (10.200 Mtep el 2002)¹⁴.

¹⁴ Aquest escenari tendencial no incorpora les conseqüències de l'aplicació efectiva del protocol de Kioto a nivell mundial malgrat la seva entrada en vigor el 16 de febrer de 2005, atès que les tendències globals fins ara van en un sentit oposat al de Kioto i que encara no hi ha un compromís ferm del més gran productor mundial, els EUA.

Figura 3.1. Consum d'energia primària (2030) en l'escenari tendencial.



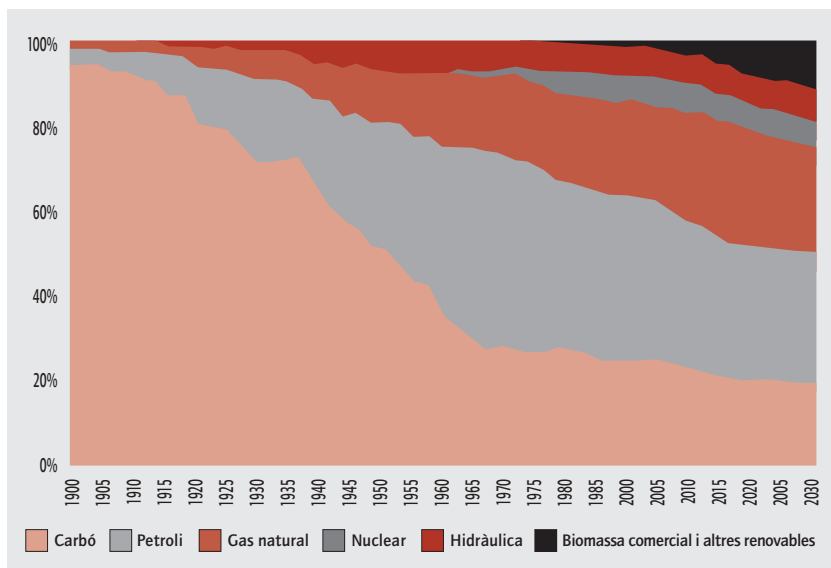
Font: 2002: International Energy Agency i Energy Information Administration. 2030: Estimació pròpia a partir de totes les dades consultades (vegeu bibliografia).

Taula 3.1. Consum d'energia primària l'any 2002 i previsions mínimes i màximes en un escenari tendencial en l'horitzó 2030. La suma de totals d'aportació màxima és superior al màxim consum global esperat, atès que no és probable un creixement màxim simultani de totes les fonts.

		2002		2030					
		Consum (Mtep)	% sobre total	Consum estimat mínim (Mtep)	% sobre total	Consum estimat màxim (Mtep)	% sobre total	Escenari tendencial desev. alt renov.	% sobre total
Reacció combustiva d'origen fòssil	Total fòssil	8.266	85%	12.100	82%	13.800	78%	12.100	75%
	Petroli	3.676	38%	5.000	34%	5.800	33%	5.000	31%
	Gas natural	2.190	22%	4.000	27%	4.500	25%	4.000	25%
	Carbó	2.400	25%	3.100	21%	3.500	20%	3.100	19%
Altres reaccions combustives	Tot. altr. combustives	76	1%	350	2%	600	3%	600	4%
	Centrals elèctr. biomassa	30	0%	60	0%	200	1%	200	1%
	Biocombustibles	9	0%	40	0%	100	1%	100	1%
	Altres biom. i residus	37	0%	250	2%	300	2%	300	2%
Reacció nuclear	Total nuclear	692	7%	750	5%	1.000	6%	1.000	6%
	Fissió nuclear	692	7%	750	5%	1.000	6%	1.000	6%
	Fusió nuclear	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
No reactives	Total no reactives	731	7%	1.593	11%	2.402	13%	2.402	15%
	Hidroelèctrica	676	7%	1.000	7%	1.200	7%	1.200	7%
	Total altres no reactives	55	1%	593	4%	1.202	7%	1.202	7%
	Èdica	5	0%	300	2%	500	3%	500	3%
	Solar tèrmica	5	0%	100	1%	200	1%	200	1%
	Electrosolar	0,01	0%	3	0%	17	0%	17	0%
	Solar fotovoltaica	0,01	0%	20	0%	85	0%	85	0%
	Geotèrmica	45	0%	150	1%	300	2%	300	2%
Mareomotriu	0,01	0%	20	0%	100	1%	100	1%	
TOTAL		9.765		14.793		17.802		16.102	

Font: 2002: International Energy Agency i Energy Information Administration.
2030: Estimació pròpia a partir de totes les dades consultades (vegeu bibliografia).

Figura 3.2. Distribució del consum mundial d'energia primària entre 1900 i 2030 en un escenari tendencial que contempli un desenvolupament alt de les energies renovables. Vegeu figures 3.3 i 3.4 (pàg. 114 i 115) per al detall de la distribució de les energies renovables.



Font: 1900-2002: International Energy Agency i Energy Information Administration.
2030: Estimació pròpia a partir de totes les dades consultades (vegeu bibliografia).

L'energia obtinguda per reacció combustiva

L'energia obtinguda per reacció combustiva continuarà essent hegemònica en l'horitzó 2030. La inèrcia del sistema actual és tan forta que ni els escenaris normatius més agosarats (com ara l'escenari *Sustainable Development* de l'AIE) preveuen una dependència per a les energies d'origen fòssil inferior al 73%. L'increment de l'aprofitament d'energia a partir de fonts renovables servirà per cobrir una part de l'increment del consum final previst, però el seu avenç serà lent. La taula 3.2 mostra les previsions pel que fa a percentatges d'energia fòssil, nuclear i renovable d'acord amb alguns escenaris d'abast mundial.

Taula 3.2. Percentatge de participació de les diferents energies sobre el total d'energia primària als principals escenaris energètics per al 2030 (no s'hi ha inclòs l'escenari SD de l'AIE, esmentat al text, perquè les dades no són comparables).

	MÓN						
	Esc. referència WEO 04				Esc. alternatiu WEO 04		
	Fo	Nu	Re		Fo	Nu	Re
2000							
2002	80,0	6,7	13,3		80,0	6,7	13,3
2010	81,0	6,0	13,0				
2020	82,0	5,0	13,0		78,5	6,5	15,0
2030	82,0	5,0	13,0		78,0	6,0	16,0

	UE						
	Esc. referència WEO 04				Esc. alternatiu WEO 04		
	Fo	Nu	Re		Fo	Nu	Re
2000							
2002	79,0	15,0	6,0		79,0	15,0	6,0
2010	79,0	13,0	8,0				
2020	82,0	9,0	9,0		77,0	11,0	12,0
2030	81,0	7,0	12,0		74,0	10,0	16,0

	ESPANYA						
	EET 03				EET 03		
	Fo	Nu	Re		Fo	Nu	Re
2000	79,5	14,6	5,9		81,0	13,2	5,8
2002							
2010	78,7	13,7	7,6		79,6	10,9	9,5
2020	80,7	11,3	8,0		80,0	10,0	10,0
2030	82,0	9,4	8,6		78,0	11,5	10,5

Fo: fonts fòssils; Nu: energia nuclear; Re: energies renovables

Font: WEO 04: World Energy Outlook 2004

(escenari de referència i alternatiu), AIE EET: European Energy and Transport Trends, Comissió Europea, 2003

A grans trets, les tendències de futur relatives a l'extracció de matèries primeres energètiques de fonts fòssils estan marcades per canvis en el proveïment de petroli i de gas natural per part dels grans països consumidors:

- Els EUA cerquen fonts addicionals al petroli del Golf: prospeccions *off-shore* a la costa africana i petroli americà (bàsicament Canadà i Veneçuela), de pitjor qualitat però amb un abastament més segur.
- Els països emergents asiàtics (Xina, Índia, Indonèsia, etc.), que estan incrementant significativament el seu consum energètic a partir de fonts fòssils, intenten posicionar-se a l'Orient Mitjà i assegurar-se l'abastament futur a partir d'aquests països.
- Europa diversificarà el proveïment de gas natural per tal de garantir la seguretat de subministrament en el futur, mitjançant l'increment del proveïment des de Rússia (incloses les reserves inexplorades de Sibèria i de repúbliques ex-soviètiques), el Magrib, l'Orient Mitjà i Sudamèrica.
- Les previsions d'increment sostingut de l'ús de gas natural i la cerca de noves zones d'abastament per assegurar-ne el proveïment pot agreujar conflictes en zones sociopolíticament inestables, com algunes repúbliques de l'antiga Unió Soviètica.

El carbó

Les previsions de reserves mundials de carbó permeten la seva explotació al ritme actual (4.791 Mt/any) durant 210 anys, tot i que el nivell de reserves és molt sensible a la conjuntura econòmica internacional. En tot cas, el carbó mantindrà un pes important en el sistema energètic durant molts anys. És la font que causa més emissions contaminants i de CO₂ –cosa que provoca que disminueixi el seu ús en molts països europeus–, però la magnitud de les seves reserves (210 anys, al ritme de consum actual) fa que se centri en ell molta R+D. Aquesta recerca s'adreça sobretot a l'aplicació en usos poc explorats, com el transport, i a nous sistemes de transformacions energètiques que redueixin les emissions contaminants i de CO₂. Les línies de recerca per a desenvolupaments futurs se centren en¹⁵:

¹⁵ Més informació a: *Le charbon et les centrales thermiques*, J. Teissié, 2004; *Clean coal's uphill haul*, a *The Economist*, 19 de setembre de 2002. A la bibliografia general.

- Millora de l'eficiència de plantes convencionals de nova construcció. El rendiment mitjà de les noves centrals ha crescut les darreres dècades del 30% al 36-38%. mitjançant tecnologies de pressurització del forn i de turbinació dels gasos de combustió abans del circuit de vapor.
- Les centrals de combustió en llits de fluïdització pressuritzada (PFBC), en les que un corrent d'aire ascendent manté el lit de carbó en suspensió i permet una disminució de la temperatura del forn. S'aconsegueixen disminuir les emissions de NO_x fins i tot si es fan servir carbons de pitjor qualitat. Els rendiments se situen en el rang del 40-45%.
- Les centrals de funcionament en vapor super-crític, que permeten un augment del rendiment, podent arribar a valors teòrics d'entre el 45 i el 47% de rendiment en la transformació.
- El cicle combinat amb gasificació de carbó integrada (IGCC) converteix el carbó en un gas que després és depurat i cremat en un procés de cicle combinat. Amb l'IGCC s'aconsegueixen rendiments de fins al 45%. Una planta d'IGCC està constituïda per les unitats de generació elèctrica, gasificació i separació d'aire. Un elevat nivell d'integració i optimització d'aquestes tres unitats és la clau per augmentar l'eficiència total de la planta. Una de les dues plantes experimentals d'aquest tipus és a Puertollano; va ser posada en funcionament el 1997 i aquests darrers anys (2003 i 2004) ha generat més de 1.600 GWh anuals.
- Tecnologies de generació elèctrica de carbó d'emissions zero i de conversió de carbó a hidrogen. Els EUA estan invertint fortament en R+D en una planta prototipus d'IGCC avançada, amb l'objectiu de desenvolupar tecnologies d'emissions zero, de captura de CO_2 i de conversió de carbó a hidrogen. Un dels objectius tecnològics és convertir les emissions sulfuroses i nitrogenades en subproductes com ara fertilitzants.
- Quant als processos de conversió de carbó a líquid (CTL) que transformen el combustible sòlid en alcohols líquids, se'n preveuen millores per optimitzar la seva utilització en automoció. La tecnologia CTL es basa en el procés Fischer-Tropsch, que utilitza carbó, vapor i oxigen com a matèries primeres i obté gas, una varietat de combustibles líquids i altres subproductes. Aquesta tecnologia, utilitzada per primera vegada per Alemanya durant la II Guerra Mundial, es fa servir comercialment des de fa anys en els automòbils de Sudàfrica. Una millo-

ra en els processos de conversió pot fer estendre aquest ús a altres països, atesa l'elevada disponibilitat de carbó en relació a altres reserves fòssils.

Així, doncs, les previsions de futur per als propers anys apunten cap a un increment del 35-45% en l'ús del carbó, de manera que en l'horitzó 2030 poden consumir-se entre 3.100 i 3.500 Mtep primaris de carbó, envers els 2.400 actuals (2002). Això faria estabilitzar la proporció de l'ús del carbó als nivells actuals, a l'entorn del 22% del consum d'energia primària.

Tanmateix, l'increment del volum total de consum no tindrà un repartiment mundial uniforme, ni en termes d'extracció, ni en termes de consum. Es preveu un creixement de l'extracció en zones d'Àsia i Àfrica i una reducció significativa a Europa i, en menor mesura, als Estats Units. A Europa també es preveu una reducció de l'ús, significativa quant a aportació al mix energètic (12-14% de 2030, envers el 18% de 2002), però lleugera quant a la magnitud total (250-290 Mtep el 2030, envers 303 Mtep el 2002). La generació d'electricitat a partir del carbó seguirà constituint el segon sistema de generació elèctrica, amb un percentatge aproximat del 25% (1.000-1.100 TWh).

El petroli

Les reserves econòmicament explotables del petroli situen el seu fi en un període d'entre 36 i 44 anys al ritme d'extracció actual (28.000 milions de barrils anuals, que corresponen aproximadament a 4.470.000.000 m³/any). Tot i així, la magnitud exacta de les reserves existents és una qüestió d'una gran opacitat, atès el propi funcionament del mercat: el 85% de les reserves conegudes estan en mans de companyies estatals, amb capacitat per declarar reserves en funció de factors polítics i econòmics, més que no pas en funció de constatacions reals.

L'aprofitament energètic a partir del petroli és el sistema de generació més estès mundialment (36% de la demanda d'energia primària mundial el 2002, que corresponen a 3.676 Mtep). Si bé la tendència és estabilitzar aquesta proporció, el seu ús futur vindrà condicionat per les dificultats d'accés a les reserves, a son torn fruit de tres factors clau: el preu; el moment en què la demanda superi la capacitat d'extracció (el *peak oil*) i l'origen i qualitat del cru extret.

- *El preu.* La sensibilitat de les economies estatals al preu del petroli fa que se li atorgui una gran rellevància en les previsions de proveïment. La tendència a l'alça dels darrers mesos,

que ha col·locat el barril de Brent (158,984 litres) per sobre dels 55\$, sembla que no respon a raons definitives, sinó a motius conjunturals. No obstant això, sí que es consolida una tendència a un petroli de preus per barril situats per sobre dels 35-40\$ (cal recordar que a final de l'any 2001 el preu per barril estava per sota dels 20\$). L'economia mundial pot absorbir un rang sostingut de 40-45\$, però una consolidació del preu del cru per sobre del rang dels 50\$ pot provocar problemes importants d'adaptació a moltes economies (vegeu 3.2 per a més informació en relació a la crisi energètica).

Un dels factors clau que ha motivat l'increment recent dels preus és el poc control que exerceix l'OPEP sobre els preus. L'OPEP representa cada vegada menys països del conjunt total dels extractors del petroli¹⁶ i té dificultats importants per controlar l'oferta a curt termini, tal com havia fet en el passat. Aquesta tendència pot continuar fins a l'arribada del *peak oil*.

- *El zenit de producció o peak oil*. El zenit de producció és el moment en què la demanda de petroli superi la capacitat d'extracció. Provocarà l'entrada en una nova etapa dels preus del petroli. La combinació entre demanda creixent, alentiment de l'extracció a molts jaciments i colls d'ampolla cada vegada més freqüents en l'abastament produirà xocs de preus importants, produint danys irreparables a l'economia mundial. Per aquest motiu, una pujada progressiva de preus ha de ser vista com un mal menor ja que, en ser progressiva, alenteix el ritme de creixement de la demanda i permet a les economies adaptar-se gradualment a la futura escassetat del petroli.

Ningú no dubta que el *peak oil* tindrà lloc al llarg del segle XXI, però encara hi ha divergències en la seva datació més aproximada. Les fonts més pessimistes situen el *peak oil* entre el 2010 (*Association for the Study of Peak Oil & Gas*) i el 2016 (*Douglas-Westwood*). Altres fonts optimistes el situen més enllà del 2030. Una de les fonts optimistes més ben informades, el Departament d'Energia dels EUA, estima que el zenit d'extracció tindrà lloc més tard del 2026, amb la possibilitat que es retardi fins a mitjans del segle XXI.

¹⁶ Als cinc països fundadors (1960: Iran, Iraq, Kuwait, Aràbia Saudita i Veneçuela), s'uniren fins a vuit membres més: Qatar (1961), Indonèsia (1962), Líbia (1962), Emirats Àrabs Units (1967), Algèria (1969), Nigèria (1971), Equador (1973) i Gabon (1975), però aquests dos darrers es retiraren l'any 1992 i 1994, respectivament.

- *L'origen i la qualitat del cru extret.* El *peak oil* tindrà característiques ben diferents als països de l'OPEP i als que no ho són. En aquests darrers, un preu internacional del cru elevat pot fer viable explotacions menors i noves exploracions. Molts dels jaciments fora de la zona OPEP fa temps que superaren el zenit de producció i estan extraient quantitats cada vegada menors. A més, les noves explotacions de jaciments madurs corren a càrrec de petites companyies que poden assumir el risc de produccions incertes a mitjà termini, i una qualitat decreixent del cru extret. Els països de l'OPEP són responsables de quasi un 40% de l'abastament mundial de petroli. Disposen, a més, del petroli de més qualitat. La pujada de la demanda se centrarà majoritàriament en aquests països, de forma que a mitjans de la dècada del 2020 la seva participació pot superar el 50% de la producció mundial. A curt termini els països de l'OPEP han de fer front a problemes de capacitat d'extracció diària. Tanmateix, el potencial d'extracció i les reserves inexplorades en aquests països són encara molt grans.

Una tercera font de petroli és la que parteix de fonts no convencionals: sorres asfàltiques al Canadà i Veneçuela, pissarres bituminoses, etc. La participació d'aquestes dues fonts a l'oferta total de cru pot augmentar sensiblement, fins a un 8% el 2030. Els costos d'extracció d'aquestes dues fonts no convencionals ha baixat notablement els darrers anys, situant-se en el cas de les sorres asfàltiques al voltant dels 10\$ per barril, però amb una gran dependència del preu del gas natural, utilitzat per injectar calor a les sorres i extreure'n el petroli.

Quant als usos, els avenços en les tecnologies relacionades amb el petroli es concentren en la banda del consum, augmentant les eficiències de les diferents transformacions finals. Un exemple d'això és l'eficiència dels motors de combustió interna, tant de gasolina com diesel, que ha augmentat significativament els darrers anys i es preveu que augmenti més els propers anys.

En un escenari tendencial en què no tingui lloc una crisi petrol·liera severa, l'any 2030 el petroli continuarà essent la matèria primera energètica més usada. S'estima un consum d'energia primària d'entre 5.000 i 5.800 Mtep, que contribuiran en un 30-35% al sistema energètic global.

A Europa, el petroli baixarà lleugerament la seva proporció de consum d'energia primària (entre dos i tres punts percentuals, del

38% al 35-36%) en el període 2002-2030, segons les previsions. Això suposa un augment en el consum total de petroli d'entre 50 i 100 Mtep, podent-se arribar a assolir 750 Mtep l'any 2030. La generació elèctrica baixarà la seva dependència del cru, de manera que el 2030 només serà responsable d'un 1% de la generació (59 TWh) envers el 6% de l'any 2002 (182 TWh).

El gas natural

Les reserves conegudes o previstes concedeixen al gas natural una vida més llarga que al petroli, d'entre 60 i 70 anys al ritme de consum actual. Per aquest motiu, i per les menors emissions contaminants i de CO₂ per unitat energètica final, el gas natural ha experimentat un increment d'ús molt important els darrers anys, increment que sembla consolidat de cara al futur. De fet, el gas natural pot esdevenir el combustible de transició entre un sistema energètic basat en el petroli i un de futur, a llarg termini, que depengui molt menys dels combustibles fòssils.

La tecnologia clau del creixement del gas natural és la de generació elèctrica a partir de centrals tèrmiques de cycle combinat. Es preveu que aquest sistema creixi un 60% en el període 2004-2030. L'ús del gas natural per a l'automoció pot augmentar mitjançant noves tecnologies, com la conversió de gas a líquid (GTL), que potser permetrien que el gas natural esdevingués un combustible de transició també per al sector del transport.

Sigui com sigui, les tendències tecnològiques al voltant del gas natural són:

- *Generalització i millora del cycle combinat* per a la generació d'electricitat. Els límits a l'eficiència (actualment amb un màxim del 58%) vénen donats per la temperatura d'operació. Per això part de la R+D se centra en el desenvolupament de materials que permetin augmentar-ne més l'eficiència. Una altra línia de futur és la millora del disseny de la turbina de gas per tal de conferir-li un comportament superior a l'actual. Amb aquestes millores es poden assolir valors de rendiment per sobre del 60% i, fins i tot, del 70% en cas de cogeneració.
- *CTCC amb cogeneració o trigeneració*. El rendiment en centrals de cycle combinat amb cogeneració (generació conjunta d'electricitat i calor) o trigeneració pot augmentar fins a un 70%. La trigeneració incorpora, a més, la producció de fred, de manera que els productes sortints d'una central de trigene-

ració són aigua calenta i/o vapor, aigua freda i electricitat. Els processos de trigeneració poden ser fins a un 50% més eficients que els de cogeneració. Els processos de cogeneració i trigeneració faciliten el desenvolupament de sistemes d'energia de districte (*district heating & cooling*).

- *Extensió de la cogeneració* a petites centrals urbanes en llocs on la baixa temperatura justifica un ús prolongat de la calefacció a les llars. A Dinamarca la cogeneració (provinent majoritàriament de calefacció de districte) suposa prop d'un 40% de l'electricitat consumida, mentre que a Holanda i Finlàndia aquesta font suposa el 30%. Les eficiències globals poden passar del 35% al 60-70%. Es preveu, fins i tot, comercialitzar en el futur minicentrals de cogeneració de nivell domèstic.
- *Extensió i millora de la conversió GTL*, avui en dia ja utilitzada àmpliament en països com Qatar. Aquesta tecnologia permet la utilització del líquid resultant com a combustible per al sector del transport.
- *Utilització del gas natural com a font per generar hidrogen*, que a la seva vegada alimentaria cèl·lules d'hidrogen capaces de produir electricitat, aigua i calor (vegeu 2.5.2).

Relacionat amb la seguretat, convé destacar la tendència a la millora de l'abastament. La planificació de nous gasoductes és la millor opció. La xarxa espanyola de gasoductes és pobre, en comparació amb l'europea, en extensió i connexions, essent aquesta molt més capil·laritzada. Catalunya es troba al final del recorregut dels gasoductes provinents del Magreb i té una de les tres terminals de regasificació del gas natural liquat (GNL), però no està connectada amb la xarxa de gasoductes centreuropeus. Això fa que hi hagi una gran dependència del GNL, amb els riscos que comporta el seu emmagatzematge en grans quantitats. Per garantir la seguretat d'abastament es preveu aprofitar dipòsits geològics subterranis per emmagatzemar reserves estratègiques de gas natural.

En definitiva, la previsió tendencial preveu un creixement significatiu de l'obtenció d'energia a partir del gas natural, fins al punt que serà el combustible fòssil que més creixerà en els propers anys. En concret, es preveu que l'any 2030 se'n consumeixin entre 4.000 i 4.500 Mtep (envers els 2.190 Mtep de 2002), passant del 21% del total d'energia primària al 25% el 2030. El creixement més gran es produirà a les economies emergents d'Àsia, les eco-

nomies en transició (Rússia i la seva zona d'influència), Nordamèrica i Europa, per aquest ordre.

A Europa, el gas natural també augmentarà considerablement la seva participació en el *mix* i esdevindrà la segona matèria primera energètica, per davant del carbó. En termes d'energia primària, passarà de representar un 23% el 2002 a un 30-32% el 2030, i arribarà fins a 600 Mtep. La generació d'electricitat serà la gran responsable d'aquest augment. El gas natural passarà a ser el principal combustible usat per a la generació d'electricitat, tot doblant el percentatge del 2002 (del 17 al 34%), cosa que representa que les centrals tèrmiques de cicle combinat generaran entre 1.400 i 1.500 TWh el 2030.

Altres hidrocarburs no convencionals (petroli bituminós i hidrats de gas)

La tendència alcista dels preus del petroli fa que es tornin a considerar opcions que no tenien sentit quan el nivell de preus era molt baix. Una de les opcions és l'explotació addicional de pous de petroli considerats esgotats, però que contenen encara importants quantitats de cru. Les tècniques anomenades IOR (*Improved Oil Recovery*) inclouen la injecció de gasos, l'ús de productes químics, l'escalfament del petroli, la generació de vibracions de les reserves amb ultrasons o l'alliberament de bacteris consumidors d'hidrocarburs. Es tracta de tècniques que poden tenir un paper important en el futur. Per exemple, es calcula que l'actuació de bacteris pot incrementar les reserves disponibles del mar del Nord en 10.000 milions de barrils. Els avenços en la utilització de bacteris pot proporcionar bons resultats en un futur, atès que es tracta d'una tecnologia barata, encara que en un estat de desenvolupament poc avançat.

La utilització de bacteris que degraden el petroli pot ser una alternativa per a petrolis considerats fins ara no aptes per al processament ulterior, com els procedents de sorres bituminoses. Les sorres bituminoses o asfàltiques són una barreja d'argila, sorra, aigua i betum, les reserves més importants de les quals són al NW de Canadà i a Veneçuela.

Altres hidrocarburs no convencionals són les pissarres bituminoses i els hidrats de gas. Les pissarres bituminoses són llicorelles que contenen prou material bituminós com per extreure'n petroli mitjançant destil·lació. Els hidrats de gas o hidrats de metà són una mescla de gasos atrapats sòlidament a alta pressió i molt bai-

xes temperatures de forma natural, d'entre els quals el metà és el que presenta una proporció més gran. Els hidrats de gas constitueixen la reserva més gran de metà del planeta, en una quantitat que dobla les reserves conegudes de petroli, carbó i gas natural juntes. Tanmateix, fins ara no s'han explotat perquè el seu accés és complicat i encara no existeix un mètode eficaç per obtenir-ne l'energia útil.

La biomassa i la fracció fòssil dels residus

Les previsions de futur de l'aprofitament comercial de l'energia de la biomassa són diverses i incertes, tant a nivell local com internacional. Mentre existeix un estancament del seu aprofitament energètic a nivell internacional, les planificacions estratègiques europees i estatals li atorguen la màxima importància entre les fonts no fòssils i li preveuen creixements espectaculars (4,4% anual en la generació d'electricitat d'Europa, per exemple) en el període 2002-2030.

El protocol de Kioto pot representar un gran pas endavant per al desenvolupament futur de la biomassa, atès que en el seu mecanisme d'aplicació a la Unió Europea la biomassa compatibilitza com a combustible neutre (emissió 0) en el balanç d'emissions. Això pot fer que augmenti significativament el seu ús per part d'empreses que disposen d'una quota d'emissions actual elevada i que tenen per objectiu disminuir-la. Per contra, la incertesa sobre l'ampliació de la seva utilització es fonamenta en la manca de polítiques forestals i agrícoles escaients i en l'elevat cost de les diferents tecnologies d'aprofitament.

En efecte, el seu desenvolupament com a sistema de generació energètica està estretament relacionat amb les polítiques forestals i agrícoles, que fins ara no l'han considerada com un factor realment estratègic. Als països occidentals és molt difícil que a curt i mitjà termini es puguin obtenir quantitats importants d'energia a partir de biomassa forestal a un cost acceptable, si no hi ha un canvi molt important en la política forestal. D'altra banda, les tecnologies de generació també han de fer front a la percepció social negativa de moltes centrals de biomassa, equiparable a la percepció de la incineració de residus, i a les consegüents exigències restrictives quant als límits d'emissions.

Quant a l'aprofitament energètic de la biomassa forestal i d'altres residus orgànics, les tecnologies que està previst que experimentin un creixement en el futur i en les quals se centra la R+D

són la gasificació i la piròlisi, a banda de la millora de la combustió directa:

- *La gasificació* és una combustió incompleta a temperatures d'entre 800 i 1.500 °C. El producte de la gasificació és un gas de síntesi, que es pot fer servir amb finalitats energètiques: motors, turbines de gas per produir electricitat, etc. Aquesta tecnologia hauria de permetre a mitjà termini doblar les eficiències energètiques respecte les actuals centrals convencionals de biomassa. Si a més a més s'incorpora un sistema tèrmic de cycle combinat, els costos de la bioelectricitat podrien baixar fins gairebé els nivells de l'electricitat convencional.
- *La piròlisi* és la descomposició tèrmica dels residus en fraccions líquides, gasoses i sòlides, totes tres utilitzables posteriorment per a usos energètics. En alguns casos permet la recuperació dels materials reciclables continguts en els residus, sense pèrdues i en condicions sanitàries òptimes. Les tecnologies de transformació energètica mitjançant aquest sistema seran viables comercialment a mitjà o llarg termini.

L'any 2030 s'espera un rang de generació d'electricitat a partir de biomassa forestal comprès entre 60 i 200 Mtep a nivell mundial, envers els 30 Mtep actuals (2002).

Quant a l'aprofitament dels conreus energètics i dels olis vegetals en forma de *biocombustible*, les previsions teòriques són també altes. La Comissió Europea va establir l'any 2003 la directiva 2003/30/CE, de promoció dels biocombustibles, amb la finalitat de promoure'n l'ús a la UE. Aquesta directiva estableix un objectiu ambiciós, però només indicatiu (no obligatori), de substitució del 5,75% de la gasolina i del gasoil d'automoció l'any 2010. D'altra banda, la Directiva 2003/96/CE ordena el tractament fiscal de tot tipus de combustibles, inclosos els biocombustibles. La tendència dels països occidentals és la d'imposar quotes de biocombustibles. Catalunya ha fet una forta aposta pel biodiesel els darrers anys, tant a nivell de generació del combustible com de constitució d'una xarxa de distribució a través de gasolineres com de foment fiscal al seu ús. Així mateix, moltes de les gasolineres que es distribueixen a Catalunya contenen una petita part de bioalcohol (ETBE) d'origen renovable.

Malgrat això, les limitacions són importants. A Espanya, el Pla de foment de les energies renovables (1999) o la més recent Estratègia d'estalvi i eficiència energètica (E4, 2004) tenen per

objectiu arribar a la producció de més de 5 Mtep en termes d'energia primària l'any 2010, quan l'any 2003 la generació era de 0,17 Mtep. Atesa la situació actual i les limitacions tecnològiques, aquestes expectatives difícilment s'acompliran, malgrat els plans de promoció existents. Quant a la baixa densitat energètica, cal assenyalar que una substitució del 5% de la gasolina per etanol i també del 5% de gasoil per biodiesel requeriria al voltant del 20% del sòl agrícola d'Europa, i un 21% del dels EUA. En relació als impactes ambientals, destaquen les necessitats en agroquímics i les conseqüències de l'ocupació monocultiva d'una extensa superfície de sòl: erosió i compactació del sòl, i disminució de la biodiversitat.

El cost de producció dels biocombustibles als països occidentals pot arribar fins a tres vegades el cost de la gasolina i diesel convencionals. Tot i així s'han aconseguit reduccions importants i se n'esperen més en el futur a partir de noves tecnologies. A països tropicals i subtropicals els costos són sensiblement inferiors, acostant-se als costos dels fuels convencionals, per una major aportació energètica natural i uns menors costos laborals i del sòl. Si el sòl agrícola disponible és important i els preus del combustible convencional pugen, aquesta opció mereixerà ser àmpliament considerada en el futur. L'experiència a més gran escala d'ús de biocombustibles és el bioetanol brasiler, obtingut a partir de canya de sucre. És una de les poques experiències de biocombustible amb un balanç energètic positiu, atesa la densitat superficial de les plantacions (65 t/ha) i la no necessitat d'agroquímics (nitrogen). El mateix etanol derivat de canya de sucre en molts altres indrets del planeta amb un clima menys favorable (menys insolació i menys precipitacions) tindria un balanç energètic neutre o negatiu.

Europa podria, amb polítiques avançades, produir fins a 30.000 milions de litres d'etanol i 25.000 milions de litres de biodiesel el 2020, cosa que equivaldria al 7% del combustible d'automoció (10% de gasolina i 3% de diesel). Però una substitució del 10% en la gasolina per etanol requeriria el 8% del sòl agrícola d'Europa. I un desplaçament del 3% del diesel per biodiesel necessitaria un 10% addicional del sòl agrícola europeu. Una reconversió del 18% del sòl agrícola a Europa necessita d'una voluntat política molt ferma. Perquè si no es disposés de prou matèria primera energètica a l'interior del país, aquesta s'hauria d'importar, amb el consegüent impacte ambiental i econòmic.

També cal considerar que les tecnologies d'obtenció del biodiesel i de l'etanol a partir de cereals i sucre, respectivament, són força madures, raó per la qual les futures reduccions de costos es preveuen petites. En canvi, una nova tecnologia que obre noves expectatives de futur és la conversió de cel·lulosa a etanol. Està previst que la primera instal·lació que efectui aquest procés sigui operativa el 2006 al Canadà.

D'acord amb les previsions relacionades amb l'aplicació de les directives europees i amb un important esforç a nivell mundial, es preveu un increment important de la generació de biofuels, assolint-se valors d'entre 40 i 100 Mtep l'any 2030 (envers 9 Mtep l'any 2002). En relació a les altres formes d'aprofitament comercial de la biomassa (biogàs, calefacció comunitària, etc.) i a l'aprofitament de la fracció fòssil dels residus es preveu un creixement encara més important, assolint-se valors globals d'entre 250 i 300 Mtep l'any 2030 (envers 37 Mtep l'any 2002).

L'energia obtinguda per reacció nuclear

L'energia d'origen nuclear continuarà tenint un pes important en el futur, tot i que percentualment més baix que avui dia. La seva negativa percepció social segurament afectarà el seu desenvolupament –sobretot quant a la construcció de noves centrals un cop les actuals arribin a la fi de la seva vida útil–, en particular a nivell europeu.

La fissió nuclear

Els darrers anys el sector nuclear ha tendit a augmentar la potència elèctrica dels reactors i a allargar la seva vida útil, ateses les limitacions a les construccions de noves centrals nuclears. Aquesta tendència continuarà, en un futur immediat, per a aquelles centrals que encara no n'han estat afectades. L'increment de potència nominal entre un 2 i un 8% ha permès augmentar la producció d'energia i millorar l'eficiència operativa de les centrals existents. L'allargament de la vida útil permet que les centrals construïdes per a un període previst de 30 o 40 anys allarguin el seu ús per un període de 50 o 60 anys, després d'una revisió a fons i del recanvi dels materials desgastats.

En el decenni que ve, l'exhauriment del període de vida de moltes centrals als països centre i nordeuropeus farà revifar el debat nuclear i la viabilitat de noves instal·lacions. Però el futur d'aquesta tecnologia és incert en molts sentits. El cas de Suècia, país que disposa d'un pla de tancament de totes les seves centrals

nuclears, és un reflex de la incertesa sobre el futur d'aquesta forma de generar energia. La societat sueca, molt sensibilitzada en qüestions ambientals, ha passat de voler tancar les centrals nuclears pels seus riscos a prioritzar la seva conservació davant les dificultats d'implementar fonts alternatives no contaminants. Davant la contaminació atmosfèrica de les centrals convencionals substitutives i davant la necessitat de garantir el compliment del protocol de Kioto, l'opinió pública sueca sembla decantar-se els darrers anys a favor del manteniment de les centrals nuclears existents.

Alemanya, per la seva banda, preveu fer un tancament progressiu de les seves centrals nuclears. No es tracta d'una aturada total, sinó de la clausura gradual de les centrals a mesura que hagin quedat obsoletes o hagin arribat a la fi de la seva vida útil. D'aquesta manera es començaran a tancar les centrals més antigues de l'antiga Alemanya oriental.

En canvi, altres països, com Finlàndia o França, aposten per la construcció de centrals de tercera generació per cobrir la seva demanda energètica. D'altra banda, els EUA estan relançant la seva aposta per l'energia nuclear. I la Xina, l'Índia, el Japó i d'altres països asiàtics aposten clarament per la tecnologia nuclear com a sistema de transformació energètica de futur.

Els reactors més avançats que s'estan dissenyant avui dia són de tercera generació, mentre que es treballa ja en el disseny de la quarta generació:

- *Reactors de tercera generació*: reactors amb millores tecnològiques sensibles en relació a la seguretat i a la disminució de l'impacte ambiental, i d'una potència elèctrica més elevada (1.500-1.600 MWe) que els actuals. Són sistemes evolutius, que no presenten una ruptura tecnològica, sinó una progressió dels sistemes convencionals. N'existeixen de diversos tipus: reactors avançats d'aigua en ebullició (ABWR), reactors avançats d'aigua a pressió (APWR, EPR...), reactors refrigerats per gas a altes temperatures (BPMR o 'llit de còdols'¹⁷, que permeten construir petites instal·lacions [150 MWe], fins i tot per a fonts mòbils), etc. França i Finlàndia estan apostant per la tecnologia EPR com a tecnologia de futur immediat, mentre que la Xina està construint reactors BPMR, essent pionera a nivell mundial.

¹⁷ Els reactors BPMR *pebble-bed* no fan servir aigua com a transmissors de calor, sinó gasos inerts (heli, nitrogen o diòxid de carboni). Aquests gasos circulen a través del combustible, que es presenta en forma oxidada i contingut a milers de petits còdols o boles (*pebbles*).

- *Reactors de quarta generació*: reactors i centrals que parteixen de noves bases tecnològiques, més avançades, que fan èmfasi en les característiques de seguretat intrínseca i en la senzillesa dels sistemes. Permeten generar més potència amb menys residus de procés. Preveuen, a més, la producció d'hidrogen a partir de reaccions químiques a alta temperatura com a producte complementari a la generació d'electricitat. Aquest tipus de reactors són encara en fase d'estudi; no se'n preveu l'entrada en funcionament abans de 2025-2030.

L'energia d'origen nuclear aportarà, el 2030, entre el 5 i el 6% del consum d'energia primària mundial (entre 750 i 1.000 Mtep), envers el 7% actual (692 Mtep). Pel què fa a Europa, les previsions tendencials que consideren la seva negativa percepció social marquen una davallada significativa, excepte a França i a Finlàndia. La proporció de la nuclear en el total d'energies primària passarà del 15% de l'any 2002 al 7-10% de 2030. La participació en la generació elèctrica baixarà del 32% actual (2002) a un interval entre el 13 i el 20%. Això correspon a una producció elèctrica, l'any 2030, d'entre 550 i 800 TWh, quan l'any 2002 va ser de 961 TWh. Aquestes previsions de descens de la generació nuclear podrien revertir-se en cas d'una aplicació efectiva i a llarg termini del protocol de Kioto, que repercutís molt negativament sobre les energies d'origen fòssil.

La fusió nuclear

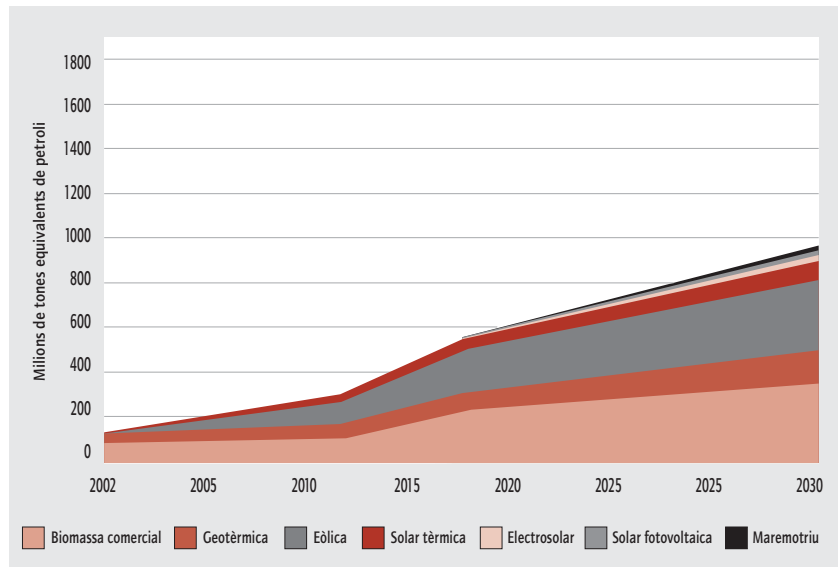
El futur de la fusió nuclear és encara incert. Les previsions més optimistes preveuen que entre 2045 i 2050 es podria iniciar la construcció del primer reactor de fusió nuclear comercial, que entraria en funcionament vers l'any 2055. En el camp de la R+D en fusió nuclear cal destacar la constitució del projecte ITER¹⁸, un programa de recerca internacional per estudiar la viabilitat científica i tecnològica de la fusió nuclear. Les dificultats per escollir la seva ubicació i per garantir-ne el finançament són una mostra més de la incertesa de la fusió nuclear.

¹⁸ Més informació a <http://www.iter.org/index.htm>.

L'energia obtinguda per via no reactiva

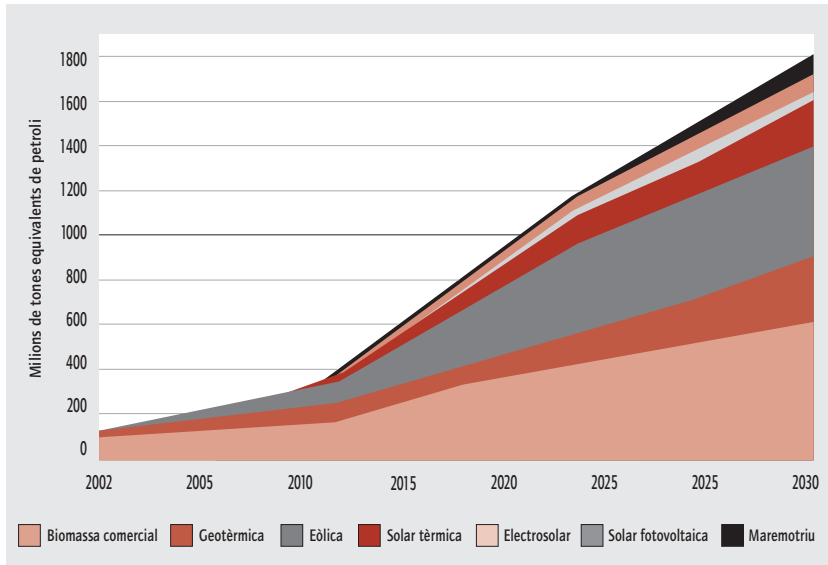
La captació d'energies més o menys lliures es presenta com una opció seductora i plena de bons auguris, lliure de contaminacions col·laterals. El seu grau de desenvolupament a gran escala dependrà dels avenços tecnològics de cada tipologia i dels seus límits físics i ambientals, però també del preu del petroli (i del gas natural, que actualment està indexat al preu del petroli). En efecte, un preu del petroli sostingut durant anys per sobre de 50-60 \$/bl afavorirà el desenvolupament d'aquestes tecnologies, mentre que un preu baix de 25-35 \$/bl no les ajudarà.

Figura 3.3. Distribució del consum d'energia primària provinent de fonts renovables (excloent la hidroelèctrica) a nivell mundial entre 2002 i 2030 en un escenari d'aportació mínima de les fonts renovables.



Font: estimació pròpia a partir de totes les dades consultades (vegeu bibliografia).

Figura 3.4. Distribució del consum d'energia primària provinent de fonts renovables (excloent la hidroelèctrica) a nivell mundial entre 2002 i 2030 en un escenari d'aportació màxima de les fonts renovables.



Font: estimació pròpia a partir de totes les dades consultades (vegeu bibliografia).

La captació eòlica

Les previsions apunten a un creixement sostingut d'aquesta tecnologia a nivell mundial, d'un 10-15% anual fins el 2020 i al voltant del 5% entre el 2020 i el 2030. Els parcs eòlics *off-shore*, ubicats mar endins, obren noves expectatives immediates a aquesta tecnologia. De fet, l'octubre de 2004 es va instal·lar el primer aerogenerador comercial de 4,5 MW de potència, mentre ja estan en construcció (2005) prototipus d'aerogeneradors de 5 MW.

L'R+D per afrontar els reptes de la tecnologia eòlica per a les properes dècades se centra en augmentar la potència dels aerogeneradors *off-shore* o marins fins a 10 MW (amb previsions d'aconseguir-ho en pocs anys), reduir el pes dels molins mitjançant nous materials més lleugers i resistents, i disminuir el pes del motor dels aerogeneradors a partir de motors elèctrics basats en superconductivitat. D'altra banda, també s'està investigant la possibilitat de destinar l'energia elèctrica produïda a la generació

d'hidrogen, bé en moments en què flueixja la demanda d'electricitat, bé en àrees ventoses molt allunyades dels centres de consum (cas de la Patagònia austral).

Les previsions de la UE estimen 66 GW eòlics instal·lats l'any 2010, i 220 GW l'any 2020, un terç dels quals *off-shore*. Tanmateix, la potència instal·lada l'any 2004 (40 GW, que han aportat de l'ordre de 60 TWh) fa pensar que aquestes xifres se superaran àmpliament. De fet, l'energia eòlica podria aportar entre el 8 i el 12% de la generació elèctrica europea l'any 2020 (entre 300 i 420 TWh) i un percentatge encara superior (entre el 10 i el 20%) l'any 2030 (entre 400 i 800 TWh). A nivell mundial, la seva generació elèctrica l'any 2030 estarà compresa en un rang encara incert d'entre 3.500 i 6.000 TWh (aproximadament, entre 300 i 500 Mtep).

La captació solar tèrmica

L'energia solar tèrmica disposa de bones expectatives arreu del món, tot i que la seva contribució al global del sistema energètic continuarà essent limitada. El seu ús pot passar del 2% dels habitatges dels països de l'OCDE el 2002, a un 14-20% dels habitatges el 2030, aportant fins a 150 Mtep a tot el món.

En aquests moments la recerca en el camp dels plafons solars se centra en el disseny de nous tipus més eficients (nous col·lectors de buit per a usos industrials, col·lectors cilíndrico-parabòlics, etc.) i en el recobriment de les superfícies del captador amb pintures absorbents basades en nanopartícules.

Les perspectives de futur de la generació elèctrica termosolar són incertes. D'una banda, existeixen bones expectatives recents, després de força anys sense projectes nous. Així, a Guadix (Andalusia) s'instal·larà la planta comercial més gran del món de sistema parabòlic, amb una potència instal·lada de 100 MW; està previst que es posi en servei l'any 2006. I a Austràlia s'està construint una central termosolar de 200 MW de generació elèctrica de torre solar (amb una torre de 1.000 m d'alçada), que aprofita la radiació solar per crear corrents d'aire ascendents a una xemeneia central on l'energia és recollida per turbogeneradors.

Tanmateix, el sector encara no ha arribat a la seva maduresa comercial i es preveu que encara trigui una vintena d'anys en arribar-hi, tot i que quan l'assoleixi pot tenir un desenvolupament tan o més ràpid que l'energia eòlica els darrers anys. Les previsions de generació elèctrica solar per a l'any 2030 estan compreses entre 30 i 200 TWh (entre 3 i 17 Mtep), uns valors encara excessivament limitats.

La captació solar fotovoltaica

Es preveuen ritmes de creixement de l'ordre del 30-40% anual en els propers anys per a la captació solar fotovoltaica, ateses les fortes subvencions i primes de què disposa. Tanmateix, aquestes previsions de creixement no són clares, ateses les dificultats actuals (2005) de proveïment internacional d'obles de silici que han provocat un recent creixement del preu dels plafons.

Per possibilitar una expansió real d'aquesta tecnologia, la recerca actual se centra en formats alternatius, com el silici nanocristallí o nous materials com films de polímer o el CIS (Coure, Indi i Sofre o Seleni), que són menys rígids que els col·lectors solars estàndard. En conseqüència, és probable que en els propers anys s'abandoni la idea de plafó i es passi a superfícies revestides de cèl·lules captadores d'energia solar, cosa que permetria usos més flexibles que els actuals i uns preus més competitius.

L'any 2001 l'energia fotovoltaica va generar 2,2 TWh d'energia (el 0,007% de l'electricitat mundial generada). Si no hi ha cap trencament tecnològic amb nous materials i sistemes de fabricació de plafons que possibilitin eficiències i preus més alts, la generació fotovoltaica difícilment podrà superar un rang d'entre els 200 i els 1.000 TWh (entre 17 i 85 Mtep) anuals en l'horitzó del 2030 a nivell mundial, xifra molt superior a l'actual però no significativa a nivell de consum macroescalar.

La transformació hidroelèctrica

El potencial de l'energia hidroelèctrica a nivell mundial és molt elevat, però actualment tan sols s'utilitza el 20% d'aquest potencial. Les previsions apunten a un creixement important en l'horitzó del 2030 a Àsia, Àfrica i Sudàmerica –un exemple n'és la central xinesa de les Tres Goles que, quan s'inauguri completament l'any 2009, esdevindrà la més gran del món, amb 18.200 MW. Mundialment, si avui dia les centrals hidroelèctriques generen 2.600 TWh, es preveu que el 2030 en generin entre 4.000 i 4.500 (aprox. entre 1.000 i 1.200 Mtep).

Tanmateix, a nivell europeu les dades no són tan optimistes: el 60% del seu potencial ja s'aprofita i la sensibilitat social en relació al seu impacte ambiental fa molt difícil incrementar significativament aquest percentatge. D'aquesta manera, la generació d'hidroelectricitat pot arribar fins a 380 TWh (envers els 302 TWh de 2002), cosa que representa que el seu percentatge en l'aportació elèctrica total baixaria fins el 9% (envers el 10% actual).

Catalunya és un exemple clar d'aquesta situació de saturació, atès que va ser pionera en la generació hidroelèctrica a principis del segle XX. Actualment disposa de 37 centrals convencionals i més de 400 minihidràuliques, amb una potència elèctrica instal·lada de 2.300 MW. El potencial de noves instal·lacions al nostre país es basa en centrals molt petites que no contribuiran de manera important a l'increment de la generació elèctrica. En un horitzó a llarg termini, i considerant que s'aprofités gairebé tot el potencial hidràulic del país, difícilment es podrien instal·lar més de 160 MW de potència elèctrica addicionals als actualment instal·lats.

La transformació mareomotriu i la captació geotèrmica

La transformació mareomotriu podria tenir una contribució significativa en determinats llocs del món amb mareas i/o ones fortes a partir dels anys 2020-2025. S'estima un desenvolupament incert d'entre 20 i 100 Mtep en l'horitzó 2030.

Per la seva banda, la captació geotèrmica per aprofitar calor i/o generar electricitat disposa de bons aprofitaments avui dia en diverses parts del món, com Islàndia, arribant a un desenvolupament total mundial de 45 Mtep anuals. Tanmateix, la seva extensió a escales relativament grans és limitada a certes parts del món que disposen de densitats significatives. Per contra, el potencial d'exploració per a aplicacions d'escala petita, com ara habitatges unifamiliars, pot créixer gràcies a la innovació. En conseqüència, s'estima un potencial incert d'entre 150 i 300 Mtep en l'horitzó 2030.

La distribució i els canvis de format

El sector energètic a nivell mundial, i especialment a nivell europeu, avança cap a una liberalització més o menys gran. Aquesta liberalització, conjuntament amb la identificació de noves necessitats i pràctiques al voltant de l'energia, permetrà l'entrada en joc de nous agents a nivell local, sectorial i transnacional. Els agents nous s'afegiran als tradicionals, que hauran de redefinir funcions i pràctiques.

Quant als formats energètics, es preveu un increment de la diversificació. Els combustibles del sector del transport no es derivaran només del petroli, sinó també del gas natural, del carbó i de la biomassa:

- *Els combustibles provinents del gas natural* seran:
 - El gas natural comprimit (GNC), que ja té un pes important en països com l'Argentina, Brasil, el Pakistan o l'Índia.
 - El líquid resultant del procés *Gas to liquid* (GTL)

- *El combustible provinent del carbó* serà fruit del procés Fischer-Tropsch, que converteix el carbó en un líquid (*Carbon to liquid*, CTL)
- *Els combustibles de la biomassa* seran biodiesels, bioetanols clàssics o nous bioetanols sintetitzats a partir de la cel·lulosa.

El factor limitant per a la generalització de nous combustibles per al transport no serà només la generació de nova tecnologia de motors de combustió interna dels vehicles, sinó sobretot la generalització de sistemes de distribució de nous combustibles, amb totes les dificultats logístico-tecnològiques que això comporta.

Quant als transportadors energètics o *carriers*, l'electricitat incrementarà significativament el seu ús en el consum final d'energia, tant en valors totals com relatius, tal com ha fet els darrers anys degut a la seva qualitat i plasticitat per a tot tipus d'ús. Aquesta tendència provocarà que el consum total d'electricitat es dobli en l'horitzó 2030, tot passant d'un 16% del consum d'energia final el 2002 a un 20% el 2030.

L'hidrogen, un altre *carrier* potencial, tindrà un creixement limitat si no hi ha un trencament tecnològic imprevist. Aquesta limitació és deguda a la baixa eficiència del seu procés global i a les dificultats tecnològiques del desenvolupament a gran escala de cèl·lules de combustible per a vehicles en moviment. En qualsevol cas, en l'horitzó 2030 l'hidrogen podria ésser generat amb major o menor eficiència des de fonts renovables, des de nuclears de quarta generació o per reformació d'hidrocarburs, tot i que no es poden descartar trencaments en el desenvolupament de tecnologies de generació d'hidrogen a partir d'altres fonts. Atesos els elevats recursos que es dediquen a la seva R+D, cal esperar avenços significatius en les cèl·lules de combustible.

D'altra banda, es desenvoluparan noves tecnologies d'emmagatzematge d'energia, impliquin o no canvi de format, i tant per a grans com per a petites instal·lacions generadores d'electricitat. Les principals línies d'investigació en aquest camp són: noves solucions químiques (com les bateries de Pb-àcid VRLA, *Valve-regulated Lead-acid*, pensades per a petites aplicacions de generació distribuïda); bateries de nanotecnologia, amb nanotubs de carboni, que tindran un cicle de vida doble que les bateries actuals; superconductors magnètics, que emmagatzemen l'energia en un camp magnètic creat pel flux de corrent elèctric en un espiral de material superconductor congelat; i

supercondensadors, que combinen propietats de les bateries i dels condensadors, i poden ser utilitzats per les pròpies instal·lacions energètiques per regular la sortida d'electricitat de les plantes generadores.

3.1.3. Les tendències de la demanda i del consum

L'augment tendencial del consum mundial final en el període 2000-2030 se situa en un 55-60%, tot arribant fins a un consum global d'energia final de l'ordre d'11.000 Mtep. El creixement anual mitjà es preveu de l'ordre de l'1,7%, més baix que el de la dècada passada (2%), però sostingut durant tot el període. Els increments més grans es donaran als sectors transport i serveis, seguits del sector residencial.

No es tracta d'un creixement uniforme. Els països en desenvolupament concentren dos terços del creixement total, de manera que el 2030 consumiran vora del 50% de l'energia mundial. Un creixement degut bàsicament al fet que aquests països encara no han arribat encara al nivell de desenvolupament òptim per disminuir significativament la intensitat energètica.

A Europa es produiran avenços significatius en l'eficiència dels diferents consums. Això, juntament amb una tendència a la terciarització dels sectors productius, comportarà importants disminucions de la intensitat energètica total. A nivell mundial, el consum energètic provocarà un creixement anual de les emissions de CO₂ superior al del període 1971-2002 (1,8% anual enfront un 1,7%), amb una distribució desigual per regions: als països desenvolupats el creixement disminuirà el seu ritme, però continuarà durant els propers 25 anys; a les economies emergents el creixement serà més pronunciat; i a les economies de transició el creixement serà molt poc significatiu.

La descarbonització del sistema social i econòmic es converteix en un tema clau que s'afegeix al de reducció del consum energètic. Les previsions europees apunten a una reducció de les intensitats de carboni de tots els sectors de consum (vegeu taula 3.3). La reducció més important es produeix als sectors industrial i de generació d'electricitat. Per contra, el sector transport, responsable de prop del 40% de les emissions, no aconsegueix reduir la seva intensitat de carboni més que en una dècima en el període 2000-2030.

A Espanya, les previsions apunten a una millora en la intensitat energètica en tots els sectors de consum. El sector energètic és el primer en reduir-la considerablement (període 2000 – 2010), la indústria experimenta baixades importants, mentre que en el sector residencial i el terciari les disminucions són més petites. El transport resta com un dels sectors amb més intensitat carbònica, amb un índex una dècima per sota del corresponent al 1990.

Taula 3.3. Prospectiva comparativa d'emissions de CO₂ per sectors a nivell internacional.

Emissions de CO ₂ (MtCO ₂)		1 990	2 000	2 010	2 020	2 030
Espanya	Emissions totals	203,8	283,3	302,6	335,7	357,3
	Índex d'emissions	100,0	139,0	148,5	132,7	138,3
UE-15	Emissions totals	3.082,1	3.117,5	3.204,9	3.444,0	3.668,6
	Índex d'emissions	100,0	101,2	104,0	111,7	119,0
UE-25	Emissions totals	3.804,5	3.671,1	3.763,1	4.057,0	4.324,2
	Índex d'emissions	100,0	96,5	98,9	106,6	113,7
Món	Emissions totals	21.365,0	23.072,0	27.692,0	33.792,0	38.214,0
	Índex d'emissions	100,0	108,0	129,6	158,2	178,9

Font: CE (2003) *European Energy and Transport Trends*

El sector industrial

El sector industrial passarà de consumir a nivell mundial el 31% del consum final i 2.236 Mtep (2002) a consumir el 30% i 3.300 Mtep (2030), cosa que suposarà un increment en dimensió total del 45-50%. A nivell de la UE, el consum del sector industrial creixerà un 25%, de 310 Mtep l'any 2000 fins a 385 Mtep el 2030 (vegeu taula 3.4). Tanmateix, el seu pes en el conjunt del consum final disminuirà un punt, del 29% al 28%. Aquesta disminució és degut a una baixada significativa de la intensitat energètica del sector industrial, que es preveu del 35% en l'horitzó 2030. Les indústries químiques, de minerals no metàl·lics i la indústria del paper aportaran les baixades més importants, degut a canvis estructurals cap a productes menys intensius energèticament.

Taula 3.4. Previsions de consum, percentatge sobre el consum final total i intensitat energètica del sector industrial. No s'han considerat els usos no energètics a l'hora de valorar el consum final total.

Consum final del sector industrial (Mtep)				
	2000	2010	2020	2030
Espanya	25,0	29,8	35,0	39,0
UE-15	268,7	299,4	325,3	344,6
UE-25	310,2	338,1	364,8	385,5
Món	2.102,0	2.578,0	2.999,0	3.374,0

% sector industrial sobre consum final				
	2000	2010	2020	2030
Espanya	32%	30%	30%	31%
UE-15	28%	28%	28%	28%
UE-25	29%	28%	28%	28%
Món	33%	31%	31%	30%

Font: CE (2003) *European Energy and Transport Trends*.

Intensitat energètica del sector industrial (sobre la renda privada)				
	2000	2010	2020	2030
Espanya	106,1	92,9	82,1	71,5
UE-15	89,6	78,9	67,8	57,7
UE-25	82,7	70,6	59,8	50,8

El sector del transport

El consum energètic del sector del transport creixerà de 26% del consum final i 1.827 Mtep (2002) a 29% del consum i 2.800-3.300 Mtep (2030), cosa que representa un increment d'entre el 55 i el 80%. A la Unió Europea, el consum energètic del sector del transport està previst que creixi significativament, concretament un 35% entre 2000 i 2030, de 333 Mtep, un 29% del consum final, fins a 450 Mtep, un 32% del consum final (vegeu taula 3.5).

La intensitat energètica de la mobilitat de persones seguirà la tendència europea dels darrers anys i està previst que disminueixi un 27% en l'horitzó 2030. La millora en la intensitat es deurà a un increment general de l'eficiència dels motors de combustió interna a curt termini, a una penetració progressiva dels vehicles híbrids a mitjà termini i, en general, un gir cap a tecnologies més eficients en tots els mitjans de transport. Amb tot, els guanys en eficiència només compensaran els augments deguts a una més gran mobilitat de persones: en cotxe en detriment del ferrocarril als nous països membres, i engeneral en avió, sector que segueix experimentant un gran creixement durant tot el període.

Taula 3.5. Previsions de consum, percentatge sobre el consum final total i intensitat energètica del sector del transport. No s'han considerat els usos no energètics a l'hora de valorar el consum final total.

Consum final del sector del transport (Mtep)				
	2000	2010	2020	2030
Espanya	32,8	40,8	46,5	49,0
UE-15	309,1	357,2	389,4	406,7
UE-25	333,1	388,6	428,5	449,8
Món	1.775,0	2.230,0	2.755,0	3.273,0

% sector del transport sobre consum final				
	2000	2010	2020	2030
Espanya	42%	41%	40%	40%
UE-15	32%	33%	33%	33%
UE-25	31%	32%	33%	32%
Món	27%	27%	28%	30%

Intensitat energètica del sector del transport (sobre la renda privada)				
	2000	2010	2020	2030
Espanya	113,1	104,9	90,1	73,1
UE-15	99,5	90,5	78,5	66,1
UE-25	99,6	90,9	79,2	66,7

Font: CE (2003) *European Energy and Transport Trends*.

En efecte, en els propers anys probablement es produirà la comercialització a gran escala de vehicles híbrids. En relació a la disminució de les emissions dels motors convencionals, els fabricants de vehicles i la Comissió Europea han acordat limitar les emissions de CO₂ en vehicles nous a 140 g CO₂/km el 2008 i a 120 g CO₂/km a partir del 2012. Quant als vehicles híbrids, a finals de 2004 s'havien comercialitzat més de 500.000 cotxes híbrids arreu del món i es preveu un creixement exponencial de les seves vendes els propers anys. Aquests automòbils disposen de dos motors: un motor de combustió interna i un altre d'elèctric, alimentats per gasolina i per bateries respectivament. Els vehicles híbrids comercialitzats actualment a Catalunya emeten al voltant de 100 g CO₂/km, de manera que redueixen un 35-40% el consum respecte els cotxes de gasolina i un 15-20% respecte els diesel de cubicatges equivalents, reduint les emissions de CO₂ en unes proporcions similars. També s'espera una certa desacceleració del creixement a la dècada del 2020 per una menor necessitat de transport del sector serveis respecte la resta de sectors. Es tracta d'una baixada poc important (0,2% per any), cosa que limita el desacoblament entre PIB i volum del transport de mercaderies. Tanmateix, mentre que l'eficiència per passatger s'incrementarà significativament, la de mercaderies s'estabilitzarà (vegeu taula 3.6). Això serà degut principalment a un increment de la immediatesa de la demanda de mercaderies, cosa que farà incrementar significativament el seu transport mitjançant avió i camió, en detriment d'altres mitjans energèticament més eficients, com el ferrocarril.

Taula 3.6. Previsió d'eficiència i de demanda d'energia en el sector del transport

		Indicadors eficiència			Demanda d'Energia en sector transport %				
		Mob. passatgers tep/Mpkm	Mob. mercaderies tep/Mpkm	Total (Mtoe)	Públic ctra.	Privat ctra.	Camió	Ferrocarril	Avió
UE-25	1990	38,9	51,6	273,6	2,8	50,4	30,2	3,4	10,7
	2000	39,3	53,9	333,1	2,1	47,3	32,7	2,7	13,6
	2010	36,9	56,1	388,6	1,8	43,9	36,8	2,1	13,6
	2020	33,0	54,2	428,5	1,6	40,0	40,3	1,6	14,8
	2030	29,0	50,0	449,8	1,4	36,3	43,1	1,4	16,0
ESP	1990	34,7	91,6	22,3	1,3	34,7	43,1	2,4	11,1
	2000	33,0	95,5	32,8	1,1	31,6	46,9	2,6	13,7
	2010	31,8	96,7	40,8	0,9	28,0	49,0	1,8	16,2
	2020	28,7	92,8	46,5	0,7	23,3	52,9	1,0	17,9
	2030	24,5	84,5	49,0	0,6	19,6	57,7	0,9	16,9

Font: CE (2003) *European Energy and Transport Trends*.

Els sectors residencial, terciari i primari

El conjunt d'aquests sectors és responsable d'aproximadament una tercera part del consum total d'energia. La seva tendència és a incrementar aquesta proporció, fins al punt que a nivell mundial es doblarà el seu consum. A nivell de la UE l'increment no serà tan important. Aquest creixement a la UE es pot explicar per la creixent despesa en climatització al sector domèstic i terciari, mentre que al món el creixement de la població i l'increment de PIB a països emergents en serien els responsables (vegeu taula 3.7).

Taula 3.7. Previsions de consum i percentatge sobre el consum final total dels sectors residencial, terciari i primari. No s'han considerat els usos no energètics a l'hora de valorar el consum final total.

Consum final dels sectors residencial, terciari i primari (Mtep)					% sectors residencial, terciari i primari sobre consum final				
	2000	2010	2020	2030		2000	2010	2020	2030
Espanya	21,1	29,5	34,0	35,9	Espanya	27%	29%	29%	29%
UE-15	377,4	420,1	450,1	477,6	UE-15	40%	39%	39%	39%
UE-25	433,4	482,3	522,8	556,4	UE-25	40%	40%	40%	40%
Món	1.954,0	3.169,0	3.675,0	4.175,0	Món	34%	38%	38%	37%

Font: CE (2003) *European Energy and Transport Trends*; AIE (2004) *World Energy Outlook 2004*.

Quant al sector residencial, a la UE el seu consum energètic està previst que creixi més moderadament que els altres sectors, concretament un 21% entre 2000 i 2030, de 280 Mtep, un 26% del consum final, fins a 338 Mtep, un 24% del consum final (vegeu taula 3.8). Una tendència oposada a la prevista per al conjunt de l'estat, en què el percentatge sobre el consum final total s'incrementarà 2 punts percentuals. Quant a la intensitat energètica, es preveu una reducció molt significativa en el conjunt d'Europa, mentre que la reducció serà mitjana a nivell d'Espanya. Cosa que, tanmateix, suposarà una millora en relació a la tendència dels darrers anys a incrementar la intensitat energètica. La tendència de creixement a nivell europeu és justificada per la generalització de les aplicacions de l'electricitat i per un canvi en els estils de vida de la població (menys persones per habitatge).

Per contrarestar la tendència al creixement del sector residencial es preveu un avenç de les mesures legislatives per estabilitzar el consum als edificis. La Directiva 2002/91/CE constitueix només un primer pas en aquesta direcció. Així mateix, en l'àmbit domèstic i dels serveis de les noves construccions de països freds augmentaran significativament els sistemes de cogeneració locals amb calefacció de districte, que aconseguen eficiències globals gairebé dobles que els sistemes convencionals. Altres mesures per contrarestar el creixement del sector serà la generalització dels sistemes d'etiquetatge energètic, aplicats a tot tipus d'electrodomèstics i d'edificis sencers. Aquests sistemes permetran avenços significatius en l'eficiència d'electrodomèstics i d'edificis. Per exemple, es preveu a curt o mitjà terminis una baixada sensible dels preus dels electrodomèstics més eficients (A+).

Taula 3.8. Previsions de consum, percentatge sobre el consum final total i intensitat energètica del sector residencial. No s'han considerat els usos no energètics a l'hora de valorar el consum final total.

Consum final del sector residencial (Mtep)					% sector residencial sobre consum final				
	2000	2010	2020	2030		2000	2010	2020	2030
Espanya	11,9	16,6	19,6	20,5	Espanya	15%	17%	17%	17%
UE-15	244,7	270,9	284,4	291,0	UE-15	26%	25%	24%	24%
UE-25	279,1	308,6	328,9	338,6	UE-25	26%	26%	25%	24%

Intensitat energètica del sector residencial (sobre la renda privada) (1990 = 100)				
	2000	2010	2020	2030
Espanya	101,1	107,3	97,5	79,9
UE-15	88,2	77,3	65,2	54,6
UE-25	86,1	74,7	63,2	52,9

Font: CE (2003)
European Energy and Transport Trends.

Quant al sector terciari, a la Unió el seu consum energètic està previst que creixi intensament, concretament un 41% entre 2000 i 2030, de 154 Mtep, un 14% del consum final, fins a 218 Mtep, un 16% del consum final (vegeu taula 3.9). La intensitat energètica disminuirà significativament (un 31%) al conjunt d'Europa, mentre que s'estabilitzarà a nivell estatal.

El descens de la intensitat energètica a nivell europeu es deurà sobretot a canvis en la composició final dins el sector cap a segments de més valor afegit. Les millores en la gestió energètica (incloent-hi una composició final en l'ús de combustibles/electricitat més eficient, utilitzant els primers principalment com a font d'energia tèrmica i els segons per al funcionament d'aparells) i un augment en la productivitat del sector també contribuiran a la baixada en la intensitat energètica general del sector.

Aquestes millores no seran suficients per fer baixar la intensitat energètica a nivell espanyol, degut als increments dels estàndards de confort i a una generalització encara més gran de l'aire condicionat. Tanmateix, al final del període (dècada 2020-2030) sí que s'espera una reducció de la intensitat energètica, que compensarà l'increment de la intensitat energètica fins aleshores.

Taula 3.9. Previsions de consum, percentatge sobre el consum final total i intensitat energètica dels sectors terciari i primari. No s'han considerat els usos no energètics a l'hora de valorar el consum final total.

Consum final del sector terciari i primari (Mtep)				
	2000	2010	2020	2030
Espanya	9,3	12,9	14,4	15,4
UE-15	132,7	149,2	165,7	186,6
UE-25	154,3	173,7	193,9	217,8

% sectors terc. i prim. sobre consum final				
	2000	2010	2020	2030
Espanya	12%	13%	12%	12%
UE-15	14%	14%	14%	15%
UE-25	14%	14%	15%	16%

Font: CE (2003) *European Energy and Transport Trends*.

Intensitat energètica sectors primari i terciari (sobre la renda privada) (1990 = 100)				
	2000	2010	2020	2030
Espanya	143,1	148,2	123,9	101,4
UE-15	90,9	78,4	68,5	61,7
UE-25	84,1	72,2	63	56,3

Quant al sector primari, es preveu un descens de la seva intensitat energètica del 9% en el període 2002-2030. Aquest petit descens es basarà en un ús més eficient dels recursos i un increment en l'agricultura ecològica, que comporta menys despesa energètica per unitat de producte.

3.2

Les previsions en cas de crisi energètica

Les projeccions tendencials analitzades en l'apartat anterior es basen en la continuïtat més o menys lineal de les tendències històriques. Quasi mai passa així. No és gens descartable, per tant, un escenari futur sensiblement apartat de les tendències dels darrers trenta anys. Entre aquests possibles escenaris no tendencials, el més rellevant i el menys inesperable es relacionaria amb una situació de crisi energètica, especialment lligada als combustibles fòssils.

3.2.1 Les causes d'una possible crisi energètica

S'entén per crisi energètica un greu dèficit o un gran increment de preus en l'abastament d'energia a una economia. La seguretat energètica (vegeu 3.3.3), és a dir, la possibilitat de mantenir unes estratègies energètiques fixades front a la possibilitat de falles de subministrament, és un dels factors estratègics clau del sistema energètic. El declivi de l'abastament de materials energètics fòssils dibuixa, en un horitzó incert, un escenari futur de crisi energètica.

La possibilitat d'una crisi energètica no és una especulació catastrofista. L'evolució tendencial més aviat indueix a témer-la com a molt plausible. En efecte, el sistema energètic mundial està sotmès a tensions creixents que, de forma sobtada, poden acabar sobrepassant els seus llindars de tolerància. Tal com passa amb els fenòmens de canvi d'estat (glaç a aigua líquida, aigua líquida a vapor, per exemple), la crisi sobrevindria per mor d'un increment potser no especialment important, però incident sobre un sistema ja sobreincrementat. En efecte, de -9 a -8°C o de 56 a 57°C , posem per cas, s'augmenta un grau sense que passi aparentment res, cosa que fa pensar enganyosament en una tolerància del sis-

tema per anar augmentant la temperatura de grau en grau de manera indefinida. En realitat sí que passa alguna cosa amb cada un d'aquests petits increments: el sistema no para d'anar-se escalfant. Per això, en arribar a 0°C o a 100°C un sol grau addicional provoca la crisi del canvi d'estat.

Diverses causes poden induir una crisi d'aquest tipus, retroalimentables entre elles:

- L'esgotament global de determinades matèries primeres energètiques.
- El creixement sobtat de la demanda per part de països en desenvolupament.
- Les dificultats de subministrament des d'àrees del món políticament inestables.
- La dependència d'una sola tecnologia.
- El nombre limitat de línies de subministrament.
- El poder de mercat dels països exportadors i el seu ús polític.
- El poder de mercat de les empreses distribuïdores d'energia.
- El risc de falles al mercat per colls d'ampolla, errors de regulació o manca d'inversions.

Els supòsits de crisi afecten, lògicament, les fonts no renovables d'energia. La crisi de petroli seria la més versemblant, per la seva doble condició de font energètica fòssil més consumida mundialment i, alhora, amb menys reserves. Per bé que la causa més probable de crisi té a veure amb el seu esgotament, i amb els preus associats a la seva escassetat, no se'n poden descartar altres. Per exemple, la manca d'inversions recents als països extractors de petroli augmenta els riscos de falles al mercat per colls d'ampolla, en aquest cas la incapacitat d'augmentar la capacitat d'extracció (mal anomenada de 'producció').

La diversificació dels canals d'abastament i les tecnologies de transformació són també un aspecte a destacar en relació a la seguretat. Totes aquelles polítiques que necessiten per a la seva implementació de grans infraestructures i instal·lacions específiques fan necessària una planificació a mitjà i llarg terminis, no podent-se improvisar un canvi sobtat en les polítiques d'abastament i transformació.

L'origen de la crisi en delimitarà les conseqüències i efectes a curt, mitjà i llarg terminis. Les inestabilitats polítiques, accidents o falles en la cadena d'explotació (incloent falles de mercat) conduiran a crisis puntuals, que poden ser més o menys llargues i

severes. Els efectes en aquests casos seran limitats, tot i que poden tenir un reflex important en la marxa de l'economia en conduir a un augment de preus generalitzat.

Però, tret d'esdeveniments imprevistos que poden comportar crisis puntuals, l'evolució més probable és un augment progressiu de preus a mesura que s'apropa el *peak oil* o zenit de producció del petroli. En aquest cas, allò que determinarà la incidència de la crisi és la velocitat de variació de preus i els nivells assolits abans del *peak oil*. Després d'aquest moment el comportament del mercat pot entrar en dinàmiques caòtiques, tot i que també molt dependents de la manera en què s'ha arribat a aquest punt.

3.2.2. Les diferents crisis energètiques plausibles

Es conceben dues possibles causes diferents de crisi energètica: una crisi d'abastament de matèries primeres energètiques i una crisi de preus. Un escenari de crisi pot ser degut bàsicament a una d'aquestes dues causes o, més probablement, a una combinació de totes dues.

Una crisi d'abastament

Ningú no dubta que el petroli acabarà globalment el seu cicle com a font d'energia al llarg del segle XXI. I que, si no ocorren canvis sobtats, també pot acabar-hi el gas natural com a tal. Això és perquè les previsions de disponibilitat de les reserves dels combustibles fòssils en funció del seu consum actual (vegeu taula 3.10) són limitades: entre 35 i 45 anys per al petroli, entre 60 i 70 per al gas natural i entre 200 i 230 per al carbó.

Tanmateix, la magnitud exacta de les reserves existents és una qüestió d'una gran opacitat, atès el propi funcionament del mercat: el 85% de les reserves conegudes estan en mans de companyies estatals, amb capacitat per declarar reserves en funció de factors polítics i econòmics, més que no pas en funció de constatacions reals. No es pot descartar, per exemple, que la disminució en les reserves avançades per alguna companyia petrolera en els darrers mesos respongui més a estratègies de mercat per provocar un increment dels preus que no pas a la veritable disminució de les reserves.

La previsió d'una crisi estrictament d'abastament en l'horitzó 2030 és baixa. Les reserves de petroli són encara importants i si

realment el seu consum es disparés a un nivell que en fes acabar les existències, els altres combustibles fòssils podrien reemplaçar les seves funcions amb més o menys flexibilitat en un període mitjà. D'altra banda, en aquest cas de ben segur que es farien inversions importants per obtenir altres combustibles fòssils més enllà dels convencionals, com ara sorres i pissarres bituminoses, petroli pesant o els hidrats de gas de les fosses oceàniques.

No es poden descartar, tampoc, crisis d'abastament temporals relacionades amb capacitats de refinament limitades que dificultin la posada al mercat dels productes petrolers comercials més usats, com la gasolina o el gasoil.

Taula 3.10. Reserves mundials i disponibilitat de les reserves dels combustibles fòssils i d'urani.

	Reserves mundials	Disponibilitat de les reserves ¹
Petroli		
World Oil	1.051.000 milions barrils	36 anys
O&G ²	1.266.000 milions barrils	44 anys
Gas	180 tcm (2004)	66 anys
Carbó	907,264 Mt (2002)	210 anys
Urani	3.300.000 t (2001)	50 anys

¹ Reserves / obtenció, mantenint el ritme actual d'extracció (2003)

² The Oil and Gas Journal Font: World Energy Outlook (2004)

moments en què el barril de petroli Brent es cotitza prop dels preus més alts¹⁹ de la seva història²⁰. El món contemporani ja ha viscut dues crisis de preus de l'energia importants: la de 1973, deguda a un embargament dels països de l'OPEP per protestar contra el suport dels països occidentals a l'estat d'Israel, i la de 1979, causada per la revolució iraniana de Khomeini i els seus efectes sobre l'exportació del petroli.

¹⁹ Quan arribà a cotitzacions de 57 \$/bl per l'abril de 2005 al mercat de Londres, Adnan Shihab-Elidin, Secretari General de l'OPEP, apuntà la possibilitat que es cotitzi a 80 \$/barril abans d'acabar l'any 2007. Altres analistes pronostiquen preus superiors als 100 \$/bl a partir de 2010.

²⁰ Els 57 \$/bl de l'abril de 2005 representen valors màxims a preus corrents, però no a preus constants (descomptant l'efecte de la inflació). En efecte, a preus constants el valor del petroli de principis dels anys 80 equivaldria a prop de 65 \$/bl actuals.

Una crisi de preus

El cas d'una crisi de preus és una variant de crisi energètica en què el factor més limitant no és el proveïment de matèries primeres, sinó el seu elevat preu. Les tres variables que afectaran la incidència i evolució d'una crisi de preus són la velocitat de variació dels preus, els combustibles afectats i la proximitat del zenit d'extracció.

Una crisi de preus de l'energia és un escenari molt més plausible en un horitzó curt o mitjà que una crisi d'abastament, i més en

La crisi de preus més probable en primera instància estaria relacionada amb el petroli, concretament amb el seu zenit de producció o *peak oil*. El *zenit d'extracció*, com s'ha esmentat, és el moment en què la demanda de petroli superi la capacitat d'extracció, d'acord amb les previsions de la corba de Hubbert. El zenit de producció provocarà l'entrada en una nova etapa dels preus del petroli. Algunes fonts situen el *peak oil* entre el 2010 (*Association for the Study of Peak Oil & Gas*) i el 2016 (*Douglas-Westwood*); altres el situen més enllà del 2030.

El *peak oil*, quan s'hi arribi, tindrà característiques ben diferents als països de l'OPEP i als que no ho són. En aquests darrers, un preu internacional del cru elevat pot fer viable explotacions menors i noves exploracions. Molts dels jaciments fora de la zona OPEP fa temps que superaren el zenit de producció i estan extraient quantitats cada vegada més petites. A més, les noves explotacions de jaciments madurs corren a càrrec de petites companyies que poden assumir el risc de produccions incertes a mitjà termini, i una qualitat decreixent del cru extret.

La velocitat de variació de preus s'ha de relacionar amb la capacitat d'adaptació. Si la primera és prou baixa perquè el sistema productiu i social s'adapti esglaonadament a una situació propera a l'absència de combustibles fòssils, els efectes seran menors, per bé que els trasbals pot ser gran i repercutir especialment en l'economia local i mundial. Una velocitat de canvi que superi la capacitat d'adaptació tindria efectes semblants als de la crisi d'abastament.

En aquest sentit, una crisi de preus de l'energia té un límit màxim relacionat amb la reducció de la demanda que l'increment del preu provoca, però també amb la viabilitat d'altres aprofitaments energètics de materials fòssils, renovables o nuclears a partir d'un preu elevat del petroli i/o d'un altre hidrocarbur. És a dir, un preu elevat sostingut al llarg del temps provocaria inversions molt elevades en fonts alternatives, les quals farien abaixar el preu global de l'energia. És per aquest motiu que no és probable que a curt o mitjà termini el preu del petroli superi el rang de 70-80\$.

L'evolució del preu del gas natural i el petroli dependrà en bona mesura de la coincidència entre les previsions de reserves i les reserves reals. Si els recursos estan per sota dels esperats el 2030 es podria arribar a preus al voltant dels 50 €/bl, o més, de manera continuada. Això provocarà un decrement de la demanda estimat en el 3% mundial, amb una baixada del 6% en la demanda de petroli i un 13% la del gas natural.

Uns recursos per sobre les previsions portarien a una caiguda sostinguda del preu del gas fins a nivells de 28 €/bl a Europa i 16,20 €/bl al mercat americà, el 2030. El preu del petroli, en canvi, només decreixerà lleugerament. La demanda energètica mundial es veuria afectada, amb un creixement de l'1,5% per sobre la tendència, però amb un mix final de combustibles on el gas patiria el més gran creixement (21%), davant la baixada de la resta de combustibles: carbó (-9%) i petroli (-3%).

Una crisi de preus pot afectar de manera independent el petroli o al gas natural, com ha passat als EUA en els darrers mesos. Tanmateix, és més probable que afecti primordialment el petroli, i indirectament el gas natural, a causa de la seva indexació de preus. Tot i així, no es pot predir si la indexació dels preus d'aquests dos combustibles es mantindria en cas de pujada reiterada del primer. El diferencial de preu entre el gas natural i el petroli seria un element també important, ja que afecta el marge de maniobra. Igualment caldria considerar quins petrolis es veurien afectats per la pujada, si tots o només els de més qualitat, provinents dels països productors de l'OPEP.

3.2.3. Les conseqüències socioeconòmiques d'una crisi energètica

Una crisi energètica té conseqüències directes i a curt termini sobre les economies locals. Per posar només un exemple: la pujada del 60% del preu de petroli entre agost de 2003 i agost de 2004 ha suposat a l'economia espanyola 5.300 M€ per l'encariment del preu del cru. Una crisi de preus de l'energia tindria efectes econòmics molt més grans sobre l'economia catalana, ja que d'una crisi energètica els països amb accés a recursos fòssils surten reforçats econòmicament i els països sense accés (i sense possibilitat de diversificació) en surten debilitats.

Si la crisi energètica persistís per un període mitjanament llarg, les conseqüències socioeconòmiques podrien ser molt importants. Tots els sectors econòmics en resultarien afectats en major o menor mesura, atesa la gran dependència del sector transport –un sector transversal que repercuteix en tots els altres– als combustibles fòssils convencionals. Els sectors d'elevada intensitat energètica també es veurien afectats per la utilització d'aquests combustibles en el seu procés productiu.

Tanmateix, la composició dels sectors productius repercuteix notablement en la severitat de la crisi. A Catalunya, el sistema productiu actual té una composició que el fa extremament susceptible a una crisi energètica, atesa la seva dependència de sectors intensius en energia i del sector transport com a eix central d'activitat (logística, turisme, serveis...). En conseqüència, una crisi energètica podria provocar quantitats importants de persones en atur, amb el risc de trencament social.

Si la crisi es perllongués per molt temps, les conseqüències canviarien d'escala i donarien lloc a canvis de gran magnitud i també de més difícil predicció, canvis que podrien conduir a una reorganització social i productiva entorn de les noves condicions.

3.2.4. Les conseqüències ambientals d'una crisi energètica

Una crisi energètica també comportaria, segurament, impactes ambientals severs sobre el medi. L'encariment del petroli convencional provocaria la utilització de petrolis alternatius de menys qualitat (petroli d'elevat contingut de sofre, petroli pesant de Veneçuela...) i d'altres combustibles fòssils (principalment gas natural i carbó, però eventualment també sorres i pissarres bituminoses, hidrats de gas, etc.). Excepte el gas natural, la utilització de qualsevol d'aquests combustibles comportaria un empitjorament dels paràmetres ambientals relacionats amb la seva transformació energètica. Els paràmetres fixats per la UE en aquest sentit són molt exigents: només petrolis d'elevada qualitat (baix contingut en sofre, etc.) permeten complir els estrictes límits d'emissions atmosfèriques permesos per la normativa europea. Per fer servir petrolis no convencionals la UE hauria de canviar la seva legislació relativa a l'atmosfera per permetre emissions més grans que les actuals, un escenari gens positiu.

3.2.5. La reconfiguració del sistema energètic

Dels països de l'OPEP depèn quasi un 40% de l'abastament mundial de petroli. Disposen, a més, del petroli de més qualitat. La pujada de la demanda se centrarà majoritàriament en aquests països, de forma que a mitjan dècada del 2020 la seva participació pot superar el 50% de la producció mundial. D'aquesta manera, és molt més previsible a curt i mitjà terminis el zenit del petroli en els jaciments dels països de fora de l'OPEP que en els jaciments dels països de l'OPEP.

En qualsevol cas, una crisi energètica tindria repercussions importants sobre el sector energètic. Entre d'altres, s'estimen les següents:

- *Reserva del petroli per a usos no energètics.* Les indústries química i farmacèutica farien mans i mànigues per assegurar-se el recurs per a usos de més valor afegit que la seva simple combustió.
- *Cerca d'alternatives.* Els preus més elevats farien viables alternatives energètiques que ara no ho són, tant en el camp de les energies renovables com en el camp de les energies convencionals. S'intensificaria la R+D i la transferència de tecnologia en aspectes com noves conversions (GNC i carbó per al sector transport, etc.) i nous aprofitaments a partir d'hidrocarburs no convencionals.
- *Inversions importants* en la cerca de nous jaciments de petroli i nous combustibles fòssils: hidrats de gas dels oceans, pissarres bituminoses, etc.

3.2.6. Les estratègies de prevenció

La millor manera d'evitar les conseqüències d'una crisi energètica és prevenir-la. La capacitat de resposta front a una eventual crisi dependrà en bona mesura de les previsions d'actuació elaborades prèviament a la crisi.

Per fer front a una crisi de poca durada, les estratègies de prevenció se centren en l'assegurament de disponibilitat de reserves estratègiques, a més de l'existència de plans d'emergència per si calen. Tanmateix, l'element clau és la diversificació de matèries primeres energètiques, que inclou també un elevat percentatge d'electricitat no provinent de fonts fòssils. La promoció de les energies renovables és essencial pel seu valor d'oportunitat davant

d'una possible crisi, però no són les úniques: per la seva dimensió i complementarietat amb les anteriors, també la generació d'electricitat a partir de reaccions nuclears disposa d'un valor d'oportunitat important front a una possible crisi.

Per fer front a crisis d'una dimensió més gran, calen mesures estructurals més importants. Considerant que els períodes de transició tecnològica i social poden tenir una durada de 15 o 20 anys, qualsevol actuació en el cas de crisi energètica ha d'haver començat en el període de normalitat en l'abastament. Les actuacions prioritàries per fer front a crisis estructurals s'han de centrar en la composició del sistema productiu (especialment en aquells sectors intensius d'energia) i en les infraestructures de transport col·lectiu.

El grau d'impostos sobre el consum dels combustibles fòssils també modula la magnitud de la crisi, atès que un nivell elevat de càrrega fiscal redueix la repercussió directa dels preus sobre els usuaris. Una pujada progressiva de preus a través dels impostos també és una estratègia de prevenció dels efectes d'una crisi energètica, ja que en ser una pujada progressiva alenteix el ritme de creixement de la demanda i permet a les economies adaptar-se gradualment a la futura escassetat del petroli.

En aquest cas d'una eventual persistència d'una crisi energètica a mitjà termini, les estratègies de prevenció se centrarien en aspectes també estructurals, com la capacitat d'innovació –entesa com la possibilitat de resoldre els problemes que es presentin mitjançant tecnologia i processos nous– i la capacitat tecnològica del país –en la mesura que la tecnologia és incorporada a les noves solucions. La capacitat tecnològica no es limita a la recerca més avançada, sinó que ha de ser entesa com la socialització i educació tecnològica als diferents nivells productius i socials.

Dues estratègies més que en bona mesura poden prevenir la incidència de la crisi són l'adaptació de la xarxa elèctrica a una possible multiplicació de petits generadors i el desenvolupament de la xarxa de transport col·lectiu, especialment el ferrocarril, per a mercaderies i passatgers.

La capacitat d'adaptació parteix de nou de la capacitat d'innovar socialment i tecnològicament, però afegint-hi moltes altres variables, com són la cohesió social, el model de consum, el nivell de connexió internacional, les característiques locals, etcètera. L'educació per al canvi i un nou model de coneixement associat a l'energia són també variables importants per prevenir problemes en aquest escenari.

3.3

L'opció sostenibilista

Tant els escenaris tendencials, com el supòsit d'una crisi energètica, dibuixen un panorama complex i no gaire còmode en l'horitzó 2030 (o abans). Complex i supeditat a criteris no necessàriament autoeconòmics. En efecte, més enllà de la fredor de les xifres, hi ha el capteniment de les persones. Les pujades de preu, els riscos ambientals, etc. se salden sempre amb algú que pateix. En una projecció com la present, això no es pot obviar. La possible sortida que compatibilitzi el manteniment de l'activitat productiva amb uns determinats nivells de benestar personal generalitzable –l'única globalització que de debò pot interessar a la totalitat de la població– és l'opció sostenibilista, és a dir la gradual internalització de tots els costos de les actuacions, a fi que les externalitats negatives no gravitin sobre els sectors més febles. És l'opció més equitativa i, segurament per això mateix, l'única que propendeix a incrementar la governabilitat global.

3.3.1 Les disfuncions sistèmiques actuals

El model actual, com es desprèn de les consideracions anteriors, instaura disfuncions considerables. Són disfuncions que, com s'ha vist, poden venir donades pel desenvolupament tendencial del sistema energètic actual o per una situació de crisi energètica que trenqués totes les tendències.

Les disfuncions socioeconòmiques

La progressiva penetració dels combustibles fòssils, i especialment la del petroli, massiva a partir de mitjans del segle XX, ha provocat una tendència a l'allunyament entre necessitats i recursos locals. Tant és així, que el mateix concepte de 'recurs' –allò a què un hom pot recórrer– s'ha anat eliminant de l'equació, de manera que el discurs energètic se centra exclusivament en les necessitats.

Els problemes d'allunyament de la realitat local queden resolts per la via quantitativa: cal sempre més energia. A mida que la tendència evoluciona, el problema local esdevé també un problema d'escala global. Sovint, l'escala de les necessitats energètiques locals ultrapassa amb escreix l'escala dels recursos propis, però en molts casos també comença a desbordar la dels raonablement allunyats. El resultat és un sistema energívor, les necessitats del qual es resolen sempre incrementant l'oferta. Aquest marc de gran desconexió entre realitat local i context permet fer de tot a tot arreu sense que ningú se n'estranyi.

D'altra banda, l'estructura del sistema energètic fortament centralitzat i allunyat dels centres consumidors afavoreix un model de coneixement al voltant de l'energia pobre i inconsistent. Segons aquest model elemental, l'important és que la llum s'encengui sempre en prémer l'interruptor, sense importar el que hi pugui haver al darrere. I quan no es fa la llum, el model propicia la queixa d'una ciutadania de clients que s'adreça al poder públic com si fos el seu simple proveïdor. L'energia és vista com una cosa prèvia, i no s'estimula cap debat al voltant de l'obtenció, la transformació o, encara menys, sobre el consum, el factor clau per moderar realment la despesa energètica a mitjà i llarg termini. De fet, una moderació en el consum s'interpreta com un mal indicador econòmic...

És en el pla de la mobilitat on es donen les disfuncions més evidents. El sistema de transport de mercaderies i persones acumula ineficiències tecnològiques, però especialment de model (productiu, social i cultural), sense que això suposi un problema aparent. La solució és més energia barata i accessible. Per això, qualsevol guany en eficiència que no s'acompanyi d'un canvi de model de consum pot tenir efectes fins i tot contradictoris: més eficiència en els motors d'automoció pot dur a què cada cotxe faci encara més quilòmetres, amb els problemes que aquest augment comporta. Però també és una externalitat indesitjada del model energètic actual l'evolució de la situació geopolítica mundial. El domini de les fonts energètiques fòssils romanents ha esdevingut un important factor de confrontació en el panorama de la seguretat mundial. L'acaparament d'aquestes fonts per uns pocs països i el desigual repartiment de la riquesa generada afegeix elements de tensió local i mundial.

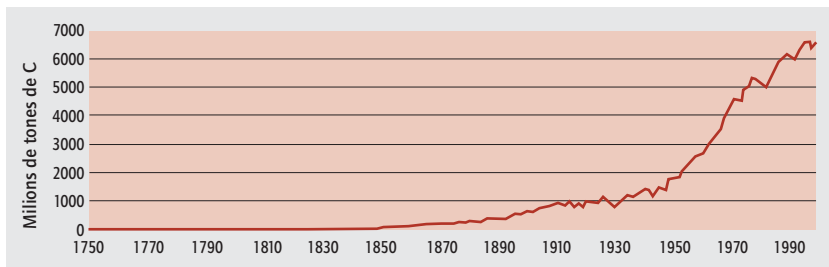
Totes aquestes disfuncions no serien greus si, una vegada constataades, es poguessin modificar fàcilment. La gravetat de les disfuncions actuals, però, resideix en la seva incrustació al cor mateix del sistema socioeconòmic vigent. No és que consumim molta energia, és que en som absolutament dependents. La inèrcia del sistema és

tan gran que fins i tot els models que proposen un canvi sever només preveuen una disminució de la dependència dels combustibles fòssils de l'ordre de 10-15 punts percentuals en 25 anys (vegeu figura 3.2).

Les disfuncions ambientals

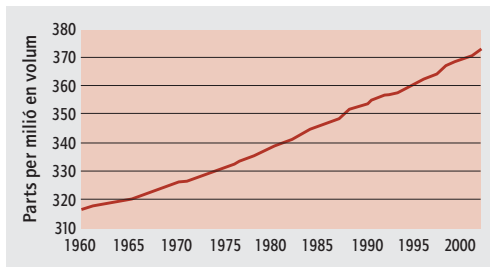
De la suma de totes aquestes desfermades demandes energètiques locals en resulta l'exceptional consum mundial actual. Un consum que produeix una sèrie d'externalitats, l'escala i dimensió de les quals és global. La més important és sens dubte la concentració creixent de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH), amb els consegüents trastorns sobre el règim atmosfèric i el clima. Les emissions actuals ja superen els 7.000 milions de tones anuals de carboni, un 70-75% de les quals provenen de l'ús a gran escala dels recursos energètics d'origen fòssil (vegeu les dades de Catalunya a la figura 3.7). Unes emissions amb una tendència creixent molt important: malgrat els

Figura 3.5. Evolució de les emissions de carboni a l'atmosfera.



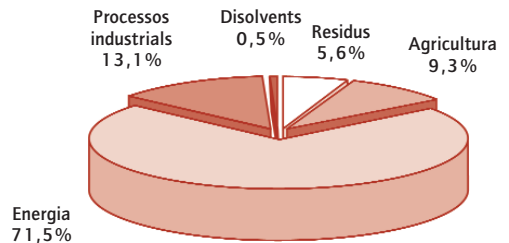
Font: CDIAC (Carbon Dioxide information Analysis Center) [www.cdiac.esd.ornl.gov/] Worldwatch Institute (2001). L'Estat del món 2001. Barcelona, Centre Unesco de Catalunya.

Figura 3.6. Evolució de la concentració de CO₂ a l'atmosfera.



Font: Worldwatch Institute (2001). L'Estat del món 2001. Barcelona, Centre Unesco de Catalunya.

Figura 3.7. Origen de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya (2001).



Font: Informe sobre l'inventari de gasos amb efecte d'hivernacle a l'Estat espanyol. Ministeri de Medi Ambient.

esforços ja iniciats (vegeu els comentaris a propòsit del protocol de Kioto, a 3.4.2), es preveu que seran un 60% superiors a les actuals en un horitzó tendencial del 2030 (vegeu taula 3.3).

Hi ha un ampli consens científic sobre l'origen antròpic de l'escalfament planetari en el darrer mig segle. Els diferents escenaris elaborats per l'IPCC (Panel Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic) preveuen una concentració de CO₂ creixent a l'atmosfera almenys fins a final del segle XXI, cosa que comportarà un augment de temperatura d'entre 1,4 i 5,8°C. Les precipitacions augmentaran, tot i que amb una distribució territorial diferent a l'actual, s'ampliarà l'abast de les zones àrides, les geleres seguiran retirant-se i el nivell del mar seguirà pujant. Les ciutats litorals, l'agricultura, la distribució de les malalties lligades a les condicions ambientals, la productivitat ecològica, l'estat dels sòls i les disponibilitats d'aigua dolça seran els àmbits més afectats. L'elevada concentració de GEH a l'atmosfera indueix, a més, a canvis en la freqüència, la intensitat i la durada d'episodis meteorològics extrems (huracans, tempestes, nevades, etc.). Això, juntament amb la possibilitat de canvis sobtats deguts a la naturalesa no lineal del sistema climàtic, fa augmentar la incertesa climàtica i el risc que s'hi associa.

L'energia elèctrica participa d'aquesta situació, cosa gens sorprenent perquè, al capdavall, és només un *carrier*. Efectivament, el conjunt d'impactes produïts en el seu procés d'obtenció, considerant tot el seu cicle de vida, és sever quan es parteix de fonts fòssils i nuclears, però també si es recorre a la generació fotovoltaica, la relació de la qual amb la mineria i indústria del silici se sol passar per alt (vegeu taula 3.12).

L'allunyament de les fonts energètiques i les àrees de consum fa que s'hagi de garantir el transport constant de matèries primeres energètiques, amb les servituds i els riscos que aquest flux representa. L'esquema es repeteix, però en una escala inferior, en la transformació d'energia. Les àrees de generació elèctrica es troben físicament allunyades de les àrees de consum, cosa que instaura riscos i provoca pèrdues d'eficiència. A les disfuncions globals, i les locals lligades al transport, cal afegir totes aquelles afectacions relacionades amb els sistemes d'extracció i processament (vegeu-ne detalls per a cada sistema d'obtenció d'energia a 2.2). La taula 3.11 mostra una comparació de les emissions reals de diferents tipus de centrals tèrmiques actualment en funcionament a Espanya, mentre que la taula 3.12 expressa una comparació multicriterial dels impactes de diferents tipus de generació d'electricitat.

Taula 3.11. Emissions atmosfèriques mitjanes per unitat d'energia produïda en les centrals tèrmiques.

	CO ₂ (g/kWh)	SO ₂ (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	Partícules (g/kWh)
Centrals tèrmiques carbó	9,3	12,9	14,4	15,4
Centrals tèrmiques fuel-gas	132,7	149,2	165,7	186,6
CTCC gas natural	154,3	173,7	193,9	217,8

Font: Memòria anual 2002 d'Endesa i Memòria estadística 2002 d'UNESA.

Taula 3.12. Taula d'impactes de diferents tecnologies de generació d'electricitat. Els impactes estan valorats mitjançant ecopunts negatius, de manera que més puntuació correspon a més impacte²¹.

Impactes	Sistemes de generació elèctrica							
	Carbó Llignit	Carbó Antracita	Petrolí	Nuclear	Foto- voltaica	Gas natural	Eòlica	Mini hidràulica
Escalfament Global	135,0	109,0	97,0	2,1	15,4	95,8	2,8	0,4
Pèrdua Capa d'Ozó	0,3	1,9	53,1	4,1	3,7	0,9	1,6	0,1
Acidificació	920,0	265,0	261,0	3,3	97,0	30,5	3,5	0,5
Eutrofització	9,8	11,6	9,8	0,3	2,0	7,0	0,3	0,1
Metalls Pesants	62,9	728,0	277,0	25,0	167,0	46,6	40,7	2,6
Subs. Carcinogèniques	25,7	84,3	540,0	2,1	75,7	22,1	10,0	0,8
Boira d'Hivern	519,0	124,0	135,0	1,5	53,3	3,1	1,5	0,2
Boira Fotoquímica	0,5	3,1	36,9	0,3	3,0	3,5	1,2	0,1
Radiacions Ionitzants	0	0,1	0	2,2	0,1	0	0	0
Residus	50,9	12,9	0,6	0,3	1,8	0,6	0,3	0,5
Residus Radiactius	5,3	10,6	7,1	565,0	34,9	1,3	1,8	0,32
Esgotament Recursos Energètics	5,7	5,5	13,6	65,7	7,1	55,8	0,9	0,1
TOTAL	1.735,2	1.355,9	1.398,1	671,8	461,0	267,1	64,7	5,4

Font: AUMA (2000). Impactos ambientales de la producción eléctrica. Análisis de Ciclo de Vida de ocho tecnologías de generación eléctrica. Madrid, IDAE

²¹ L'obtenció d'energia a partir de la biomassa també mostra un important impacte ambiental, variable en funció del seu ús final. Tanmateix, l'actualització d'aquest estudi, que inclou els valors d'impacte de la biomassa, encara no s'ha publicat. Altrament, els ecopunts negatius relacionats amb els impactes indirectes (per exemple, la construcció de rescloses en el cas de l'energia hidroelèctrica) estan calculats en base a les tècniques actuals, de manera que potser prendrien valors diferents si en el futur s'apliquessin tècniques distintes.

3.3.2. La visió sostenibilista del sistema energètic

Davant les disfuncions socioeconòmiques i ambientals del sistema energètic i, sobretot, davant les disfuncions encara més grans que provocarà un creixement tendencial en un horitzó a mitjà termini (2030) o una crisi energètica severa, cal una aposta agosarada per contrariar les tendències. Una aposta que faci millorar l'eficiència global del sistema energètic i que situï el consum entre cotes raonables.

El necessari distanciament de tot fonamentalisme

El preu del barril de Brent ha arribat als nivells més alts de la història en l'any 2005. La crisi de preus apuntada a 3.2.2 no és, doncs, un escenari inimaginable. Tampoc ho és el del desabastament. Els experts assenyalen que, ultra les reserves dels combustibles fòssils habituals, n'hi ha moltes més d'altres combustibles fins ara no explotats (pissarres bituminoses, hidrats de gas a les fosses oceàniques,...), però no deixen de reconèixer que l'extracció i el processament d'aquests recursos seria oneros i comportaria moltes externalitats ambientals negatives. En definitiva, per una via o altra, s'arriba sempre a un més que plausible escenari de crisi, sigui d'existències, sigui de preus, sigui d'una combinació de totes dues coses.

Moltes de les solucions pretesament alternatives estan, en realitat, afectades del mateix problema. El silici dels plafons fotovoltaics, per exemple, s'encareix a mesura que n'augmenta la demanda (alhora que s'abarateix al ritme de la millora dels processos industrials...). Les plaques fotovoltaïques forneixen menys d'un 0,01% de l'energia elèctrica global (equivalent a un 0,003% de l'energia primària consumida): és obligat concloure que les disponibilitats de silici i el seu preu evolucionarien malament si aquest percentatge deixés de ser simbòlic. Tard o d'hora acabaria produint-se la reacció contrària d'alguns sectors ecologistes, de la mateixa manera que ja s'ha produït en el cas de l'energia eòlica quan la proliferació d'aerogeneradors ha deteriorat determinats paisatges.

Hi ha un cert fonamentalisme ecologista que es nega a admetre determinades evidències (natura del comportament humà, quantificació realista dels paràmetres en joc), però no es pot oblidar que més greu encara és el fonamentalisme desenvolupista que es nega igualment a admetre l'altra cara de les mateixes evidèn-

cies. És més greu, perquè la seva responsabilitat en la presa de decisions és incommensurablement més gran. Aquest fonamentalisme desenvolupista –percebut com l'actitud 'normal', de tan habitual com és– es resisteix a gestionar l'oferta. Es preocupa només de la satisfacció de la demanda, sense qüestionar-ne la insaciable voracitat i sense acceptar que no es podrà garantir amb seguretat l'abastament si el seu increment anual continua com fins ara.

L'opció sostenibilista representa el necessari canvi de model efectuat des del rigor tecnocientífic i amb realisme socioeconòmic, més enllà de totes les tergiversacions, interessades o poc responsables, de què constantment és objecte. Un canvi de model que acoti els límits de la intervenció humana sobre el planeta i la humanitat. En termes energètics, es concreta en l'establiment d'uns límits al consum, de manera que es puguin satisfer les necessitats actuals sense comprometre les necessitats de les generacions futures, internalitzant els costos dels processos amb lògica planetària i voluntat d'equitat social mundial. Avançar cap a la sostenibilitat energètica també és avançar cap a aquest model social de menys necessitats energètiques, al qual s'arriba transversalment a través de tots els factors estratègics.

El plantejament energètic sostenibilista

L'escenari energètic mundial i la plausible eventualitat d'una crisi seriosa aconsellen la gradual adopció d'un model socioeconòmic diferent. En efecte, només amb mesures tecnocientífiques, altrament necessàries, no es podrà revertir la situació. Cal ser clars en aquest sentit. Cercar noves fonts per a satisfer una demanda desbocadament creixent o només elevar el rendiment productiu de les unitats energètiques posades al mercat, ni evitarà el *peak oil* i/o la crisi –bé que potser en retardarà l'arribada uns quants anys–, ni frenarà els trastorns ambientals d'abast planetari. Són imprescindibles canvis substantius en les pautes de consum que permetin modular l'oferta a la baixa, en comptes de tractar de satisfer debades una demanda indefinidament creixent.

El consum energètic endogen²² desitjable, suficient per satisfer les necessitats físiques, intel·lectuals i assegurar el respecte a la lli-

²² El consum energètic endogen d'una comunitat correspon a l'energia esmerçada en les seves necessitats pròpies. Es calcula restant del consum energètic total l'energia destinada a la generació de productes o serveis destinats a l'exportació i sumant-hi l'energia incorporada en els productes o serveis importats. En el cas de Catalunya, el consum energètic endogen representa de l'ordre del 80-90% del consum energètic total.

bertat individual a tot el món es pot establir en un valor entre 60 i 80 GJ/hab·any²³ o, el què és el mateix, entre 1,5 i 2 tep/hab·any. Tanmateix, el consum mitjà d'energia primària total per càpita als països de l'OCDE és (2002) de 200 GJ/hab·any (4,7 tep/hab·any) i el dels EUA és (2002) de 335 GJ/hab·any (8 tep/hab·any). A Catalunya, l'energia primària total consumida se situa (2000) en 150 GJ/hab·any (3,6 tep/hab·any).

Aquest valor de consum endogen de l'ordre de 2 tep/hab·any és un plantejament no excessivament agosarat i no necessàriament impopular. S'hi pot arribar sense grans tensions, sempre que es millori sensiblement l'eficiència energètica del sistema productiu i dels serveis, es minimitzi la malversació i, especialment, es produeixi un significatiu progrés en l'adopció dels principis sostenibilistes. Hi ha precedents: la majoria de persones de les societats occidentals, per exemple, ja fa anys que s'han autoimposat una autolimitació energètica en relació al consum d'aliments. Aquestes persones consumeixen molta menys energia alimentària que la que podrien consumir atès el seu poder adquisitiu, amb l'objectiu de mantenir una vida saludable i productiva. D'aquesta manera, els països occidentals ja estan estalviant molta energia per càpita (i més en podrien estalviar si primessin els productes vegetals sobre els animals, l'obtenció dels quals, per mor del seu superior nivell en la piràmide tròfica, és energèticament molt més onerosa). La qüestió és si es podrà estendre aquesta actitud envers els aliments a altres àmbits existencials.

Aquesta visió enllaça perfectament amb la sostenibilitat i amb un desenvolupament que sigui sostenible. El desenvolupament sostenible, en la seva accepció original de l'Informe Bruntland²⁴, és el que és capaç de satisfer les necessitats actuals sense comprometre els recursos i possibilitats de les generacions futures. Expressat d'una altra manera, és el model de desenvolupament

²³ Tot i que la relació entre despesa energètica i qualitat de vida no és lineal, és possible establir un seguit de valors llindar. Així, per sobre de 110 GJ/hab·any no s'aconsegueixen millores significatives en termes de salut pública, i aquestes són només marginals entre 70-80 GJ i 110 GJ. La correlació entre ensenyament i despesa energètica mostra uns valors similars: no calen més de 100 GJ/hab·any per garantir l'extensió de l'educació superior, i menys de 70-80 GJ/hab·any per l'educació primària i secundària. Estenent l'anàlisi a la resta d'àmbits de consum i benestar humà s'arriba a la xifra mitjana de 60-80 GJ/hab·any. Una justificació acurada d'aquests valors es pot trobar a SMIL, V. (2003); *Energy at the Crossroad*, MIT Press, EUA.

²⁴ L'Informe Bruntland, *El nostre futur comú*, va popularitzar aquesta definició el 1987, però la primera referència és a un document de la *International Union for the Conservation of Nature* (IUCN), d'alguns anys abans.

que internalitza els costos dels processos i actuacions, tot operant amb lògica planetària i amb voluntat d'equitat social. En definitiva, el sostenibilisme persegueix noves formes de ser, estar i conèixer per trobar noves formes de produir, consumir i distribuir.

La sostenibilitat, doncs, és molt més que l'eficiència, però no portarà *per se* a una reducció de la dependència energètica d'altres països, ni a un desenvolupament tecnològic propi. Tanmateix, l'eficiència pot contribuir, i molt, a la implantació del model sostenibilista, car millora el rendiment d'un sistema que, en basar-se en la moderació del consum, ha de treure el màxim profit de les seves inversions. L'enfocament sostenibilista és una mirada global al sistema energètic, que incideix sobre els diversos factors estratègics amb diferents objectius i eines per a afrontar-los.

Taula 3.13. Objectius, eines i recursos de la sostenibilitat en els diferents àmbits de l'energia.

Àmbits	Factors estratègics	Objectius sostenibilistes	Eines i recursos
FONTS PRIMÀRIES D'ENERGIA	Autonomia	Menor dependència exterior	Estímul de la generació pròpia
	Seguretat	Garantia d'abastament	Diversificació de les fonts
	Governabilitat global	Menor consum combustibles fòssils, reducció externalitats globals	Noves relacions amb els proveïdors, protocol Kioto
TRANSFORMACIÓ I DISTRIBUCIÓ ENERGÈTICA	Eficiència	Minimització de l'entropia, maximització del rendiment	Noves tecnologies, recorreguts més eficients
	Centralització /distribució	Equilibri entre generació centralitzada i distribuïda	Xarxa amb grans i petits productors
	Preu	Internalització dels costos reals	Reformulació dels balanços econòmics
CONSUM ENERGÈTIC	Model social	Valors individuals: equitat, integració ambiental, governabilitat	Conscienciació sostenibilista
		Valors col·lectius: estils de vida menys energívors, equitat territorial i intergeneracional	Polítiques sostenibilistes que facilitin l'accés a millors tecnologies
	Model econòmic	Globalització efectiva	Responsabilitat social corporativa
	Tecnologia	Maximització de l'eficiència, tancament de cicles	Tecnologies netes i eficients
	Fiscalitat	Penalització del sobreconsum, incentivació de l'eficiència	Fiscalitat i primes ambientals
	Model territorial	Disminució de la mobilitat motoritzada	Sistema urbà complex i compacte

Font: elaboració pròpia

Com s'ha esmentat, l'energia és absolutament transversal, i es presenta de manera ben diversificada en la seva obtenció, distribució i consum. La sostenibilitat aplicada a l'energia no implica una sola forma de generar, una de distribuir i una de consumir. La sostenibilitat formula els objectius per poder plantejar models energètics locals sostenibles, a través de diversos camins. Per això, per a cada àmbit energètic s'identifiquen els seus factors estratègics, els objectius sostenibilistes i finalment les eines i recursos per afrontar aquests objectius sostenibilistes. D'aquesta manera, la sostenibilitat energètica es defineix d'acord amb diferents respostes als factors estratègics del sistema energètic (vegeu taula 3.13).

3.3.3. Els factors de l'estratègia energètica sostenibilista

L'actuació sostenibilista té ritmes diferents sobre els àmbits o factors estratègics. El canvi de model de demanda només es pot considerar a mitjà o llarg termini, mentre que l'eficiència dels aparells o el nivell de consum dels vehicles és una qüestió a molt més curt termini. D'entre les diverses eines emprades per assolir els objectius sostenibilistes, la més avançada d'abast internacional és el protocol de Kioto, atès que dues terceres parts de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) estan associades al sistema energètic (vegeu 3.4.5). Però hi ha una bateria de factors lligats a les decisions quotidianes.

El model social

Tota societat es remet sempre al model que jerarquitzava la seva escala de valors. Quasi mai no se n'és conscient, sempre se'n depèn. Els valors del cristianisme han configurat la societat occidental i els del calvinisme han accentuat les diferències entre el món llatí catòlic i el món anglosaxó reformat. Hi ha hagut una societat feudal basada en la noblesa propietària de la terra i una societat industrial basada en la tinença dels sistemes de transformació productiva, l'una observant de la transmissió de drets i riquesa per via familiar, l'altra respectuosa amb les capacitats de cadascú.

Una societat consumista i amb poques inquietuds sostenibilistes estarà sempre molt més interessada en un sistema energètic generós en l'oferta, que no pas a gestionar prudentment la demanda. En un horitzó d'escassetat relativa, això pot arribar a ser molt conflictiu. Per això l'evolució dels valors socials és clau en la con-

figuració del consum energètic. Aquesta evolució es produeix a dos nivells diferents: l'individual i el col·lectiu:

- Els valors individuals estan relacionats amb els sentiments personals, amb l'autonomia intel·lectual (pensar per un mateix) i moral (actuar amb independència de criteri). Són fruit d'una trajectòria personal única de cada persona.
- Els valors col·lectius es configuren a partir dels valors individuals, però també dels valors transmesos en l'entorn social: mitjans de comunicació, institucions, ONG, grups d'opinió, etc. Els valors col·lectius són els que permeten fer canvis socials d'efectivitat palpable. En efecte, els valors col·lectius fan possible l'adopció o el refús de determinats models, l'acceptació de nous sistemes fiscals, el desenvolupament d'etiquetes i de sistemes de certificació que garanteixin la idoneïtat d'un producte d'acord amb una regulació determinada, etc.

En el camp energètic, i d'acord amb el plantejament esmentat, s'hauria de tendir a incorporar els valors socials de l'equitat i l'ambientalització en el camp dels valors individuals mitjançant la comunicació de la consciència sostenibilista. Quant als valors col·lectius, la clau és facilitar l'accés a tecnologies més eficients i menys consumidores d'energia. Aquest canvi de model energètic en l'àmbit social pot comportar, entre altres aspectes, un menor consum per canvi de preferències; un menor consum per utilització d'aparells més eficients; la predisposició a pagar més per energies renovables; una menor despesa per transport obligat i no obligat; o una menor utilització del transport privat.

Tanmateix, els canvis en els valors col·lectius són lents i, sovint, no del tot reeixits. L'evidència històrica mostra com els canvis que han provocat un ús més eficient de l'energia a gran escala han comportat com a conseqüència un increment del consum.

L'accés a cotxes amb motors més eficients –els actuals ho són molt més que els de fa vint anys– no ha fet baixar el consum d'energia: els conductors fan més quilòmetres i a més velocitat. En definitiva, els canvis de valors col·lectius hauran d'anar més enllà de l'accés a sistemes més eficients: hauran d'acceptar i concretar límits al consum global.

Com s'ha esmentat anteriorment, ja existeixen canvis socials que limiten el consum d'energia: el límit al consum d'aliments per persona de les societats occidentals, amb l'objectiu de mantenir una vida saludable i productiva. Un veritable canvi social en el

conjunt del sistema energètic haurà de passar, també, per la identificació dels objectius ambiciosos i fàcilment entenedors que conduirà a una bona part de la societat a autoregular a la baixa el seu consum energètic.

De manera general, l'evolució present dels valors individuals i col·lectius tendeix a la incorporació d'elements ambientals, i incipientment sostenibilistes. És de preveure que aquesta evolució segueixi fins al 2030 i, fins i tot, s'aguditzí. En qualsevol cas, no es poden descartar trencaments socials que accelerin el ritme de la conscienciació individual –com una crisi energètica severa– o que, per contra, el frenin brusquement.

Els principals obstacles a l'extensió de models més sostenibles de consum provenen de la incapacitat de traslladar els valors individuals al conjunt de l'organisme social. En aquest sentit l'energia pot actuar com element de cohesió de comportaments individuals, sempre que es donin les condicions i els agents que facilitin l'agregació. Aquesta agregació es pot veure afavorida per una pujada generalitzada de preus o per una crisi generalitzada en l'abastament de matèries primeres energètiques.

La conscienciació individual i col·lectiva pot veure's esperonada per la tendència a legislar la transparència informativa de la societat, com a consumidora i com agent actiu en la necessitat d'informació. La Unió Europea ha incidit en aquest sentit mitjançant Directives com la 2003/66/CE sobre l'etiquetatge d'aparells electrodomèstics en funció del seu consum energètic, o la Directiva 2003/4/CE relativa a l'accés del públic a la informació ambiental. Aquesta darrera directiva, basada en el Conveni d'Aarhus, comporta avenços significatius respecte l'anterior Directiva 90/313/CEE.

Una òptima interacció entre la tecnologia i el model social és necessària per avançar en la transmissió i difusió de valors col·lectius relacionats amb l'estalvi energètic. L'ampliació de complicitats en el cas de l'eficiència energètica només es podrà fer a partir de projectes i experiències exitosos. Per contra, el fracàs de projectes pilot ambiental i energèticament innovadors desincentiva altres iniciatives i desmotiva les persones –la majoria conscienciats a nivell individual- que hi participen, precisament els més sensibilitzats en qüestions d'eficiència ambiental.

La conscienciació social és molt important quan es vol gestionar la demanda energètica. A diferència de les actuacions en l'oferta (noves centrals), en què els actors són grans grups transna-

cionals energètics, en la disminució de la demanda la inversió en tecnologia queda a mans dels usuaris finals, que no disposen d'una estructura financera tan gran ni consolidada com els grans grups corporatius. Això requereix d'uns valors socials ambientalment avançats molts consolidats en una part àmplia de la societat.

La conscienciació social col·lectiva s'estructura socialment de moltes formes, entre elles les regulacions legislatives avançades. Per exemple, l'estalvi energètic més gran dels EUA al llarg de la seva història ha vingut donat per la imposició de la velocitat màxima de 55 mph (88 km/h) arran de la crisi energètica de principis dels 70. Una imposició acceptada socialment malgrat constituir una societat antireguladora. Segons l'Agència Internacional de l'Energia, la reducció de la velocitat de 120 a 90 km/h redueix el consum d'energia en un 29% (vegeu taula 3.14).

Taula 3.14. Percentatge de reducció del consum de combustible reduint la velocitat a 90 km/h.

Velocitat origen (km/h)	90	100	110	115	120	130
Velocitat reduïda (km/h)	90	90	90	90	90	90
Turismes	0	11,3%	21,1%	25,5%	29,6%	37,0%
Camions de petit tonatge	0	11,0%	20,6%	25,0%	29,0%	36,4%
Camions de gran tonatge	0	6,0%	11,9%	14,7%	17,5%	22,8%

Font: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2005); *Saving oil in a hurry*. París: OECD/IEA.

El model econòmic

En funció del model social, s'acaba adoptant un model econòmic correlatiu. Així ha passat en el nostre món. La tendència globalitzadora del model econòmic no ha de variar en el període 2005-2030. Així mateix, és possible que el model vagi incorporant variables ambientals en el seu funcionament, en els països desenvolupats, i en menor grau a les economies emergents. En el moment present, predomina un model externalitzador de costos indesitjats i de disfuncions ambientals que emmascara una part dels problemes del sistema energètic en excloure'ls de la matriu socioeconòmica. L'exaltació de l'efecte d'hivernacle en externalitzar a l'atmosfera global les contaminacions globals seria un exponent clar d'aquesta actitud.

Hi ha alguns símptomes de canvi, certament molt tímids encara. Els creixents mecanismes per a la pràctica de la Responsabilitat Social Corporativa o la progressiva incorporació de criteris sostenibilistes en els processos de presa de decisions, entre les grans empreses transnacionals estendrà progressivament valors socials i ambientals a àmplies zones del planeta. Tanmateix, no són de preveure grans canvis estructurals en el model econòmic vigent. Només l'eventualitat d'una crisi energètica o geopolítica pot provocar un sobtat tancament dels mercats interiors i l'establiment de règims proteccionistes.

El model territorial

En el cas de l'energia, una derivada dels valors socials és el model territorial, és a dir, la forma i disposició sobre l'espai dels àmbits residencials i productius en funció dels valors lligats a l'imaginari col·lectiu (poder, escala social, desigs personals, etc.). El model territorial mescla o separa usos, concentra o deixata activitats, estratifica o barreja sectors, etc., circumstàncies mai deslligades de la capacitat per a relacionar-los entre ells que tenen els sistemes de transport. En efecte, el model territorial determina la majoria de paràmetres relacionats amb la mobilitat obligada i el transport de mercaderies, qüestions energèticament capitals fins al punt que el transport és el sector en què més ha crescut el consum d'energia en les darreres dècades i en el que es preveu que creixi més en el futur.

La ciutat difusa gaudeix d'un gran prestigi social en el món anglosaxó i cada cop més en el llatí. Una ciutat difusa de teixits urbans dispersos i laxos, de cases unifamiliars amb jardí unides als nusos de les autopistes, de polígons industrials i centres comercials envoltats d'aparcaments, que ha demostrat la seva escassa eficiència energètica, tant a escala local com regional, en la mesura que esdevé un gran consumidor de sòl i que

incrementa exponencialment la mobilitat en vehicle privat. Els diversos tipus d'habitatge en ordenació aïllada que estan en l'origen del model urbà dispers en tant que escenaris de formes de vida desitjades, presenten valors de consum de matèries primeres, aigua i energia significativament superiors a la mitjana: els edificis unifamiliars consumeixen el doble que els plurifamiliars.

En conseqüència, un sistema energètic que pretengui acotar el consum hauria de tenir per objectiu disminuir la necessitat de mobilitat i facilitar l'accés no motoritzat a la majoria d'usos i serveis, a través d'un sistema urbà raonablement compacte i com-

plex. En efecte, la localització dels nous habitatges en sistemes més compactes i complexos és una bona manera de garantir l'accessibilitat, a base de reduir les necessitats de mobilitat. Això permet formar, consolidar o rehabilitar teixits urbans que disposin d'una densitat edificatòria –la compacitat– relativament alta i estiguin situats en llocs nodals que permetin garantir diversos usos i formes d'ocupació de l'edificació (laboral, educatiu, comercial, lleure, serveis, habitatges per a joves i per a gent gran, albergs, etc.). És l'aposta per la complexitat, urbana, altrament també molt desitjable per raons de coherència social.

Tot tipus d'habitatge hauria d'ubicar-se en llocs propers als serveis que ofereix el poble o ciutat; disposar d'accés a peu, breu i de qualitat; i contribuir a formar la xarxa d'activitats urbanes que precisen ser localitzades en les plantes baixes dels edificis –com una extensió del carrer–, tot estenent el centre del poble o ciutat o contribuint a formar un nou lloc referent, una nova polaritat. La localització també hauria de valorar la disposició propera d'una bona xarxa de transport públic que possibiliti una mobilitat de qualitat, de baix impacte ambiental i oberta a tothom. Des d'un punt de vista sostenibilista, l'opció òptima en terrenys mai abans urbanitzats és disposar d'edificabilitat i densitat bruta baixes i d'edificabilitat i densitat neta altes.

D'altra banda la integració de la transformació i distribució d'energia en l'ordenació i la planificació del territori ha d'aportar coherència a un model energètic que indubtablement serà més distribuït que l'actual. Això comporta, per exemple, la gestió global de la concurrència de les xarxes lineals de transport, energia i comunicació, de manera que es faci convergir els interessos de les empreses amb les necessitats del territori i la minimització de l'impacte ambiental. Així s'evitaria que cada empresa construeixi la seva pròpia xarxa d'acord amb els seus legítims però particulars interessos.

L'eficiència

L'eficiència és la relació entre eficàcia i esforç. L'eficiència energètica és la relació entre l'energia útil obtinguda mitjançant un procés energètic i l'energia continguda en les matèries primeres energètiques utilitzades. L'eficiència energètica va rebre un fort impuls arreu del món arran de la crisi petroliera de 1973. Des dels anys vuitanta, però, davant la caiguda dels preus del petroli per la contra-crisi i el fort augment de la competitivitat internacional, les inversions en eficiència van decaure significativament.

La situació canvia de manera radical en els nous escenaris d'escassetesa que s'acosten.

L'eficiència fa referència tant a la demanda d'energia com al sistema de transformació i distribució energètica. En la demanda, l'eficiència és la relació entre l'energia útil i el consum final. La millora tecnològica permet incrementar l'eficiència. L'eficiència en el sistema de transformació i distribució energètica ha de cobrir dos vessants: les tecnologies de transformació i els recorreguts més eficients. Cal tenir en compte que l'energia final representa només, de mitjana, un 60-70% de l'energia primària, per causa de les pèrdues en el processament, transport, transformació i distribució (vegeu taula 3.15). De les innovacions tecnològiques dels darrers 30 anys en la generació elèctrica, les dues més significatives són els aerogeneradors eòlics i les turbines de les centrals tèrmiques de cicle combinat de gas natural. També cal destacar l'extensió de l'aprofitament de la cogeneració (generació conjunta d'electricitat i calor), que aconsegueix rendiments globals més grans, tant en el sector industrial com en el residencial o en els serveis (en aquest cas, especialment en indrets on fa un fred intens a l'hivern).

Taula 3.15. Eficiència de l'energia final per a diferents fonts energètiques i sistemes de generació d'electricitat.

Font energètica	Extracció (%)	Procés (%)	Transport (%)	Conversió (%)	Distribució (%)	Eficiència acumulada (%)
Gas natural	96,8	97,6	97,3	-	99,2	91,2
Fueloil	96,8	90,2	98,4	-	99,6	86,0
Electricitat a partir de:						
· Gas natural (CC)	96,8	97,6	97,3	56,0	92,0	47,3
· Carbó	99,4	90,0	97,5	33,4	92,0	26,8
· Fueloil	96,8	90,2	98,4	32,5	92,0	25,7
· Nuclear	99,4	97,6	97,5	30,0	92,0	26,2

Font: Elaboració pròpia a partir de: Sánchez, L. (1997). "El gas: una energia limpa para el siglo XXI". VI Fòrum energètic. Barcelona, Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya.

La proporció entre centralització i distribució

El grau de centralització o distribució de l'energia comporta un equilibri entre l'eficiència (aprofitament d'energies allà on es generin) amb una autonomia i seguretat globals suficients. La distribució centralitzada d'energia (generació centralitzada d'electricitat, distribució canalitzada de gas, etc.) ha estat el model al que s'ha tendit durant el segle XX. És una tendència relacionada amb el propi desenvolupament del model industrial, en què les economies d'escala de les grans centrals, amb la corresponent minimització de despeses per unitat de producte energètic, justifiquen les grans instal·lacions productores. No obstant això, des d'un punt de vista sostenibilista, i d'acord amb tot allò expressat anteriorment, cal considerar:

- El recorregut més eficient de l'energia no és el mateix en diferents llocs o diferents moments. La inclusió de solucions locals que complementin el model de gran producció centralitzada portarà a un nou equilibri amb els plantejaments centralitzats.
- La generació distribuïda permet aprofitar les energies allà on es generen. Aquest fet addicionalment disminueix les necessitats de transport d'energia elèctrica. D'aquesta manera es poden reduir les pèrdues associades al transport (d'aproximadament un 8-9% de l'energia), i reduir la necessitat de línies d'alta tensió.
- La sostenibilitat vol treure partit de les particularitats locals i, per tant, adaptar les solucions a l'entorn local. L'adaptació local de les solucions és una altra de les tendències sostenibilistes que portarà a una més gran diversificació de fonts i models, amb un equilibri entre grans productors, grans consumidors i molts petits productors i consumidors. Les energies renovables permeten avançar en aquesta direcció.
- En aquest sentit, el creixement important de les energies renovables, que aporten generacions significatives en termes globals (avui l'eòlica, a mitjà termini d'altres com la biomassa o la generació electrosolar) afavoreixen la consolidació d'una xarxa més distribuïda. És aquesta xarxa distribuïda la que dóna valor a les energies renovables, que poden enviar energia a la xarxa de manera no constant i amb menor capacitat de previsió que l'energia obtinguda a través de fonts clàssiques.
- La liberalització regulada del sector, que permet l'accés dels petits productors i de les energies renovables a la xarxa elèctrica, és una eina que també potencia la generació distribuïda d'electricitat.

- El model centralitzat correspon molt bé amb una societat industrial que busca el creixement quantitatiu per sobre de tot. El model post-industrial busca un desenvolupament més qualitatiu que quantitatiu, i s'identifica millor en un model en xarxa. La sostenibilitat també s'identifica més amb aquest tipus d'arquitectures on l'important és l'autonomia dels nodes i la seva cooperació. Les estructures en xarxa, a més, responen millor a situacions de crisi que els models centralitzats.

En conseqüència, es preveu en les properes dècades un desplaçament de l'actual model centralitzat cap a un altre en què la proporció centralitzat/distribuit sigui més equilibrada. Quant a Catalunya, cal assenyalar que té un model de producció energètica centralitzat. Les tendències de descentralització, a més de la incorporació de les fonts renovables allà on es produeixin, encaixen perfectament amb la instal·lació de centrals de generació d'electricitat en llocs de consum (ports de Tarragona i Barcelona, Besòs, etc.).

La tecnologia

La tecnologia és un factor estratègic fonamental del sistema energètic en termes d'eficiència, de producció de residus, etc. Els avenços tecnològics del passat han permès disminuir la intensitat energètica a les societats occidentals i fer avenços significatius de l'eficiència en l'àmbit del consum (vegeu 3.1.3). Aquestes tendències previsiblement continuaran en el futur, acompanyades per una creixent pressió normativa referida tant als habitatges com a grans instal·lacions com a petits aparells electrodomèstics.

Tanmateix, una visió sostenibilista que realment vulgui minimitzar els riscos associats a les disfuncions del sistema energètic hauria d'accelerar significativament els avenços tecnològics més enllà dels previstos per la R+D estàndard. Això comporta incidir plenament en els processos industrials per afavorir el tancament de cicles, considerant sistemes d'ecologia industrial que permetin minimitzar els residus i el consum de matèries primeres i energia. En aquest àmbit es podrien produir trencaments tecnològics importants en els sectors emergents: les tecnologies de la informació, la biotecnologia i la nanotecnologia. L'evolució en aquests camps pot influir en l'eficiència del sistema productiu.

Alguns dels trencaments tecnològics que segurament tindran lloc les properes dècades i que generalitzaran productes tecnològicament diferents dels actuals són els vehicles híbrids i els habi-

tatges energèticament eficients (per exemple, sense aire condicionat als països mediterranis). Aquests trencaments vindran induïts per textos legislatius (la Directiva 2002/91/CE relativa al rendiment energètic dels edificis, etc.) i per acords voluntaris entre els governs i la indústria, com el cas de l'acord entre la indústria de l'automòbil i la Comissió europea per limitar les emissions de CO₂ dels motors de combustió interna en els horitzons 2008 i 2012.

Com s'ha esmentat, els canvis tecnològics per ells mateixos no provoquen un estalvi d'energia. Els canvis que provoquen un ús més eficient de l'energia acostumen a comportar preus més baixos i, en conseqüència, un increment del consum. Calen canvis socials de certa envergadura (vegeu apartat anterior) per consolidar estalvis energètics significatius fruits de millora de l'eficiència.

El factor estratègic de la tecnologia no es limita a l'eficiència sinó també a la implementació eficient de tecnologies noves o en curs de desenvolupament, i a la innovació en el sector energètic. La possibilitat de millora tecnològica d'un país estarà relacionada amb el seu R+D+i en el camp energètic, relacionat a la seva vegada amb les capacitats dels tècnics en crear estructures de coneixement i de transferència de tecnologia avançades i les capacitats del sistema universitari per formar persones prou capacitades i per tirar endavant projectes significatius de recerca bàsica.

El preu

El preu de l'energia és un factor clau del sistema energètic, perquè condiciona l'accés a determinades fonts energètiques i la possibilitat de desenvolupar-ne de noves. El preu s'ha mostrat com una de les eines més eficients de regulació de la demanda. La baixada dels preus de l'electricitat a Espanya la darrera dècada (un 14,9% en termes nominals de 1997 a 2005, i un 38% en termes reals, considerant la inflació) ha estat un factor clau en l'augment rècord del consum elèctric d'aquests darrers anys (un 43% entre 1997 i 2004), cosa que a la vegada ha perjudicat la incorporació de mesures d'eficiència i estalvi energètic. Per contra, les pujades del preu de l'energia (cas de crisi del petroli dels setanta) han afavorit l'estalvi energètic.

El model econòmic vigent ha primat històricament la internalització de paràmetres autoeconòmics, mentre que ha deixat de banda paràmetres socials i ambientals. El cas de l'energia no ha estat diferent. La no internalització dels danys ambientals causats

per les emissions de GEH o de les externalitats associades al risc d'accidents nuclears o al tractament de residus en són alguns exemples²⁵. O, en l'ordre social, les externalitats pels conflictes associats a la geopolítica planetària vigent.

Per avançar cap a un sistema energètic sostenible, cal internalitzar les externalitats lligades a tot el cycle energètic. El preu de l'energia hauria de ser el reflex real dels seus costos directes i indirectes (vegeu taula 3.16 per a una aproximació als costos de les externalitats en diferents països europeus). És certament difícil aconseguir uns preus de l'energia que reflecteixin totes les externalitats associades a la seva extracció i transformació. Tanmateix, l'opció sostenibilista comporta avançar cap a una política eficaç de balanços econòmics que incorpori partides socials i ambientals. Així doncs, des de les instàncies públiques es pot recórrer a mecanismes de preu per tal d'orientar la producció i els consums (vegeu apartat de fiscalitat més avall) vers tendències més sostenibles. Quant a la producció, cal diferenciar entre la taxació sobre els productes energètics que es volen reduir i la subvenció de les energies que es volen afavorir.

La taxació de certs productes energètics té la finalitat d'incentivar l'ús més eficient de l'energia, reduir la dependència externa i preparar l'economia per a una eventual crisi energètica. La majoria de països centre i nordeuropeus (i d'altres, com Itàlia) fa anys que han implantat taxes considerables sobre l'electricitat i els carburants. Espanya, per contra, està per sota de la mitjana europea. Per homogeneïtzar la fiscalitat a nivell europeu amb la finalitat de disminuir la dependència dels combustibles fòssils, la UE ha aprovat la directiva 2003/96/CE, de règim fiscal dels productes energètics, que fixa els rangs mínims impositius per a diferents formes energètiques (derivats del petroli, gas natural, carbó i electricitat). Evidentment, la política de taxes sobre l'energia ha d'estar acotada, perquè una taxació excessiva pot suposar una pèrdua significativa de competitivitat internacional envers altres països, com els EUA o les economies emergents asiàtiques.

D'altra banda la política impositiva també és un instrument per a la promoció de l'obtenció d'energia a partir fonts renovables, mitjançant la reversió monetària, sobre certs sistemes d'aprofitament energètic, dels ingressos fiscals obtinguts per les

²⁵ Recentment (25 de febrer de 2005) s'ha produït un clar exemple d'internalització de costos en el sector energètic: el govern espanyol ha obligat la indústria nuclear a assumir els costos de la gestió i tractament dels residus nuclears, que fins ara pagaven els consumidors a través de la tarifa elèctrica.

taxes ambientals (o d'altres mecanismes fiscals). Existeixen diversos sistemes, com les desgravacions fiscals o els sistemes de tarifes mínimes (REFIT) mitjançant intentius i primes. Els incentius i les primes afavoreixen sistemes d'aprofitament energètic a partir de fonts renovables i en procés de maduració tecnològica, mitjançant la subvenció per unitat d'energia subministrada a la xarxa elèctrica.

En qualsevol cas, els criteris a l'hora de subvencionar l'obtenció d'energia no reactiva o a partir de la combustió de materials biodegradables haurien de ser tècnicament justificats d'acord amb un triple balanç: un balanç energètic, un balanç econòmic i un balanç ambiental:

- El balanç energètic valora l'eficiència global del procés, considerant l'energia aplicada per produir i distribuir una font energètica (en el cicle de vida), i l'energia que la font proporcionarà en el seu ús final. Es tracta d'un balanç que varia si es canvien la tecnologia o el procés.
- El balanç econòmic analitza al cost diferencial de produir i distribuir una energia determinada, comparat amb el preu de les fonts tradicionals i de les altres renovables. Aquest balanç variarà en funció del preu de les fonts tradicionals, especialment les fòssils.
- El balanç ambiental mostra el conjunt d'impactes produïts en el procés d'obtenció d'energia, considerant tot el seu cicle de vida (vegeu 3.3.1). El balanç ambiental considera les externalitats ambientals per a cada sistema d'obtenció d'energia.

La consideració d'aquest triple balanç energètic, ambiental i econòmic evitaria la promoció de tecnologies de fort impacte ambiental i permetria establir prioritats en funció de l'evolució de preus i tecnologies. Possibilitaria, en definitiva, d'acomplir fidedignament la finalitat de planificar el finançament de la transició energètica en lloc de subvencionar algunes disfuncions energètiques sense sentit. La producció d'electricitat a partir de purins, per exemple, probablement no compleix avui en dia més que el balanç ambiental, i per tant es tracta d'una transformació doblement deficitària. No obstant això, pot haver pràctiques i tecnologies que donin un balanç positiu en un futur, i preus dels combustibles tradicionals que donin rendibilitat a les transformacions.

Taula 3.16. Externalitats de la generació d'electricitat a la UE. Valors en cEUR/kWh

Sistemes energètics	Carbó (Lignit)	Torba	Petroli	Gas Natural	Nuclear	Biomassa	Hidràulica	Foto-voltaica	Eòlica
Àustria				1-3		2-3	0,1		
Bèlgica	4-1			5 1-2	0,5				
Alemanya	3-6		5-8	1-2	0,2	3		0,6	0,05
Dinamarca	4-7			2-3		1			0,1
Espanya	5-8			1-2		3-5*			0,2
Finlàndia	2-4	2-5				1			
França	7-10		8-11	2-4	0,3	1	1		
Grècia	5-8		3-5	1		0-0,8	1		0,25
Irlanda	6-8	3-4							
Itàlia			3-6	2-3			0,3		
Holanda	3-4			1-2	0,7	0,5			
Noruega			1-2			0,2	0,2		0-0,25
Portugal	4-7			1-2		1-2	0,03		
Suècia	2-4					0,3	0-0,7		
Regne Unit	4-7		3-5	1-2	0,25	1			0,15

* Combustió de biomassa amb lignit.

Font: "ExternE. Externalities of Energy". Comissió Europea, DG XII, 2001. <http://www.externe.info/>.

La fiscalitat

La fiscalitat és l'eina d'elecció per a corregir baixos provocats per l'actitud externalitzadora de responsabilitats. La política que 'qui contamina, paga', tot i ser discutible en certs aspectes –fóra millor que 'qui contamina, que no contami'– expressa aquesta idea de correcció per via fiscal. La repercussió fiscal de les diferents opcions energètiques estimula o desincentiva determinades pràctiques socials, de manera que per via de la fiscalitat es fa econòmicament viable o inviable alguna opció.

D'acord amb els objectius d'internalització d'externalitats i de limitar el consum energètic, la fiscalitat hauria de permetre introduir factors que desincentivessin les pràctiques menys eficients i amb més impacte ambiental i que per contra incentivessin les pràctiques eficients, a través de la diferenciació fiscal progressiva dels impostos i de les taxes. Un plantejament gens trencador ni

desconegut, perquè ja fa molts anys que l'expresident de la Comissió Europea, Jacques Delors, va proposar de reformar a fons la fiscalitat amb la finalitat de penalitzar l'ús de l'energia i incentivar el del treball.

La fiscalitat ambiental és un instrument econòmic de gestió de la demanda energètica que es basa en la diferenciació progressiva d'impostos i taxes. No introdueix nous impostos, sinó que modula els que ja existeixen de manera fiscalment neutra, perquè no suposin un augment o una disminució de la càrrega impositiva global. La fiscalitat ambiental ordena els impostos d'acord amb una estratègia ambiental, de manera que augmenta la càrrega sobre la contaminació o l'energia i la rebaixa sobre altres factors com ara el treball. També pot contenir objectius socials, com per exemple protegir uns consums bàsics de l'energia per a aquelles persones més necessitades.

La fiscalitat ambiental vol penalitzar sobretot l'excés o abús de consum, no el consum en general. Una fiscalitat aplicada directament a les fonts energètiques penalitzarà els processos que tenen un consum alt, però no necessàriament els processos energèticament ineficients. Alguns abusos de consum a penalitzar poder ser certs usos de l'electricitat per a usos tèrmics, i d'altres particulars en funció dels sectors o dels processos industrials. Això requereix diversos estudis de detall previs a la seva aplicació, però és segurament la millor garantia d'una bona implantació. La fiscalitat ambiental també pot penalitzar usos especialment ineficients, com el de vehicles tot terreny a les ciutats (com es fa a Roma i d'altres ciutats italianes) o un ús excessiu de l'aire condicionat.

Una eina fiscal amb efectes directes sobre el consum és la tarifació per trams. La tarifació per trams cobra a una tarifa estàndard un consum mínim, a partir del qual la tarifa puja significativament amb una o dues forquilles, de manera que es desencoratja un consum excessiu. La tarifació per trams s'aplica de fa anys al nostre país al consum domèstic d'aigua, de manera efectiva. Fins al punt que recentment (gener de 2005) s'ha aprovat un tercer tram de tarifació del consum d'aigua, sense que la mesura hagi provocat rebuig social significatiu. Una mesura, en definitiva, que es podria aplicar sense problemes sobre l'electricitat, el gas natural, o cert tipus d'equips de consum ineficients.

L'harmonització fiscal a nivell europeu evitarà avantatges competitius entre els diferents països alhora que unificarà criteris en matèria de política energètica. Un exemple d'aquesta harmo-

nització és la Directiva 2003/96/EC, que reestructura el marc per a la fiscalitat de productes energètics i electricitat a la Unió Europea. La fiscalitat ambiental genera un flux d'ingrés monetari que es pot aprofitar per a altres polítiques de demanda del sector energètic.

L'autonomia

L'autonomia energètica és la capacitat per aplicar mesures energètiques des de l'escala local. Els països occidentals s'enfronten als problemes derivats de la seva dependència –o manca d'autonomia–, especialment de les matèries primeres energètiques fòssils. Aquests problemes no només afecten el sistema energètic, sinó al conjunt de l'economia. En efecte, el grau d'autonomia energètica té unes clares implicacions econòmiques. L'encariment del preu dels materials energètics afecta molt negativament les economies que depenen fonamentalment de la seva importació. Per exemple, es calcula que l'economia espanyola va haver de pagar 5.300 milions d'euros addicionals per l'encariment del preu del petroli entre agost de 2003 i agost de 2004.

Les economies europees, i la nostra en particular, tenen una autonomia energètica molt baixa, ja que disposen d'escassos recursos propis. La dependència de les energies d'origen fòssil és molt alta: al voltant del 80%. El triple balanç sostenibilista –econòmic, ambiental i social– fa veure clar que l'objectiu sostenibilista és una dependència exterior més petita, a través de l'estímul de la generació pròpia. Això concorda amb l'objectiu sostenibilista d'internalitzar els recursos i les necessitats. L'impuls de les energies renovables, les més distribuïdes arreu del món, és la base de les millores en l'autonomia energètica.

La seguretat

La seguretat energètica és la possibilitat de mantenir unes estratègies energètiques prefixades davant de discontinuïtats o falles en l'abastament. Les limitacions de seguretat vénen donades per la capacitat d'accés a materials energètics fòssils. El possible declivi del seu abastament dibuixa, en un horitzó incert, un escenari futur de crisi energètica (vegeu 3.2).

Davant dels riscos relacionats amb aquest factor estratègic, l'eina sostenibilista més eficaç és la diversificació de les fonts energètiques. Això comprèn tant la diversificació de sistemes d'obtenció d'energia i dels materials energètics necessaris, com la diversi-

ficació del proveïment per a cada sistema o material energètic. Un exemple aplicat al nostre país seria la garantia d'abastament de gas natural a través dels gasoductes centre i nordeuropeus, complementari al gasoducte peninsular que prové d'Algèria. I, encara, l'emmagatzematge de gas de reserva en dipòsits geològics.

La governabilitat global

La governabilitat global està molt relacionada actualment amb l'accés a fonts energètiques fòssils. El valor econòmic d'aquestes fonts fòssils fa que el seu accés sigui considerat estratègic per a múltiples governs i grups armats, amb el conseqüent efecte negatiu per a la governabilitat global. En conseqüència, tota reducció del consum de materials energètics fòssils redundarà en una millora de la governabilitat.

Més enllà de la reducció del consum de combustibles fòssils, una aposta sostenibilista per la governabilitat global també implica noves relacions amb els proveïdors de materials energètics fòssils. Des d'aquesta perspectiva, la situació geopolítica actual travessa un estat de transició. D'una banda els països occidentals més forts preparen tot tipus d'estratègies per garantir el seu accés a les reserves més importants; i d'altra els consumidors emergents (principalment la Xina i l'Índia) copen els que fins ara eren els proveïdors tradicionals de petroli a Occident (vegeu 3.1.2).

El canvi climàtic, i els seus efectes a nivell local i global, és l'altra gran externalitat associada al model energètic actual. L'augment de la concentració de GEH deguda a la combustió de fonts fòssils és una externalitat de caràcter global, i per tant afecta negativament la governabilitat. Però també les solucions que poc a poc es van obrint pas constitueixen una pràctica política global: el protocol de Kioto constitueix una eina política a nivell mundial a favor de la governabilitat global (vegeu 3.4.5).

3.4

Les previsions i accions en curs

La comprensió del sistema energètic exigeix una visió global del model, però també una interpretació de les diferents situacions locals. Saber transitar d'un nivell escalar a un altre és condició indispensable per a abordar amb solvència qualsevol plantejament prospectiu. Aquests canvis de nivell escalar també són necessaris per abordar el repte ambiental més important del planeta: l'aplicació efectiva del Protocol de Kioto.

3.4.1 Les visions estratègiques d'alguns països significatius

Diversos països han desenvolupat diferents estratègies energètiques basades en previsions prospectives. Val la pena recollir-ne algunes de les més significatives, tenint en compte que hi ha molts altres països que tenen visions estratègiques més o menys avançades per a la promoció de les energies renovables i la millora de l'eficiència energètica.

El cas del Regne Unit

El Regne Unit s'ha posicionat clarament a favor d'una economia de baix carboni a mitjà i llarg termini, amb el convenciment que el dia que el petroli s'acabi o es faci inabastable a gran escala, els països que n'hagin limitat el consum amb més intensitat i que hagin impulsat més bé les fonts renovables seran més competitius. Per aquest motiu s'ha autoimposat objectius ambiciosos, com per exemple reduir en un 60% les emissions de CO₂ en l'horitzó 2050 (respecte 1990), basant-se especialment en millores de l'eficiència.

La prospectiva energètica britànica²⁶ preveu un augment de la demanda energètica en els sectors domèstic, serveis i transport

(aquest darrer és el que experimenta l'augment més important). La indústria té un lleuger augment en la perspectiva 2010, i una posterior estabilització. Les fonts energètiques pel que fa a la generació elèctrica resten incertes, depenent del preu del petroli: el consum de carbó no baixarà mentre els preus del cru es mantinguin elevats, no es preveu una gran expansió del gas natural, les nuclears segueixen essent una part significativa del *mix*, tot i que amb tendència a la baixa a partir del 2010, i les renovables poden arribar al 10% de participació el 2010.

Adicionalment a aquesta prospectiva, s'han recollit les principals línies estratègiques en matèria d'energia en Llibre Blanc sobre l'Energia²⁷. El seu horitzó temporal és el 2050, tot i que planteja objectius concrets per al 2020. Els principals reptes i compromisos de l'estratègia britànica són:

- Promocionar les energies renovables. L'objectiu és aconseguir l'any 2020 un 20% de participació de les energies renovables sobre l'energia elèctrica total, i entre un 30 i un 40% el 2050. Les mesures per assolir aquestes fites són: exigir un augment progressiu de la participació en la generació d'electricitat de fonts renovables als subministradors elèctrics mitjançant sistemes de quota obligatòria ("*renewable obligations*"); incrementar els recursos econòmics destinats al sector de l'energia renovable; i eximir aquesta energia de les taxes associades al canvi climàtic.
- Modernitzar gran part de les infraestructures energètiques del Regne Unit mitjançant l'augment de les connexions amb subministraments de gas (gasoductes i GNL) i la inversió en les infraestructures associades a nous combustibles (hidrogen i gas natural líquid).
- Incrementar el rigor del reglament tècnic de la construcció, millorant la qualitat dels productes i fomentant una major eficiència tant en les llars com en les oficines.
- Potenciar l'aprofitament i transformació local d'energia: centrals de cogeneració (calor i electricitat) integrades en nuclis urbans, centrals elèctriques locals alimentades per biomassa o residus d'origen local, fonts eòliques o generadors d'energia mareomotriu.

²⁶ Energy Projections UK 2020.

²⁷ Energy White Paper. Our energy future: creating a low carbon economy (2003)
[www.dti.gov.uk/energy/whitepaper]

- Reduir les emissions dels vehicles mitjançant: a) a curt termini, millores tecnològiques dels motors de combustió interna i foment de vehicles híbrids; b) a llarg termini, promovent els combustibles baixos en carboni (biocombustibles): i c) normalitzant l'ús de l'hidrogen en el transport públic i privat (fins i tot en el mercat de turismes).
- Reprendre el debat de l'energia nuclear per planificar amb temps la substitució de les centrals que s'hagin de tancar al final de la seva vida útil; en aquest sentit no es descarta allargar la vida útil de les centrals existents i construir-ne de noves, després d'un ampli debat ciutadà.
- Fomentar la productivitat i la competitivitat en matèria d'energia al Regne Unit, sobretot pel que respecta a preus energètics competitius.
- Conscienciar la població, com a peça clau en l'assoliment dels objectius a curt, mitjà i llarg terminis.

El cas de França

El govern francès ha basat bona part de la seva estratègia energètica en la reducció dels GEH. El març de 2004 la MIES (*Mission Interministérielle de l'Éffet de Serre*) fa públic l'informe que ha de marcar l'estratègia per aconseguir el 2050 unes emissions que divideixin per quatre les actuals, l'estratègia factor 4 (F4).

Les tendències de consum per sectors d'activitat durant el període 2000-2050 són:

- **Indústria:** augment de la deslocalització industrial i baixada de la intensitat energètica (fins a un 43% menys que els valors del 1973); prohibició de la utilització generalitzada de combustibles fòssils per a usos tèrmics (proposta sorprenent, justificada per l'aposta radical per l'energia nuclear); segrest de CO₂ en jaciments geològics, només per a grans instal·lacions; i millora en l'eficiència d'equips i processos, a través d'un desenvolupament més gran dels cicles tancats.
- **Sectors domèstic i terciari:** augment del nombre d'edificis, però també de la seva eficàcia tèrmica; fixació de normativa de les condicions tèrmiques de les noves llars i promoció de la rehabilitació de les velles; extensió de l'ús de l'aire condicionat, cosa que pot marcar el període; canvi a calefacció elèctrica i desenvolupament d'equips de cogeneració (calor i electricitat) a nivell domèstic; optimització del consum dels electrodomèstics; doble revolució de la construcció: qualitat (des del punt

de vista tèrmic) i contribució a la generació d'electricitat (“edificis d'energia positiva”).

- *Transport*: fort creixement del sector i dependència total del petroli; incertesa clara al voltant de l'evolució de la mobilitat; cinc polítiques simultànies: reducció del consum unitari dels vehicles, contribució creixent dels biocombustibles, progressiva penetració dels motors elèctrics o híbrids, transferència a transports col·lectius, i gestió de la mobilitat dins la gestió del territori.
- *Electricitat*: el 2050 s'hauran hagut de substituir bona part de les actuals centrals nuclears i tèrmiques. Les centrals nuclears i les renovables poden portar a un factor 4 en les emissions de CO₂.

L'estratègia francesa planteja set escenaris alternatius, en l'anàlisi dels quals s'identifiquen:

- *Camins prohibits* (evolucions no compatibles amb l'estratègia F4): utilització majoritària de combustibles fòssils per subministrar energia tèrmica a edificis; producció elèctrica amb flama²⁸; dependència elevada del sector del transport respecte del petroli.
- *Punts durs* (usos en què els carburants fòssils són menys substituïbles): transport de llarga distància i usos on només l'emmagatzematge d'energia permet una adaptació a la demanda.
- *Camins inevitables* (recorreguts que no es poden evitar per aconseguir el F4): aconseguir a tots els sectors, inclòs l'energètic, una eficàcia màxima; millorar els comportaments individuals i col·lectius; reorientar la política de transports; desenvolupar les fonts d'energia renovables.
- *Trencaments* (salts tecnològics majors que podrien engrandir els margs de maniobra): aconseguir un F4 serà més fàcil si es donen avenços importants en els camps següents:
 - tecnologia al servei dels comportaments (tecnologies que implementen o incentiven pràctiques socials de caire sostenible no existents avui);
 - magatzem d'electricitat: per modular consum a períodes curts (vehicles) i magatzem massiu d'electricitat (lligat al

²⁸ Aquestes consideracions s'han de veure sota la perspectiva francesa de prioritització de l'energia nuclear i en molt menor mesura les renovables. No obstant això, cal remarcar que independentment de la font de que provinguin, els usos tèrmics de l'electricitat són els més ineficients.

- desenvolupament de fonts renovables); en qualsevol dels dos casos, lligat al format hidrogen;
- tecnologies de segrest de CO₂;
- economia de l'hidrogen: dependrà de les millores en magatzem i en segrest de CO₂;
- *Espais d'elecció* (en què diferents estratègies porten a resultats equivalents): les energies sense carboni seran nuclears o renovables; el gas és només una solució temporal front a la fi d'altres combustibles fòssils.

La prospectiva energètica francesa posa de manifest la necessitat d'una política energètica per Europa, que hauria de servir per coordinar l'R+D, planificar infraestructures comunes, especialment ferroviàries continentals i per harmonitzar els instruments fiscals.

El cas d'Irlanda

El model energètic irlandès presenta actualment una forta dependència dels combustibles fòssils. En concret, el 60% del consum energètic primari correspon al petroli, percentatge molt elevat en comparació amb el 43% que representa a la resta de la UE. Un dels principals objectius de l'estratègia energètica irlandesa per tal de reduir aquest percentatge és fomentar la participació de les energies renovables. S'opta sobretot per la biomassa, per l'energia eòlica i per l'energia mareomotriu²⁹.

En la prospectiva energètica irlandesa s'assumeix que el país té la capacitat de fer una transició cap a la sostenibilitat en els propers cinquanta anys si centra els esforços a incrementar la participació de les fonts renovables, a fomentar l'ús de vehicles moguts per pila de combustible i a substituir la calefacció convencional per altres sistemes, com ara les bombes de calor geotèrmica.

El cas d'Àustria

La prospectiva austríaca³⁰ estableix el seu horitzó temporal l'any 2020 i es concreta en tres escenaris, un de referència i dos d'alternatius. L'escenari de referència assumeix un progressiu creixe-

²⁹ DOUTHWAITE, R. (ed.) (2004); Before the wells run dry: Ireland's transition to renewable energy.

³⁰ BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2001). Energieszenarien bis 2020. Viena: BMLFUW [versió digital]

ment del consum energètic final, mentre que les dues alternatives proposades aconseguen invertir la tendència. El més agosarat dels escenaris, anomenat *Sustain*, assoleix, al final del període, estalvis energètics de fins al 32,6% respecte la corba tendencial. Les reduccions més significatives es produeixen en el consum de combustibles fòssils i es deuen a una doble reducció, tecnològica i de canvi estructural. En canvi, el consum elèctric gairebé no experimenta canvis.

La participació de les energies renovables en la generació elèctrica és una de les variables clau en la perspectiva energètica austríaca. Les principals fonts renovables són les minicentrals hidroelèctriques, l'energia eòlica i l'energia solar fotovoltaica. L'escenari *Sustain* assoleix un 8,3% d'energies renovables com a resultat d'un augment en la importància d'aquestes fonts i d'un descens en el consum total d'energia primària.

D'aquesta perspectiva se'n deriven dos missatges centrals: l'assoliment del benestar de la societat és factible amb una intensitat energètica més baixa; i els subministradors de l'energia han de renunciar progressivament a l'ús de combustibles fòssils. L'estratègia austríaca atorga una gran rellevància a la inversió en noves tecnologies centrades en el sector domèstic i el del transport.

El cas de la Xina

En els últims anys, la Xina s'ha consolidat com la primera potència emergent a nivell mundial, amb taxes de creixement al voltant del 10%. Davant aquestes xifres i considerant que aquest país representa una cinquena part de la població mundial (gairebé 1.300 milions d'habitants al 2003), la Xina s'erigeix en un dels motors de l'economia mundial. La Xina consumí l'any 2003 l'11% de l'energia demandada a nivell mundial. Això la va convertir en el segon consumidor mundial d'energia, darrere dels EUA.

El carbó és la principal font energètica de la Xina. Es tracta d'un recurs propi, ja que la Xina és la primera reserva carbonífera mundial. En concret, el carbó representa el 67% de l'energia primària consumida arreu del país, de manera que la Xina es consolida any rere any com el primer productor i consumidor de carbó a nivell mundial.

El petroli, consolidat com la segona font energètica del país (23% de l'energia primària consumida), està experimentant en els

últims anys importants increments de consum; de fet, la Xina n'és deficitària des de principis dels anys 90. La demanda està assolint valors al voltant de sis milions de barrils per dia i l'actual ritme de creixement econòmic està exercint una pressió molt important i sense precedents dins del mercat global del petroli.

Una de les principals conseqüències d'aquest model energètic i del creixement econòmic continuat és l'augment en les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. En els acords presos a la Cimera de Kioto no es van establir reduccions en els nivells d'emissions per a la Xina, ja que estava considerada un país en vies de desenvolupament i, en conseqüència, actualment no té límits per a emetre gasos contaminants a l'atmosfera. No obstant això, el programa del *Desè Pla Quinzenal del Desenvolupament Social i del Desenvolupament de l'Economia Nacional* va definir la protecció del medi ambient com a eix principal dels seus objectius. Es pretenen centrar els esforços en desenvolupar tecnologies avançades, adquirir equips moderns i materials de qualitat, gestionar correctament els residus i desenvolupar el sector de serveis ambientals. La implantació d'aquest Pla, però, està resultant lenta.

Tot i això, recentment (febrer de 2005) la Xina s'ha proposat objectius avançats (considerant el seu sistema energètic actual) en l'horitzó 2010, com ara generar el 10% de l'energia primària mitjançant fonts renovables, augmentar l'eficiència energètica, millorar la distribució d'energia per a pal·liar els desequilibris entre l'àmbit rural i urbà, i conservar i millorar la qualitat del medi ambient local.

La interpretació global de les diferents visions

Totes aquestes aproximacions més o menys locals admeten una reubicació en el sistema global. Amb més o menys suavitat, acaben encaixant, per la força de les coses, en el sistema general.

De l'anàlisi de les diferents perspectives nacionals i mundials s'extreuen les següents conclusions:

- Es preveu un increment del consum total i de l'ús de combustibles fòssils, amb les conseqüències ambientals i de dependència del model socioeconòmic envers aquesta font energètica.
- Els dos factors clau que marquen les estratègies de futur per contrarestar aquest increment de l'ús de combustibles fòssils són la seguretat energètica i el canvi climàtic.
- Les eines per fer front a aquests factors clau són una combinació de polítiques de: a) diversificació de les fonts d'energia;

- b) diversificació i millora de les vies d'abastament, en especial dels combustibles fòssils; i c) una decidida política de gestió de la demanda.
- No es preveuen grans canvis en l'estructura dels grans grups de fonts primàries d'energia (fòssils, renovables i nuclear) en l'horitzó del 2030, cosa que fa que no pugui disminuir la dependència energètica. Dintre de les energies fòssils, el gas natural guanya importància mundialment i el carbó també en algunes regions. Les energies renovables augmenten la seva participació en el *mix* final, però en percentatges encara molt modestos. L'entrada de petits productors no és tampoc significativa, però denota un canvi de tendència. L'energia nuclear torna a ser un factor important: hi ha països que segueixen apostant-hi clarament i altres que tornen a considerar com alternativa a mitjà termini, com a eina útil i significativa de la descarbonització del sistema energètic.
 - Al sector del transport l'augment de l'eficiència comporta una aposta per les tecnologies híbrides. També augmenta la proporció de biocombustibles, però com una solució parcial i més enfocada a la reducció d'emissions que a objectius d'independència de combustibles fòssils.
 - Les polítiques de contenció de la demanda són un capítol clau de les estratègies energètiques. Les vies per aconseguir-la són: l'estímul de l'eficiència energètica i les polítiques d'estalvi especialment en el transport i l'habitatge; la progressiva desmaterialització de l'economia (la desmaterialització és una tendència a les economies més avançades, independent del fenomen de la deslocalització), amb la consegüent baixada de la intensitat energètica; i la conscienciació social.
 - Augmenten els plantejaments associats a les solucions locals: fonts renovables i altres situacions puntuals, com el magatzem de CO₂ en aquells llocs on hi ha antics dipòsits geològics prop de grans centrals elèctriques.

3.4.2. El futur a partir del protocol de Kioto

La signatura, ratificació i posterior entrada en vigor (febrer de 2005) del protocol de Kioto és la plasmació efectiva de la intenció per primera vegada a nivell mundial d'internalitzar macroeconòmicament les externalitats del sistema energètic, en aquest cas per disminuir l'impacte associat a les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Si s'estén temporal i geogràficament la seva aplicació, i malgrat les seves limitacions i mancances, Kioto pot ser un primer pas per a la governabilitat global ambiental. Pot esdevenir, en definitiva, el catalitzador inicial per al canvi de tendència en relació a l'increment del consum energètic.

El protocol de Kioto

La signatura del protocol de Kioto durant la III Conferència de les Parts de la Convenció Marc sobre Canvi Climàtic, l'any 1997, va suposar el primer pas cap a la reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) a l'atmosfera. Trenta-vuit països industrialitzats van signar aquest document per establir un calendari real de reducció de les emissions de sis GEH (CO₂, metà, òxid nitrós, hidrofluorocarburs, perfluorocarburs i hexaflorur de sofre). En concret, aquesta reducció es va establir en un 5,2% per sota dels nivells de 1990 durant el primer 'període de compromís', que comprèn la mitjana entre els anys del 2008 al 2012.

El protocol de Kioto ha entrat en vigor el passat 16 de febrer de 2005 atès que s'han complert les dues condicions establertes per a confirmar la seva vigència: la ratificació per part de 55 estats, assolida l'any 2002, i la ratificació per part d'estats que representin, com a mínim, un 55% de les emissions globals de l'any 1990. Aquesta última condició s'ha acomplert recentment arran de la ratificació del Protocol de Kioto per part del parlament rus el mes de desembre de 2004. Fins aleshores, els 125 països que havien signat el protocol només representaven el 44% de les emissions totals.

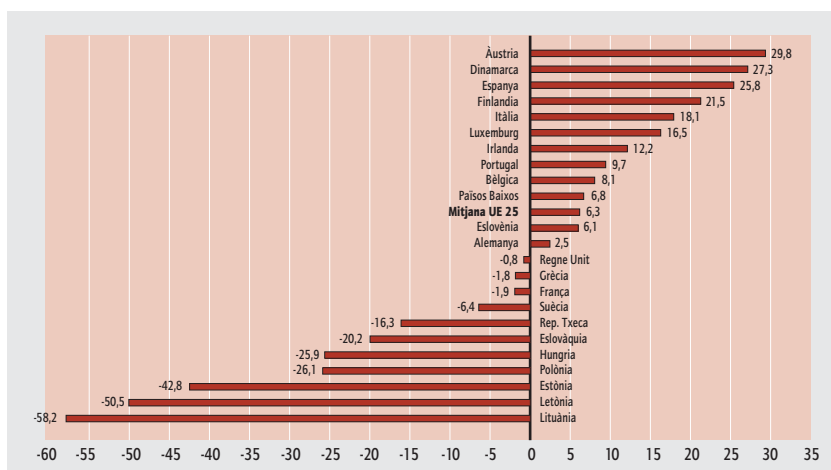
L'impuls que ha rebut el protocol amb la seva entrada en vigor mostra la inexorabilitat del seu avanç i la creixent conscienciació internacional per fer-lo efectiu. Europa ha estat una ferma impulsora del protocol des de fa anys. La implicació de governs clau dins la UE (Regne Unit, Alemanya, etc.) ha actuat com a catalitzador perquè tots els països europeus treballin per aconseguir els objectius que se'ls va assignar. El govern espanyol s'ha incorporat

a aquesta línia majoritària a Europa, assumint com a objectiu prioritari l'acompliment dels compromisos europeus en aquesta matèria.

Tanmateix, el grau d'assoliment dels compromisos del Protocol de Kioto per al període 2008-2012 a nivell europeu no està repartit uniformement. D'una banda, països com Alemanya, Regne Unit, Finlàndia, França o Suècia es troben ben encaminats per assolir els objectius fixats l'any 1997. Algun d'ells s'han fixat a hores d'ara objectius molt més ambiciosos de cara al 2050. D'altra banda, hi ha una sèrie d'estats (Espanya, Bèlgica, Itàlia, Grècia, Portugal, Dinamarca, entre d'altres) que s'allunyen de la tendència desitjada i que dificulten complir amb l'objectiu de reduir un 8% les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle de la UE respecte els nivells de l'any 1990 durant el període 2008-2012.

Per fer més eficient i flexible la reducció d'emissions, la UE ha dissenyat el mercat d'emissions. Aquest mecanisme constitueix un autèntic mercat de l'eficiència, i ha d'estimular les reduccions dels principals focus emissors. El protocol disposa a més d'altres mecanismes (com són els Mecanismes de Desenvolupament Net o l'Aplicació Conjunta) per a la transferència de tecnologies netes a països en desenvolupament.

Distància en percentatge a l'objectiu de Kioto dels membres de la UE-25 l'any 2003, en funció de les quotes distribuïdes entre els estats membres. El percentatge per sota (-) indica adequació a Kioto, mentre que el percentatge per sobre (+) indica inadequació



Font: Agència Europea de Medi Ambient (2005).
Annual European Community greenhouse gas inventory 1990-2003 and inventory report 2005

El compromís de la UE amb el protocol de Kioto representa, en definitiva, un pas ferm dels països de la Unió per contrarestar les tendències actuals en emissió de GEH, cosa que tindrà un efecte important en el sistema energètic –atès que, com s’ha esmentat, el 70-75% dels GEH estan relacionades amb l’energia. El compromís de la UE és clar i a llarg termini, cosa que fa preveure l’extensió geogràfica i l’ampliació temporal de la seva aplicació les properes dècades, amb una aplicació efectiva a curt termini ineludible, malgrat alguns desajustos els primers anys.

Tanmateix, l’evolució del protocol passa per la concreció d’una estratègia per a després del 2012, la millora de l’eficàcia dels seus mecanismes legals i l’homogeneïtzació del nivell d’exigència. Alguns dels aspectes claus que s’hauran de tractar són: els compromisos de països en desenvolupament (com ara la Xina, l’Índia i Indonèsia, actualment fora de l’àmbit d’aplicació del protocol i que poden convertir-se en els emissors més grans de GEH en les properes dècades); la incorporació dels EUA al protocol (els EUA són avui en dia els més grans emissors mundials i l’únic país industrialitzat conjuntament amb Austràlia que no l’ha signat); i l’assumpció d’objectius assumibles però més ambiciosos a mitjà termini (el Panel Intergovernamental per al Canvi Climàtic valora els objectius de Kioto com insuficients per aconseguir reequilibrar la concentració dels GEH a l’atmosfera i evitar els impactes del canvi climàtic).

Altres mesures a partir de Kioto

Els esforços per aturar l’increment d’emissions de GEH a l’atmosfera també han fet desenvolupar solucions tecnològiques en l’emmagatzematge de les emissions una vegada produïdes:

- *La captura i confinament del CO₂* emès, també anomenat ‘segrest’ de CO₂, per tal que les emissions produïdes no arribin a l’atmosfera. La captura es pot realitzar en grans fonts d’emissions com les centrals tèrmiques de generació elèctrica. La utilització de dipòsits geològics com a magatzem de GEH és una opció tècnicament viable avui dia. Els gasos són injectats en grans dipòsits geològics, buidats després de l’explotació de gas natural o petroli. Els principals problemes d’aquesta tecnologia són la ubicació dels pous, normalment allunyats de les grans centrals de generació elèctrica, i els riscos ambientals. El segrest de CO₂ pot representar en el futur una bona solució a nivell puntual i per a fonts no difuses.

- *La captació sòlida* en forma de carbonats nanocristallins de les emissions de CO₂. Es tracta d'una tecnologia en fase de desenvolupament. En cas que s'arribi a una solució tècnicament viable a un cost no excessiu, caldrà encara resoldre el destí final dels carbonats precipitats.

Tanmateix, les solucions que, com aquestes, s'afegeixen al final del procés productiu –solucions de final de canonada i, per tant, no basades en la prevenció–, no són significatives respecte la tendència majoritària, representada per l'augment de l'eficiència en la producció (en termes d'emissions), i especialment pel descens del consum. Els canvis de debò, si arriben, dependran de mutacions profundes, tal com s'ha exposat a 3.3.



El sistema energètic català en l'horitzó 2030

4.1 L'escenari tendencial

L'escenari energètic que la tendència dibuixa per a la Catalunya de l'any 2030 no és gens tranquil·litzador. Per partida doble: perquè la situació no es presenta com a gens favorable i perquè el marge de maniobra per a impedir-ho és petit. Justament per això, sembla recomanable concentrar totes les nostres limitades capacitats a minimitzar els aspectes negatius d'aquest escenari.

4.1.1 La capacitat d'intervenció des de Catalunya

Com s'ha esmentat a 2.1.3, la capacitat d'intervenció en la planificació estratègica del sistema energètic des de Catalunya és limitada, però en cap cas irrellevant. La taula 4.1 concreta la capacitat per a cadascun dels àmbits. Les maneres d'intervenir s'obtidran a partir de les capacitats d'intervenció i de les eines d'intervenció.

Taula 4.1. Capacitat d'intervenció des de Catalunya sobre els diferents àmbits del sistema energètic.

	Escala	Agents	Capacitat d'intervenció des de Catalunya
Fonts primàries d'energia	Global	Governos, transnacionals.	Baixa (energia edifica, biocombustibles..)
Transformació i distribució	Local-global: aplicació a nivell local de coneixements universals (empreses, universitats).	Companies productores (tecnologia i coneixement), grups transnacionals (local: grups productors-consumidors).	Mitjana (ubicació noves centrals, renovació, cogeneració, etc.)
Consum final i demanda	Local, amb imbricacions socials, sectorials i territorials.	Individuals, sectorials, associacions consum, companyies distribució, altres agents lligats a producció, distribució i estalvi.	Alta en els models socials, territorials i fiscals. Mitjana quant als models tecnològic i productiu.

Font: elaboració pròpia

Sobre les fonts primàries d'energia, la transformació i la distribució

L'escala de les matèries primeres energètiques és actualment global. Els agents principals que intervenen sobre la seva extracció, tractament i transport són les grans companyies transnacionals i els governs estatals. D'altra banda, Catalunya no disposa de materials energètics fòssils o radioactius en quantitat significativa. En conseqüència, la capacitat d'influència des de l'àmbit català és baixa.

La transformació i la distribució responen també en gran mesura a escales globals, sobretot en aspectes com les tecnologies de transformació o l'abastament de materials energètics fòssils o nuclears per a les centrals de generació elèctrica. També l'autorització de les grans centrals elèctriques o el nivell de primes econòmiques és fonamentalment una decisió fora de l'abast català. Tanmateix, les possibilitats d'intervenció són importants en la planificació d'altres centrals i de xarxes de distribució, així com amb aquells aspectes relacionats amb la planificació territorial. Es pot convenir globalment, per tant, que la capacitat d'intervenció des de Catalunya en el model de transformació i distribució és mitjana.

En la transformació i la distribució, a més de les grans companyies transnacionals i els governs europeu i estatal, també hi poden intervenir el govern català i les administracions locals, així com empreses mitjanes i petites, ja estiguin relacionades amb la construcció de centrals, sistemes d'obtenció d'energia o xarxes de distribució o ja estiguin relacionades amb el manteniment dels anteriors. Catalunya disposa d'una capacitat parcial en aquest àmbit, segurament amb empreses de dimensió no prou gran i no prou consolidades en tot l'espectre de l'àmbit.

Les energies d'obtenció no reactiva (les renovables) és l'àmbit en el qual Catalunya disposa de més marge de maniobra. La promoció o limitació de l'energia eòlica (eoelèctrica) o la introducció de biocombustibles, per posar dos exemples, tenen una complexitat tècnica o social determinada, però depenen fonamentalment de la voluntat del govern català. Tanmateix, els límits ambientals de l'aprofitament de les energies renovables també són una limitació a la capacitat d'intervenció en l'àmbit energètic des de Catalunya.

Sobre els límits físics i ambientals de les energies renovables

Catalunya és un país petit i muntanyós, en què hi ha poques zones ventoses en les què es pugui aprofitar comercialment l'energia eòlica o en què les superfícies de seca (útils per a conreus energètics) siguin de dimensions considerables. Això sumat a la voluntat de

conservar certs valors naturals i paisatgístics redueix les possibilitats d'aprofitament intensiu de moltes energies renovables.

En relació a l'aprofitament eòlic, el 64% del territori català presenta velocitats del vent amb mitjanes inferiors a $5,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (vegeu figura 4.1). A aquests límits físics cal afegir-hi la idoneïtat en funció de l'impacte ambiental. El Mapa d'implantació de l'energia eòlica (Decret 174/2002) estableix que el 23% del territori català és incompatible amb els parcs eòlics per la presència de valors naturals de protecció prioritària, mentre que un altre 16,6% és zona d'implantació condicionada a una declaració d'impacte ambiental positiva (vegeu figura 4.2). De la intersecció dels dos factors (potencialitat eòlica i protecció dels valors naturals) en resulta que d'entrada només el 19,2% del territori català és susceptible de ser aprofitat eòlicament, mentre que a un 5,7% més del territori es pot aprofitar de manera condicionada.

En conseqüència, el potencial màxim d'aprofitament de l'energia eòlica és reduït. S'haurà d'avaluar amb més detall a partir del grau de voluntat d'instal·lar parcs *off-shore* al delta de l'Ebre o a l'Empordà, però una aproximació màxima en l'horitzó 2030 podria estimarlo de l'ordre de 5.000 MW instal·lats, que podrien aportar una energia màxima al voltant de 0,95 Mtep anual.

Figura 4.1. Mapa de recursos eòlics de Catalunya.

Velocitat mitjana anual del vent a 80 m d'altitud.

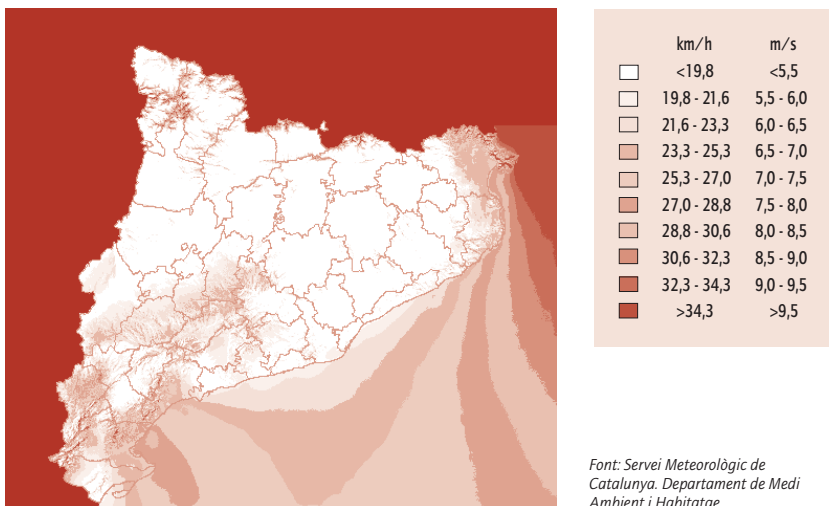
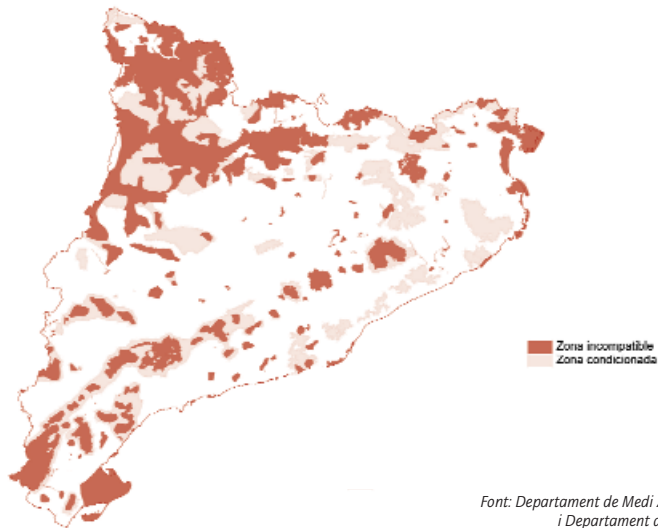


Figura 4.2. Mapa de compatibilitat de l'energia eòlica a Catalunya amb altres exigències territorials. No totes les zones compatibles són, a més, eòlicament aprofitables.



Font: Departament de Medi Ambient i Habitatge i Departament de Treball i Indústria.

Un altre cas és la hidroelectricitat: el potencial català ja es troba explotat en més del 90%. Des de la primera central de Sant Antoni, a Tremp, al llarg del segle XX s'han implantat molts aprofitaments d'energia hidroelèctrica en tota la geografia catalana, tant a partir de grans embassaments com de la minihidràulica. La voluntat d'estendre cabals ecològics que garanteixin una qualitat ambiental mínima durant tot l'any als rius catalans limita els possibles nous aprofitaments. D'aquesta manera es calcula que, encara que a llarg termini s'aprofités tot el potencial hidràulic del país, difícilment es podrien instal·lar més de 160 MW de potència elèctrica addicional als actualment instal·lats, que generarien un màxim de 570 GWh addicionals (0,05 Mtep).

Els límits de la biomassa vénen donats per l'aportació energètica natural –a través de la insolació i de la pluviometria–, així com per la qualitat del sòl. Un país com el nostre amb poca pluja i una insolació mitjana presenta limitacions evidents. Així, com a exemple, si tota l'energia consumida a Catalunya l'aportés la biomassa forestal, cadria obtenir del bosc 75 milions de tones de fusta, quantitat que és 30 vegades superior al creixement anual de la massa forestal catalana. Amb la tecnologia actual i les evolucions previstes a curt ter-

mini, l'aprofitament de la biomassa forestal difícilment permetria obtenir valors superiors als 0,25 Mtep anuals. En el cas dels conreus energètics per a l'obtenció de biocombustibles podrien assolir-se economies d'escala si s'associessin a l'operació finalitats de bona gestió territorial (preservació de sòls, manteniment de la població rural, protecció del paisatge, etc.). Això permetria arribar a obtenir 0,26 Mtep a partir de biocombustibles autòctons –aquesta partida és relativament més fàcil d'incrementar mitjançant la importació de materials des de països tropicals. A partir de residus ramaders es poden obtenir fins a 0,14 Mtep, mentre que a partir de residus municipals biodegradables se'n poden obtenir 0,1. La biomassa agrícola permetria obtenir 0,07 Mtep anuals, mentre que altres aprofitaments d'aquests residus permetrien arribar a obtenir 0,3 Mtep en forma de biogàs. Així doncs, el potencial global anual de la biomassa en l'horitzó 2030 difícilment superarà els 1,1 Mtep.

Els altres sistemes d'obtenció d'energia per via no reactiva (renovable) podrien generar valors no significatius, d'un ordre inferior al 0,1 Mtep anual per a cadascun dels sistemes d'obtenció (captació solar tèrmica per a usos tèrmics, captació solar tèrmica per a electrogeneració, captació solar fotovoltaica i energia geotèrmica). En conseqüència, l'aportació màxima de les energies renovables en l'horitzó 2030 seria de l'ordre dels 2-2,5 Mtep addicionals als actuals. Un aprofitament més gran, de l'ordre aproximat de 0,5 Mtep addicional, només seria possible mitjançant l'increment de l'aprofitament energètic de la fracció fòssil dels residus municipals.

A banda de la intervenció en el sector de l'obtenció d'energia de fonts renovables, des de Catalunya es poden promoure generacions no convencionals, com la cogeneració –tant en el sector industrial com en el primari, així com en el residencial o els serveis–, àmbit en què de fet ja s'hi ha intervingut fa anys.

En definitiva, la capacitat d'intervenció des de Catalunya en l'àmbit de les fonts primàries d'energia és limitada, tant per l'absència de materials energètics fòssils o radioactius, com pels límits potencials naturals de l'aprofitament de les energies renovables. En qualsevol cas, la capacitat d'intervenció en aquests àmbits també haurà de considerar els límits que la societat s'autoimposi d'acord amb nous valors emergents a nivell mundial. En efecte, malgrat una capacitat d'intervenció teòricament alta en certs àmbits, el suport o el rebuig social a certs tipus de sistemes i plantes de generació elèctrica, com l'energia nuclear, la incineració dels residus, els aerogeneradors, etc., serà determinant.

Sobre la demanda

En l'àmbit de la demanda, la capacitat d'intervenció des de Catalunya és alta. Els agents que hi poden intervenir són múltiples, des de les diverses administracions fins a tot tipus d'agents empresarials (grans empreses comercialitzadores, empreses consumidores –especialment les intensives en energia–, enginyeries, consultories, constructores, etc.), agents socials (associacions de consum, col·legis professionals, etc.) i, també, persones físiques.

Les vies d'actuació sobre la demanda són molt més diverses que en la resta d'àmbits del sistema energètic, perquè a banda de les disposicions legislatives i de les planificacions executives, la sensibilització i la conscienciació individual hi tenen un paper molt important. Des de Catalunya es pot intervenir de manera força elevada en relació a la fiscalitat i als models territorial i social, tenint en compte les limitacions d'un món cada vegada més global, en què les tendències locals (models social o territorial) són induïdes en molt bona mesura per factors internacionals. Tanmateix, la capacitat legislativa i executiva en els models territorials i socials que configuren el sistema energètic és plena. El consum també es veu induït per la tecnologia, aspecte en què la capacitat d'intervenció des de Catalunya és mitjana, i pel model econòmic, aspecte en què la capacitat d'intervenció és petita.

En relació a la tecnologia, un aspecte primordial es la capacitat de R+D relacionada amb el sistema energètic. Malgrat que la gran indústria catalana domina força les tecnologies energètiques, Catalunya no disposa d'enginyeries punteres en tecnologies energètiques ni centres de R+D significatius. Una de les actuacions que es proposa capgirar aquesta situació és el Campus Tecnològic i Empresarial del Besòs (CTEB), al sector 22@bcn.

4.1.2. La visió tendencial en l'horitzó 2030

En una visió tendencial en l'horitzó 2030, Catalunya tindrà aproximadament 8.500.000 habitants³¹, 3,2 milions de llars residencials i el seu PIB haurà crescut a un ritme mitjà anual d'un 2,3%. Se suposen uns preus relativament elevats del petroli (60-70 \$/bl) durant tot el període, especialment a partir de 2010.

³¹ D'acord amb un estudi d'Anna Cabré, directora del Centre d'Estudis Demogràfics (CED), fet públic el 09.02.05.

Si s'assumís un creixement tendencial d'acord amb els consums reals dels darrers vuit anys –increment del consum d'electricitat en un 5% de mitjana i de combustibles secundaris d'un 3,5% anual– Catalunya podria arribar a consumir 35 Mtep d'energia final el 2030, cosa que representaria 2,6 vegades el consum actual (any 2000), assolint un consum d'energia primària per persona de l'ordre de 7 tep/any, al llindar del consum per persona actual dels EUA.

Tanmateix, aquest creixement sostingut dels darrers anys no pot extrapolar-se linealment per als propers vint-i-cinc anys. El preu creixent de l'energia (comparat amb el preu decreixent en valors reals de l'electricitat dels darrers anys) i la consideració de les visions tendencials de l'AIE o de la UE fan inversemblant una visió tan extrema. Per això es pot assumir una visió tendencial que mantingui una tendència global creixent semblant a les previstes en altres prospectives. No es consideren d'entrada, però, possibles trencaments tecnològics ni mesures d'estalvi importants relacionades amb l'aplicació del protocol de Kioto que comportessin reduccions significatives en el consum energètic.

D'aquesta manera, s'estima un consum tendencial d'energia final en l'horitzó 2030 de l'ordre de 25 Mtep, cosa que representa un increment del 80% en el període 2000-2030. La demanda del transport seria de 8,3 Mtep (envers els 5,2 Mtep de l'any 2000) i la del sectors residencial i terciari de 3,3 Mtep (envers els 1,8 Mtep de l'any 2000). El consum d'energia primària per càpita se situaria en 4,6 tep/hab·any l'any 2030, força per sobre dels valors de l'any 2000 (3,6 tep/hab·any), mentre que la demanda d'energia final assoliria els 2,9 tep/hab·any front els 2,2 tep/hab·any de l'any 2000. La intensitat energètica evolucionaria de manera semblant a la mitjana espanyola, baixant significativament en l'àmbit industrial i de manera més limitada en els àmbits del transport, residencial i terciari.

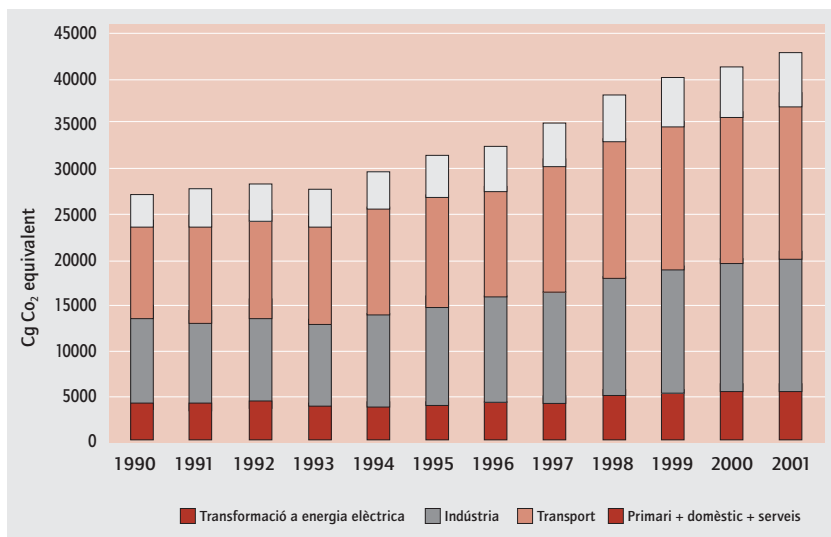
El creixement de les energies renovables podria ser important en relació a la situació d'avui dia, amb uns 7.000-8.000 MW de potència instal·lada d'energia eòlica i generació elèctrica a partir de biomassa i purins, i aportacions importants de biocombustibles i energia solar tèrmica. Tanmateix, com s'ha esmentat en l'apartat anterior, l'aportació màxima de les energies renovables en l'horitzó 2030 s'estima de l'ordre dels 2,5 Mtep addicionals als actuals. Una aportació més important requeriria la importació a gran escala de materials energètics biodegradables (bioetanol, biomassa forestal, etc.).

I, tanmateix, el consum d'energia elèctrica pràcticament es doblaria en el període 2000-2030, de manera que, encara que es consideressin totes les centrals transformadores d'energia actuals, les projectades de cycle combinat i el màxim potencial d'energies renovables, es tindrien moltes dificultats per cobrir tota la demanda de consum elèctric, per la qual cosa caldria importar electricitat generada fora del país.

4.1.3. Les disfuncions generades per la tendència

Catalunya, plenament integrada en la societat occidental, compartiria plenament les disfuncions globals generades pel sistema energètic en l'horitzó tendencial 2030, recollides a 3.3.1. Quant a l'obtenció d'energia, una evolució d'acord amb la tendència actual implica la confirmació d'un model energètic progressivament més dependent

Figura 4.3. Aportació sectorial de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya durant el període 1990-2001.



Font: BALDASANO, J.M.; PARRA, R.; LÓPEZ, E. (2005); "Estimació de les emissions amb gasos amb efecte d'hivernacle produïts a Catalunya durant el període 1990-2001." En: Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya. Barcelona: CADS, Generalitat de Catalunya.

de recursos externs, ja que la major part de l'increment d'energia seria suportat pels combustibles fòssils. L'energia provinent de fonts externes representaria més del 85% del total.

Aquesta dependència de fonts externes faria el país més susceptible a una crisi energètica, ja sigui de preus o per talls en el subministrament. Encara que no s'arribés a una crisi energètica severa, el previsible encariment continuat dels materials energètics importats seria un llast important per a l'economia local, atès que són diners que deixen d'estar disponibles per als ciutadans i que van a engruir les rentes dels països productors de combustibles fòssils. En definitiva, els nivells de seguretat baixarien per l'augment de la dependència i per les inestabilitats previsibles al voltant del mercat dels combustibles fòssils.

L'actual sistema d'instal·lacions generadores d'electricitat tindria moltes dificultats per assumir la demanda en l'horitzó 2030, raó per la qual s'hauria d'importar l'energia o bé augmentar les centrals generadores, i ampliar la capacitat i la vida útil de les existents.

D'altra banda, les emissions fòssils quedarien lluny dels objectius marcats al protocol de Kioto, amb les conseqüències ambientals i de governabilitat global (derivades del no compliment de tractats internacionals). Catalunya igualaria les emissions per càpita mitjanes de la UE-15 en un horitzó 2010-2015, i les arribaria a superar àmpliament en l'horitzó 2030. I, previsiblement, la disminució de la qualitat dels hidrocarburs emprats empitjoraria les condicions atmosfèriques locals.

Quant a la demanda, els creixements més importants es produïrien en als àmbits domèstic i transport. En l'àmbit domèstic i de sector terciari, per una generalització extrema d'estàndards de consum elevats i la generalització de l'aire condicionat. El creixement del transport s'explica en gran mesura per l'augment de la mobilitat personal, però també per un augment significatiu del transport de mercaderies –d'acord amb la voluntat actual d'esdevenir una plataforma logística del Sud d'Europa– i per la generalització d'un model territorial difús i inaccessible, i d'uns hàbits socials i individuals que incorporen el cotxe privat com un complement imprescindible. Les disfuncions no només serien ambientals, sinó també de qualitat de vida: el col·lapse circulatori causat per la generalització del transport privat i el progressiu trossejament del territori per les successives infraestructures viàries només en són dos exemples.

4.2

La transició cap a un escenari sostenibilista

La visió tendencial mostra, en l'horitzó 2030, un increment del 70% en el consum d'energia final a Catalunya respecte de l'any 2000, fins a arribar al voltant de 23 Mtep. Els sectors del transport i dels serveis, així com el consum domèstic, experimentarien els màxims increments. Aquesta situació agreujaria, tant a nivell global com a nivell local, les actuals disfuncions socioeconòmiques i ambientals del sistema energètic. Per això, d'acord amb els principis sostenibilistes, caldria revertir-la, en el benentès que l'any 2030 tot just s'estaria a mig camí del procés de transició. En conseqüència, la prioritat en l'horitzó 2030 és identificar els elements clau que permetin la reversió de la tendència i, per tant, una reducció progressiva del consum.

4.2.1 Els escenaris exploratoris de demanda

Per identificar aquests elements clau s'ha analitzat l'evolució del sistema energètic a Catalunya en l'horitzó 2030 mitjançant la definició i estudi de quatre escenaris exploratoris diferents. Els escenaris inclouen les diferents variables del sistema energètic, amb un èmfasi especial en les que permeten concretar la transició cap a la visió sostenibilista del sistema energètic. La modelització d'aquests escenaris no s'ha d'entendre com un objectiu per a conèixer les magnituds exactes del sistema energètic futur, sinó com una eina per a identificar les principals dimensions de les evolucions futures, així com entendre les interrelacions entre els principals agents i variables a l'hora de configurar la situació futura (vegeu 1.1.2).

Els escenaris exploratoris s'han centrat en l'àmbit de la demanda d'energia, degut a dos factors. En primer lloc, les actuacions en la transformació i distribució d'energia poden aportar millores en els

consums d'energia primària total, però no poden provocar canvis de tendència; aquests només s'aconsegueixen si s'afecta el consum. La gestió de la demanda és l'única via per aconseguir una estabilització del consum energètic. Atès que la visió sostenible pre-tén un canvi important de tendència –i del mateix sistema energètic–, sembla més raonable centrar els esforços en aquest àmbit. En segon lloc, cal assenyalar que aquest plantejament, aplicable a qualsevol país del món, és especialment escaient per a Catalunya, atès que la capacitat d'intervenció des de Catalunya en l'àmbit de les matèries primeres energètiques és molt limitat, com s'ha explicat en el capítol anterior. Cal centrar els esforços en els aspectes en què la capacitat d'intervenció sigui més gran, en aquest cas l'àmbit de la demanda.

S'han elaborat quatre escenaris exploratoris de demanda, considerant diferents valors per a les variables relatives als sectors domèstic, productiu i transport. Les variables considerades, enteses com a variables de possible estalvi en relació a l'escenari tendencial, han estat les següents:

- *Sectors productius (industrial, primari i terciari)*: intensitats energètiques dels sectors industrial, primari i terciari, i aportació de cada sector al PIB (en %).
- *Sector transport*: quant al transport de persones, la proporció de persones que es desplacen (relacionat amb l'accessibilitat i, en definitiva, amb el nivell de compacitat i complexitat dels sistemes urbans), la proporció de desplaçaments en transport col·lectiu i privat, la proporció de vehicles diesel i gasolina, l'ocupació mitjana dels turismes, la proporció de vehicles amb motors híbrids, de poca potència, de mitjana potència i d'elevada potència (cotxes esportius i tot-terrenys) i el seu consum mitjà, la proporció de bioetanol i biodiesel, i la proporció d'autobús i tren i el seu consum. Quant al transport de mercaderies, les variables considerades han estat la proporció d'ús de la carretera (camió) i del ferrocarril i els consums mitjans de cadascun d'aquests sistemes. També s'han considerat altres paràmetres que incideixen sobre els anteriors, com la reducció dels límits de velocitat a les carreteres (i el seu compliment estricte) o la taxa-ció important els vehicles amb motors de potència elevada.
- *Sector domèstic*: estalvi en llars noves a través de l'aplicació avançada de la directiva 2002/91/CE, estalvi en llars rehabilitades a través de l'aplicació avançada de la mateixa directiva i penetració d'electrodomèstics molt eficients (A, A+, etc.).

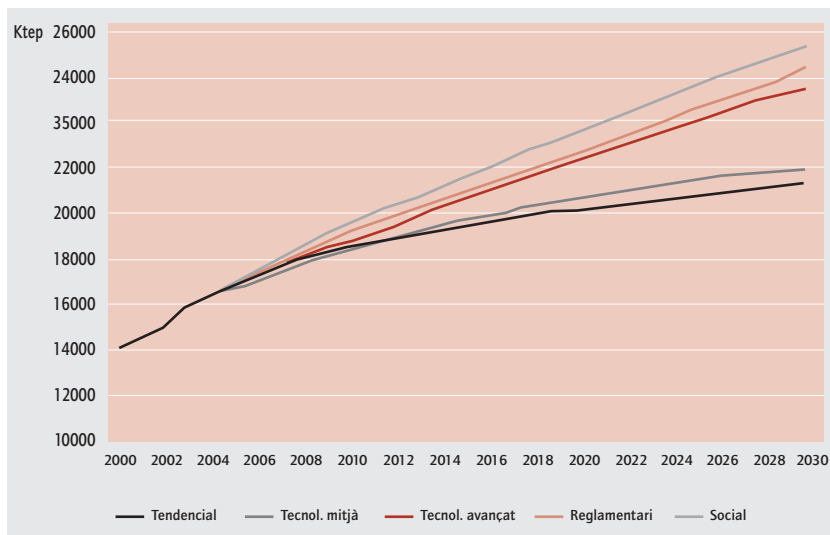
Els escenaris elaborats i les suposicions que segueixen cadascun són:

- *Tecnològic mitjà*: es preveu una evolució tecnològica continuada. No es produeixen trencaments.
- *Tecnològic avançat*: es preveu un ritme d'innovació tecnològica superior a *Tecnològic mitjà*, incloent-hi l'existència de trencaments tecnològics importants.
- *Reglamentari*: es preveu un aprofitament màxim de les eines legislatives, tant d'existents com de noves, per afavorir l'estalvi i l'eficiència energètica.
- *Social*: es preveu un canvi important del model social, orientat cap a la sostenibilitat.

Aquests quatre escenaris s'han analitzat en relació a l'escenari tendencial en l'horitzó 2030 (vegeu 4.1.2). Els escenaris són totalment complementaris entre ells: cap no inclou els plantejaments dels altres (excepte *Tecnològic avançat*, que sí que assumeix *Tecnològic mitjà*).

Globalment, els màxims estalvis energètics es produeixen mitjançant una estratègia social (escenari social) i una estratègia tec-

Figura 4.4. Evolució del consum final d'energia a Catalunya en l'horitzó 2030 en l'escenari tendencial i en els 4 escenaris exploratoris de gestió de la demanda analitzats.



Font: elaboració pròpia

nològica avançada (escenari *Tecnològic avançat*), que permetrien assolir estalvis de l'ordre de 4 Mtep en relació a l'escenari tendencial. Aquests escenaris tendeixen a estabilitzar (tot i que no disminuir) la demanda per càpita en l'ordre de 2,2 tep/hab·any (la mateixa que l'any 2000). En canvi, l'estratègia reglamentària i l'estratègia tecnològica simple provocarien estalvis més petits, de l'ordre d'1-1,5 Mtep, amb una demanda final de 2,5-2,6 tep/hab·any, i no serien capaces, per elles mateixes, de revertir la tendència d'increment del consum energètic.

En els sectors productius, els màxims estalvis (29%) s'aconseguirien mitjançant estratègies tecnològiques avançades (escenari *Tecnològic avançat*), que comportarien estalvis importants sobretot en el sector industrial, tant en els sectors intensius en energia com en els que ho són menys. En el sector terciari tindrien especial efecte les estratègies reglamentàries sobre els edificis, derivades de l'aplicació de la directiva 2002/91/CE i de posteriors més avançades sobre edificis d'oficines i de serveis.

En el sector del transport, els estalvis més grans (44%) s'obtidrien mitjançant estratègies socials que disminuïssin els desplaçaments totals, mitjançant accions com una ocupació dels turismes més grans, una aposta personal pel transport col·lectiu en detriment del transport privat o la decisió de viure i treballar en àmbits urbans accessibles en què la majoria de desplaçaments es puguin fer sense necessitat de vehicles. També estaria relacionat amb una proporció d'automòbils híbrids en la flota d'automòbils important com a conseqüència d'una sensibilització més gran dels consumidors.

Un escenari normatiu agosarat també podria aconseguir estalvis importants (12%), com a conseqüència de l'aplicació estricta de la directiva 2003/30/CE, relativa a l'ús de biocarburants en el transport, i d'altres normes relatives a la reducció de la velocitat màxima permesa i a la incorporació d'una fiscalitat especial per a vehicles amb consums excessius (cotxes esportius i vehicles tot terreny).

Un escenari tecnològic avançat també podria permetre estalvis relativament importants (13%), ja que permetria incorporar vehicles amb motors de combustió interna més eficients i noves generacions de vehicles híbrids (cosa que també afectaria el transport de mercaderies i el transport col·lectiu). Uns resultats importants en la innovació tecnològica es traduirien en baixada de preus i, en conseqüència, les noves alternatives als automòbils tradicionals ja no serien exclusives per a la població amb poder adquisitiu elevat.

En el sector residencial, els màxims estalvis s'aconseguirien mitjançant estratègies normatives (22%) i socials (25%). Ambdues vies no són excloents: les disposicions normatives poden consolidar i accelerar un canvi de comportament. En els dos casos, a través d'actuacions concretes i amb inversions relativament petites es poden aconseguir estalvis significatius. En el cas de l'escenari social, pren protagonisme el comportament individual de les persones, atès que una conscienciació social més gran comporta una predisposició més intensa a limitar consums innecessaris però també a fer inversions individuals per instal·lacions energèticament més eficients (electrodomèstics, calderes, etc.). Els avenços en l'escenari reglamentari es justifiquen per les possibilitats d'estalvi en les llars associades a normatives d'estalvi energètic en els edificis, derivades de l'aplicació de la directiva 2002/91/CE i de posteriors més avançades en aquest sentit sobre habitatges nous i rehabilitats.

4.2.2. Les principals conclusions dels escenaris

Els escenaris que s'han presentat demostren que els canvis de tendència pel que fa a la demanda són possibles i es poden aconseguir per diverses vies. Moltes de les mesures considerades no representen sacrificis importants per als agents econòmics i socials, i en tot cas el que resulta rellevant és que l'esforç que puguin representar no és comparable ni quantitativament ni qualitativament a les conseqüències que pot tenir la inacció en matèria energètica (i el posterior esforç amb unes condicions ben diferents). Tanmateix, sí que demanen una acció decidida i transversal.

L'anàlisi dels escenaris posa de manifest de manera destacada la importància dels canvis socials a l'hora d'assolir estalvis significatius en la demanda energètica. La limitació del consum serà possible si es produeix un canvi substancial dels valors individuals i col·lectius en l'horitzó 2030. Un canvi d'aquestes magnituds afectaria tots els sectors, però especialment el sector del transport i el residencial, que són precisament els que es preveu que augmentin més el consum en les properes dècades.

També s'ha posat de relleu la magnitud de l'estalvi que es pot aconseguir mitjançant inversions tecnològiques avançades (escenari *Tecnològic avançat*). Les inversions tecnològiques en la demanda podrien aconseguir estalvis energètics significatius (de 3-4 Mtep)

en relació a l'escenari tendencial. Així mateix cal destacar les possibilitats d'estalvi en els sectors residencial i serveis mitjançant disposicions normatives que limitin el consum energètic dels habitatges i facin possible etiquetes energètiques d'edificis. L'avenç en aquest àmbit requerirà de R+D en àmbits com ara l'estalvi passiu i l'eficiència energètica global dels edificis mediterranis, els sistemes de refrigeració a partir de l'absorció de calor (entre d'altres, mitjançant plafons solars) i, eventualment, la cogeneració amb *district-cooling* per a grans àrees de serveis.

Les mesures més eficients en el sector residencial són les relacionades amb la Directiva 2002/91/CE, seguides de l'ús d'electrodomèstics eficients. En l'aplicació de la Directiva, s'aconseguirien estalvis molt més grans actuant sobre els habitatges de nova construcció que en la reforma dels ja existents (1,5 enfront de 0,5 Mtep l'any 2030).

Un desplaçament de l'economia cap al sector serveis, amb la consegüent baixada dels sectors industrial, no comportaria canvis importants amb la despesa dels sectors productius (un 2,5% el 2030 respecte del tendencial considerant una baixada del sector industrial del 38 al 32%).

En el sector del transport, cal destacar la importància del model territorial a l'hora de configurar el consum energètic del futur. Un model compacte i complex facilita l'accessibilitat, cosa que fa minimitzar els desplaçaments motoritzats; a la vegada, aquest model facilita l'ús del transport col·lectiu perquè en millora la seva eficiència a l'hora d'aconseguir economies d'escala en la concentració d'usuaris. D'altra banda, també cal destacar l'eficàcia energètica d'alguna actuació concreta d'origen tecnològic, implementada mitjançant un canvi social, com ara la generalització dels vehicles híbrids.

Finalment, cal fer esment que no s'han considerat combinacions de mesures de diferents escenaris, ni la retroacció entre ells. L'actuació simultània sobre els quatre àmbits permetria aconseguir sinèrgies entre les diverses mesures per assolir, en eventuais escenaris avançats, canvis en la tendència i, en conseqüència, reduccions del consum energètic globals i per persona.

4.3

Les bases d'una política sostenibilista

L'assoliment d'un escenari sostenibilista que situï el consum endogen entorn de 2 tep/hab · any, tot garantint els serveis necessaris, és una tasca ingent que durarà diverses dècades. La prioritat a curt i mitjà terminis és revertir la tendència de creixement del consum mitjançant una transició energètica que comenci a fer disminuir el consum per persona. Serà una comesa tan convenient com difícil i poc popular, clarament contrària a la tendència, per a la consecució de la qual caldria posar ja des d'ara les primeres bases.

En termes de consum, doncs, l'objectiu de la política sostenibilista catalana podria ser assolir a llarg termini aquesta limitació del consum endogen d'energia primària. Òbviament es tracta d'un objectiu ambiciós i gens esperable sense un canvi cultural i polític important. En qualsevol cas, per avançar cap a un sistema energètic sostenibilista, els elements clau de la política energètica de Catalunya haurien de ser els següents en l'horitzó 2030:

1. *La base principal d'una política energètica sostenibilista és contenir de manera efectiva la demanda.* Les inversions tecnològiques en la demanda (enfocades a la reducció del consum) seran molt més eficients en l'avenç cap a la visió sostenibilista del sistema energètic que les inversions tecnològiques en l'aprofitament de les energies renovables, que sempre tindran un resultat limitat i no contrariaran la tendència energívora de la nostra societat. L'anàlisi dels apartats anteriors ho deixa clar: en una situació hipotètica ideal en què es poguessin construir totes les instal·lacions necessàries (situació que en aquests moments no es dona), l'aportació màxima de les energies reno-

vables en l'horitzó 2030 s'estima de l'ordre de 2 Mtep addicionals als actuals, envers un creixement tendencial del consum d'energia primària de 9-10 Mtep. Per contra, les polítiques agosarades de gestió de la demanda permetrien reduir el consum en relació a la tendència en 4-5 Mtep o més, en funció de les sinèrgies entre els factors socials i els tecnològics.

2. *La disminució de la intensitat energètica és igualment capital*, com a expressió d'un sistema productiu cada vegada més eficient, capaç de generar la màxima riquesa amb el menor consum energètic possible. Als països occidentals la intensitat energètica disminueix esperançadorament entre un 1,2 i un 1,4% cada any, però a Catalunya segueix augmentant.
3. *La configuració d'un model social avançat és l'element més decisiu d'entre els elements de limitació de la demanda energètica*. Un model social amb l'objectiu de configurar uns valors individuals i col·lectius que posin en valor el fet d'autoimposar-se límits de demanda energètica. Aquest nou model social només serà possible gràcies a un canvi cultural, que s'hauria de recolzar en infraestructures col·lectives i en eines normatives, com ara la fiscalitat desincentivadora i la incorporació de l'eficiència energètica a les licitacions de la mateixa administració.
4. *La constitució d'un model territorial compacte i complex és la segona eina bàsica de limitació de la demanda*, atès que el sistema territorial determina la majoria de paràmetres relacionats amb el sector del transport i el sector residencial. La planificació territorial, el planejament urbanístic i la planificació sectorial són les eines que permeten definir a mitjà i llarg terminis un model territorial compacte i complex diferent de l'actual.
5. *La fiscalitat desincentivadora del sobreconsum és una eina molt útil per fer viables certes opcions socials a mitjà termini*. La fiscalitat energètica hauria de penalitzar l'excés de consum i els usos especialment ineficients, com ara l'ús de vehicles tot terreny a les ciutats o l'ús excessiu de l'aire condicionat. Una de les eines fiscals més útils per limitar el consum és la tarificació per trams, ja existent al nostre país en relació al consum domèstic de l'aigua.

6. *L'establiment d'un sistema de certificació energètica dels edificis nous i rehabilitats*, que estableixi una eficiència energètica mínima per als nous edificis i els rehabilitats és clau per reduir el consum de dos dels sectors que l'incrementaran més, el residencial i el dels serveis. L'efervescència del sector de la construcció durant els darrers anys fa urgent aquesta mesura: cada habitatge que es construeix avui sense les suficients garanties energètiques representa mig segle de malbaratament. Així mateix, és imprescindible avançar la R+D en àmbits com l'estalvi passiu i l'eficiència energètica global dels edificis mediterranis, els sistemes de refrigeració a partir de l'absorció de calor (entre d'altres, mitjançant plafons solars) i, eventualment, la cogeneració amb *district-cooling* per a grans àrees de serveis.
7. *Els vehicles híbrids, la disminució del consum dels motors de combustió interna i l'ús de biocombustibles* destaquen com a apostes tecnològiques actuals clau en una estratègia a mitjà i llarg terminis en el sector del transport. Apostes tecnològiques que han de venir recolzades per la configuració dels nous models socials i territorials esmentats.
8. *El sector industrial serà el que disminuirà més la intensitat energètica*, degut tant a la millora contínua dels processos (de fet és el sector que ja ha efectuat més inversions en eficiència) com a certs canvis estructurals cap a l'elaboració de productes menys intensius energèticament. Un avenç que a nivell català s'ha d'estimular perquè traspassi amb més celeritat a la immensa xarxa de PIMEs que fins ara no han fet una aposta prou clara per l'eficiència. Un avenç que, a nivell de grans empreses, s'ha de continuar estimulants per avançar cap al tancament de cicles, considerant sistemes d'ecologia industrial que permetin minimitzar els residus i el consum de matèries primeres i energia.
9. *La segona base de la planificació estratègica a llarg termini és l'aprofitament de totes les energies renovables locals*. Ateses les dimensions de la demanda energètica prevista en l'horitzó 2030, fins i tot en el cas d'una reducció de la demanda no té sentit desapropiar cap font d'energia autòctona. Tanmateix, aquelles que poden oferir aportacions més grans en un horitzó a mitjà termini són l'eòlica (especialment els possibles aprofitaments off-

shore), els biocombustibles (Catalunya podria estar ben posicionada per fer R+D en millora genètica dels conreus energètics), l'aprofitament tèrmic de la biomassa i la termosolar.

10. *L'aprofitament de totes les fonts energètiques també comporta una aposta per la diversificació energètica*, com a garantia de seguretat front a eventuais disruptions de subministrament. L'estructura energètica catalana és especialment sensible a discontinuïtats d'abastament del petroli i del gas natural. Amb un panorama energètic mundial creixentment incert i inestable, convé fer inversions que garanteixin una màxima diversificació i una alta seguretat, com ara la connexió amb els gasoductes centreeuropeus, entre d'altres connexions de xarxa energètica. També cal garantir la robustesa de la xarxa elèctrica, entre d'altres raons per permetre l'aparició de nous agents que aprofitin les noves possibilitats d'un model més distribuït.
11. *Els preus de l'energia haurien d'internalitzar la totalitat del cost*, inclosos els costos ambientals actualment no contemplats. S'hauria d'incentivar encara més la taxació (combustibles fòssils) i la subvenció (energies renovables) de certs productes energètics, però sempre amb un rigorós balanç triple: un balanç energètic, un balanç econòmic i un balanç ambiental.
12. *Tot això només serà possible a través d'un model de coneixement que incorpori l'energia com a corpus central*. Un model de coneixement basat en el rigor acadèmic però també en l'experiència pràctica. Un model de coneixement que incorpori nova formació transversal sobre l'energia en les titulacions existents i noves titulacions universitàries quan calgui, nous centres de recerca bàsica i aplicada d'ambició i dimensió suficient com per posicionar-se en un món global, que possibiliti la consolidació d'enginyeries energètiques d'abast global i que faciliti una extensió de la nova cultura energètica al conjunt dels consumidors.

Cal subratllar molt especialment que aquests principis sostenibilistes són els de la cultura post-industrial, no pas els d'una, en termes de futur, ja inconcebible posició pre-industrial. Catalunya abraça la cultura industrial en ple segle XIX i hi excel·lí ben aviat, fins al punt que no es podria explicar la seva realitat nacional

moderna sense la industrialització i les mutacions socials i econòmiques que dugué aparellades. A l'aprofitament menestral directe de les energies capturables (molins de vent, rodes hidràuliques, etc.), efectuat ja des d'èpoques pre-industrials, seguiren les primeres màquines fixes de vapor, les plantes de gas Lebon per a l'enllumenat³², el primer ferrocarril peninsular³³ o les agosarades primeres centrals hidroelèctriques dels Pirineus³⁴. El sostenibilisme representa la continuació d'aquest mateix esperit de transformació adequada, tan allunyat de la impossible perpetuació de l'industrialisme metal·lúrgic del segle XIX que suposaria el manteniment de l'esgotat model actual, com dels principis fonamentalistes de l'anomenada ecologia profunda. El sostenibilisme és progrés eficient, o sigui positiva transformació solidària. Tanmateix, al menor cost energètic.

³² La Societat Catalana per a l'Enllumenat per Gas fou fundada a Barcelona l'any 1843 com a culminació dels assaigs iniciats per Joan Roura l'any 1826.

³³ El ferrocarril Barcelona-Mataró, promogut per Miquel Biada, entrà en servei el 28 d'octubre de 1848.

³⁴ La companyia Barcelona Traction Light and Power Co. Ltd., 'la Canadencà', fundada per Frederick Stark Pearson l'any 1911, inicià aquell mateix any les obres de l'embassament de Sant Antoni o Talarn (Trem) i començà la producció hidroelèctrica l'any 1916.

Referències bibliogràfiques

- AGÈNCIA EUROPEA DE MEDI AMBIENT (2004); *Biocarburantes en el transporte: las relaciones con los sectores de la energía y de la agricultura*. Copenhague: EEA [Briefing en versió digital].
- AGÈNCIA EUROPEA DE MEDI AMBIENT (2004); *Greenhouse gas emission trends and projections in Europe*. Copenhague: EEA [versió digital].
- AUMA (2000). *Impactos ambientales de la producción eléctrica: análisis de ciclo de vida de ocho tecnologías de generación eléctrica*. Madrid: IDAE
- BALDASANO, J.M.; PARRA, R.; LÓPEZ, E. (2005); “Estimació de les emissions amb gasos amb efecte d’hivernacle produïts a Catalunya durant el període 1990-2001”. En: *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: CADS, Generalitat de Catalunya.
- BOISSON, P. (1998); *Énergie 2010-2020. Les chemins d’une croissance sobre*. Paris: Commissariat Général du Plan.
- Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2001). *Energieszenarien bis 2020*. Viena: BMLFUW [versió digital]
- COMISSIÓ EUROPEA (2001); *Libro verde. Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético*. Luxemburg. [versió digital].
- COMISSIÓ EUROPEA (2002); *Libro blanco. La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad*. Luxemburg. [versió digital].
- COMISSIÓ EUROPEA (2003); *European energy and transport trends to 2030*. Luxemburg. [versió digital].
- COMISSIÓ EUROPEA (2003); *World energy, technology and climate policy outlook 2030 (WETO)*. Consell General de Recerca: Luxemburg [versió digital].
- COMISSIÓ EUROPEA (2004); *Sustainable energy. The hydrogen fairy*. Revista RTD info: magazine on European research.
- DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT FOOD AND RURAL AFFAIRS, UK (2004); *Energy efficiency: the Government’s plan for action*. Norwich [versió digital].
- DEPARTMENT OF ENERGY, EUA (2004); *International energy outlook 2004*. Washington: Energy Information Administration (EIA) [versió digital].
- DEPARTMENT OF TRADE AND INDUSTRY, UK (2000); *Energy paper 68: energy projections for the UK*. Londres [versió digital].

- DEPARTMENT OF TRADE AND INDUSTRY, (UK) (2003); *Energy white paper. Our energy future: creating a low carbon economy*. Norwich: TSO [versió digital].
- DIVERSOS AUTORS (2004); *La tecnologia: llums i ombres. Informe 2004 de l'Observatori del Risc*. Barcelona: Institut d'Estudis de la Seguretat.
- DOUTHWAITE, R. (ed.) (2004); *Before the wells run dry: Ireland's transition to renewable energy*. Dublin: Foundation for the Economics of Sustainability (FEASTA) [versió digital].
- EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL (2004); *Renewable energy scenario to 2040*. EREC. Brusel·les
- EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION (2004). *Wind energy: the facts. An analysis of wind energy in the EU-25*. Brussel·les: EWEA.
- EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION & GREENPEACE (2004). *Wind force 12. A blueprint to achieve 12% of the world's electricity from wind power by 2020*. Brussel·les: EWEA i Greenpeace.
- EXTERNE (2004); Externalities of energy, <http://www.externe.info/>.
- EXXONMOBIL (2004); *The outlook for energy, a 2030 view*. [Resum en versió digital].
- GARTNER, J. (22 desembre 2004); *Fuel-cell vehicles close the gap*. Revista *Wired news*. [versió digital].
- INSTITUT CATALÀ DE L'ENERGIA I DEPARTAMENT D'INDÚSTRIA, COMERÇ I TURISME (2002); *Pla de l'energia a Catalunya en l'horitzó 2010*. Barcelona: ICAEN; Generalitat de Catalunya.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (1996); *World energy outlook 1996*. París: OECD/IEA.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (1998); *World energy outlook 1999*. París: OECD/IEA.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2000); *World energy outlook 2000*. París: OECD/IEA.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2002); *Beyond Kyoto: energy dynamics and climate stabilisation*. París: OECD/IEA.

- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2002); *Renewable energy into the mainstream*. París: OECD/IEA [versió digital].
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2003); *Energy to 2050: scenarios for a sustainable future*. París: OECD/IEA.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2003); *Findings of recent IEA Works 2003*. París: OECD/IEA [versió digital].
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2003); *Integrating energy and environment goals*. París: OECD/IEA [versió digital].
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2004); *Biofuels for transport: an international perspective*. París: OECD/IEA.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2004); *Energy statistics manual*. París: OECD/IEA [versió digital].
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2004); *Key world energy statistics*. París: OECD/IEA [versió digital].
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2004); *World energy outlook 2002*. París: OECD/IEA.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2004); *World energy outlook 2004*. París: OECD/IEA.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2005); *Saving oil in a hurry*. París: OECD/IEA.
- LLEBOT, J.E.; JORGE, J. (dir.) (2005); *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya: resum executiu*. Barcelona: CADS, Generalitat de Catalunya.
- LOVINS, A.B. (2003); *Twenty hydrogen myths*. Rocky Mountain Institute. Colorado.
- LOVINS, A.B.; DATTA, E.K.; et. al. (2004); *Winning the oil endgame: innovation for profits, jobs and security*. Rocky Mountain Institute. Londres: Earthscan.
- MARZO, M. (2004); *Reservas: ¿cuántas y hasta cuándo?* a Temas para el debate núm. 120, Novembre de 2004. Madrid.
- MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, França (2004); *La division par 4 des émissions de dioxyde de carbone en France d'ici 2050*.
- MINISTRY OF ECONOMIC DEVELOPMENT, Nova Zelanda (2003); *New Zealand energy outlook to 2025*. Wellington [resum executiu en versió digital].

- PETERSEN, J.L.; ERICKSON, D.; KHAN, H. (2003); *A strategy: moving America away from oil*. Arlington, The Arlington Institute [versió digital].
- ROBERTS, P. (2004); *El fin del petróleo*. Barcelona: Ediciones B.
- SÁNCHEZ, L. (1997); *El gas: una energía limpia para el siglo XXI*. VI Fòrum Energètic. Barcelona: Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya.
- SCHEER, H. (2000); *Economía solar global: estrategias para la modernidad ecológica*. Barcelona: Galaxia Gutenberg.
- SMIL, V. (2003); *Energy at the crossroads: global perspectives and uncertainties*. Cambridge, Massachussets: MIT Press.
- TARRACH, R. (2004); *El futuro de la energía nuclear*, a *Temas para el debate* núm. 120, Novembre de 2004. Madrid.
- TEISSIÉ, J. (2004); *Le charbon et les centrales thermiques*. Document resum per a la conferència 'Energies et recherches' (Ecole doctorants) Fréjus. [versió digital].
- THE ECONOMIST (19 setembre 2002); *Clean coal's uphill haul*. Revista *The economist*. [versió digital].
- THE ECONOMIST (2 desembre 2004); *The rise of the green building*. Revista *The economist*. [versió digital].
- ULIED, A. (2003); *Catalunya cap al 2020: visions sobre el futur del territori*. Barcelona: ODECAT/CAT 21, Generalitat de Catalunya.
- WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (2004); *Facts and trends to 2050: energy and climate change*. Suïssa: WBCSD [versió digital].
- WORLDWATCH INSTITUTE (2001). *L'estat del món 2001*. Barcelona, Centre Unesco de Catalunya.
- WORLDWATCH INSTITUTE (2003). *Signes vitals 2003: les tendències que configuren el nostre futur*. Barcelona, Centre Unesco de Catalunya.
- WUPPERTAL INSTITUTE FOR CLIMATE, ENVIRONMENT AND ENERGY I GERMAN TECHNICAL COOPERATION (2004); *Towards sustainable energy systems: integrating renewable energy and energy efficiency is the key*. Document per a la conferència internacional 'Renewables 2004'. Wuppertal/Eschborn [versió digital].
- YNDURAIN, F. (2004). "Alternativas energéticas" a *Temas para el debate* núm. 120, Novembre de 2004. Madrid.

Glossari

aerogenerador

Dispositiu per a transformar l'energia cinètica del vent en electricitat o en qualsevol altre format energètic. Sol consistir en un generador elèctric solidari amb un rotor d'eix horitzontal proveït d'una hèlix de tres pales (el sistema més corrent) o amb un rotor d'eix vertical tipus Darreius.

biocombustible

Combustible obtingut a partir de matèria orgànica no fòssil, com el *biodiesel* (procedent de llavors oleaginoses o d'olis reciclats) o el *bioetanol* (alcohol de canya de sucre, blat de moro o remolatxa).

biomassa

Matèria orgànica forestal (llenya, estassades, residus fusters), agrícola (residus agroalimentaris, conreus energètics per a la producció de biocombustibles), ramadera (purins, fems, gallinassa) o d'altre origen (fangs de depuradora, olis vegetals usats) susceptible de fornir energia mitjançant una combustió.

carbon to liquid

Procés de conversió del carbó en alcohols líquids (CTL). La tecnologia CTL es basa en el procés Fischer-Tropsch, que utilitza carbó, vapor i oxigen com a matèries primeres i obté gas, una varietat de combustibles líquids i altres subproductes (també → *gas to liquid*).

carrier

Format energètic fàcilment transportable. L'electricitat és el *carrier* per antonomàsia: resulta de la transformació indistinta de fonts primàries d'energia (carbó, gas, petroli, aigua embassada...) i és fàcilment vehiculable i aplicable a usos diversos (motors, il·luminació, electrònica, calefacció...). L'hidrogen és un altre *carrier* amb futur.

cicle combinat

Procés de generació d'electricitat mitjançant una turbina de gas que aprofita l'escalfor residual per a generar vapor a son torn utilitzat per una segona turbina. Permet obtenir rendiments nets de fins el 57%, envers el 37% dels processos tèrmics convencionals.

CO_{2eq}

Simbolització d'equivalent de diòxid de carboni. És una unitat de mesura establerta al protocol de Kioto i aplicada als gasos amb efecte d'hivernacle que estableix la contribució potencial de cada un d'ells a l'escalfament global del planeta (GWP, *global warming potential*). Una tona de metà (CH₄) té un GPW 23 vegades superior al diòxid de carboni (CO₂) i, per tant, 23 CO_{2eq}. De la mateixa manera, els òxids de nitrogen (NO_x) suposen 296 CO_{2eq}, els diferents hexafluorurs de carboni (HFC) representen entre 140 i 11.700 CO_{2eq}, etc.

consum energètic

Quantitat d'energia invertida en els processos productius o de serveis. El *c. e. total* fa referència al consum global d'un determinat país o comunitat, mentre que el *c. e. endogen* es refereix a l'energia esmerçada en les seves necessitats pròpies (correspon al consum energètic total menys l'energia destinada a la generació de productes o serveis destinats a l'exportació [*c. e. exogen*], més l'energia incorporada en els productes o serveis importats).

CTL

Sigles de *carbon to liquid* (→ *carbon to liquid*).

CTCC

Sigles de de central tèrmica de cicle combinat (→ cicle combinat).

demanda energètica

Quantitat d'energia sol·licitada pels processos productius o de serveis. Cal diferenciar la *d. e. primària* (petroli, gas,...) de la *d. e. final* (energia lliurada als consumidors per al seu aprofitament, sense considerar les pèrdues experimentades en els processos de transformació, transport en línies elèctriques, etc.).

efecte d'hivernacle

Fenomen de retenció diferencial de radiacions reflectides a càrrec d'un medi semitransparent que envolta el cos reflector i que en provoca l'escalfament. Es dona en els hivernacles (que en això es basen i d'aquí ve el nom de l'efecte): quan les radiacions solars travessen el vidre, són parcialment capturades pels materials de l'interior i parcialment reflectides cap al vidre, que no és transparent a les noves freqüències. L'atmosfera fa de vidre respecte de la

Terra i gràcies a aquest efecte d'hivernacle hi és possible la vida. L'emissió massiva de diòxid de carboni a causa de les combustions, de metà i d'altres gasos que modifiquen la permeabilitat de l'aire davant de radiacions reflectides d'unes determinades longituds d'ona (GEH) exalta l'efecte d'hivernacle natural i provoca un sobreescalfament del planeta, amb la consegüent alteració del règim atmosfèric (vents i precipitacions) i finalment del clima.

eficiència energètica

Relació entre l'energia útil obtinguda mitjançant un procés energètic i l'energia continguda en els materials energètics utilitzats. Afecta tant la transformació, com la distribució i els aparells de consum.

energia

Capacitat d'un sistema físic per a produir treball. El terme és amfibòlic, perquè tant designa el fenomen físic, com les seves expressions mecàniques (p. e. energia cinètica), com els formats en què es vehicula (p. e. energia elèctrica).

En termes de consum, hom diferencia l'*e. primària*, que és l'energia no sotmesa a cap procés de conversió (p.e. la continguda al gas que arriba a una CTCC), de l'*e. secundària* o *e. final*, que és l'aplicada als processos productius o d'usuari (p.e. l'electricitat generada per aquesta CTCC i emprada a les llars o a la indústria). En funció del format o de la font, hom parla també d'*e. elèctrica* (hidroelèctrica, termoeelèctrica, eoeelèctrica o eòlica), d'*e. nuclear* (termonuclear [→ nuclear]), d'*e. solar* (termosolar, fotovoltaica [→ fotovoltaic]), d'*e. geotèrmica*, etc. També sol diferenciar-se l'*e. fòssil* (carbó, petroli, gas natural) de l'*e. renovable* o *lliure* (solar, eòlica, hidràulica), qualificada a vegades d'*e. alternativa*.

escenari prospectiu (o simplement escenari)

Conjunt de paràmetres i circumstàncies que se suposa fonamentadament que concorreran en un moment i en lloc donats. L'*e. tendencial* respon a una extrapolació lineal de les pautes actuals (què passaria si tot seguís comportant-se com fins ara). L'*e. exploratori* tracta d'establir situacions sotmeses a noves dinàmiques (què passaria si determinats paràmetres variessin d'unes determinades maneres). L'*e. normatiu* descriu la situació a què es voldria arribar (com voldríem que fossis les coses i què hauríem de fer per a aconseguir-ho). L'*e. de crisi* és una extrapolació no lineal en què

alguns dels paràmetres deixa d'actuar tendencialment i passa a comportar-se de manera molt indesitjable (què passaria si fallés completament tal cosa).

font energètica

Matèria primera (carbó, petroli, vent...) o procés elemental (generació hidroelèctrica) que forneix energia.

format energètic

Expressió que pren l'energia en termes del seu transport o utilització. Així, el format tèrmic d'una combustió esdevé format elèctric en una central termoeelèctrica.

fotovoltaic

Relatiu o pertanyent a l'efecte que transforma les radiacions lluminoses en electricitat.

gas natural

Hidrocarbur gasós (metà amb petites quantitats de propà i de butà) que sol acompanyar el petroli en els jaciments. És utilitzable de manera directa o bé en forma de *g. n. comprimit* (GNC), com l'emprat en automoció. Es transporta a llargues distàncies en forma de *g. n. líquat* (GNL), aconseguit per refredament sever (-161°C), aleshores producte líquid incolor d'un volum sis-centes vegades inferior al del gas natural ordinari.

gas líquat del petroli

Mescla de propà i de butà, usualment obtinguts en processos catalítics de refinat del petroli, que es presenta líquada per compressió (GLP). El seu ús més convencional és la bombona comercial de butà.

gas to liquid

Procés de conversió d'hidrocarburs gasosos en hidrocarburs líquids o altres combustibles igualment líquids (GTL). La tecnologia GTL es basa en el procés Fischer-Tropsch, sustentada en reaccions catalitzades per ferro, cobalt o níquel (també → *carbon to liquid*).

GEH

Sigles de gasos amb efecte d'hivernacle (→ efecte d'hivernacle).

gestió

Conjunt d'operacions i providències sobre determinats béns o sistemes a fi d'obtenir-ne el millor rendiment o resultats. Hom parla de *g. de l'oferta* si les actuacions del gestor s'adrecen a posar al mercat tots recursos demandats i de *g. de la demanda* si, per contra, el gestor estableix i fa veure al mercat els límits en les disponibilitats de la seva oferta. El model desenvolupista ha esperat tradicionalment del sector públic que gestionés i garantís una oferta il·limitada, d'acord amb la tendència inqüestionada del mercat. Davant de l'escassetat objectiva de determinats recursos –cas de l'energia– el model sostenibilista propugna una gestió pública de la demanda que moderi la tendència del mercat.

GLP

Sigles de gas liquat del petroli (→ gas)

GNC

Sigles de gas natural comprimit (→ gas)

GNL

Sigles de gas natural liquat (→ gas)

GWP

Sigles de *global warming potential* (→ CO_{2eq})

GTL

Sigles de *gas to liquid* (→ *gas to liquid*)

hidrats de gas

Hidrocarburs gasosos (bàsicament metà) de procedència orgànica (descomposició bacteriana) o termogènica (descomposició tèrmica d'altres hidrocarburs que romanen atrapats en els sediments hidratats i congelats de les grans fosses oceàniques. En 1 m³ d'hidrat de metà congelat hi ha 0,84 m³ d'aigua i 0,164 m³ (164 litres) de gas metà.

intensitat energètica

Relació entre el consum d'energia i el rendiment que se n'obté en els processos econòmics. Sol mesurar-se en els megajouls (MJ) necessaris per generar 1 \$ del PIB d'un determinat país o espai econòmic.

internalització

En el context del model sostenibilista, comptabilització en els balanços de cada procés de tots els costos i conseqüències produïts pel procés, fins i tot si només són qualitatius.

Mtec

Sigla de mega tec: milió de tones equivalents de carbó (→ tec).

Mtep

Sigla de mega tep: milió de tones equivalents de petroli (→ tep).

peak-oil

Situació en què la demanda global de petroli superi la capacitat mundial d'extracció i refinament. No suposa necessàriament un esgotament de les reserves, però sí una incapacitat per a satisfer la demanda.

pila de combustible

Sistema de generació electroquímica alimentat per una font contínua d'hidrogen que s'injecta a l'ànode mentre al càtode s'injecta un oxidant (aire o oxigen), separats ambdós per un electròlit que és un hidròxid d'un metall alcalí. El corrent generat permet alimentar un motor elèctric convencional, mentre que el residu de la reacció és aigua.

sostenibilitat

Model socioeconòmic que propendeix a assumir (internalitzar) tots els costos i totes les conseqüències socials i ambientals de les seves actuacions. Es tradueix en un consum de recursos projectable en l'espai i en el temps sense perjudici de la realitat present o futura i en una redistribució equitativa dels valors afegits. Comporta consumir recursos renovables per sota de la seva taxa de reposició, consumir recursos no renovables per sota de la seva taxa de substitució, abocar residus per sota de les capacitats d'assimilació ambiental i mantenir *in situ* els nivells de biodiversitat. Es proposa satisfer equitativament les necessitats de tots els humans sense hipotecar les decisions de les generacions futures. En el moment socioeconòmic actual, suposa que els poders públics passin de garantir l'oferta a gestionar la demanda.

tec

Sigla de tona equivalent de carbó, és a dir quantitat energia igual a la que allibera la combustió de 1.000 kg d'hulla, equiparada a 7.000 tèrmies (o 0,7 tep, → tep).

tep

Sigla de tona equivalent de petroli, és a dir quantitat energia igual a la que allibera la combustió de 1.000 kg de petroli, equiparada a 10.000 tèrmies (o 1,43 tec, → tec).

TWh

Sigla de terawatt-hora, és a dir, l'energia elèctrica obtinguda amb una potència d'1 TW (terawatt) durant 1 hora de funcionament constant. Equival a 3.600 TJ (terajoule), o $3,6 \cdot 10^{15}$ J (Joule).

Ramon Folch (Barcelona, 1946)

Doctor en biologia, socioecòleg. Director General d'ERF i President del Consell Social de la Universitat Politècnica de Catalunya. Ha participat en nombrosos projectes a Europa, Àfrica i Amèrica Llatina desenvolupats per diversos organismes internacionals (UNESCO, Unió Europea, FLACAM). Actiu constructor de les tesis sostenibilistes, ha dirigit múltiples recerques, estudis i plans sobre temes socioambientals. És autor, director o co-director d'una trentena de llibres, entre els quals *El territorio como sistema* (2003), *Atlas ambiental de l'Àrea de Barcelona* (2000), *Diccionario de socioecología* (1999), *Biosfera* (11 volums, en versions catalana, anglesa, alemanya i japonesa, 1993-98) o *Història Natural dels Països Catalans* (16 volums, 1984-92) i nombrosos articles. També ha comissariat diverses exposicions, entre les quals *Habitar el món* (2004), i assumeix la direcció científica de la revista electrònica trilingüe *Sostenible*.

Ivan Capdevila (Barcelona, 1972)

Enginyer industrial i consultor ambiental. Director Tècnic d'ERF, ha dirigit múltiples projectes de planificació territorial i gestió ambiental, amb especial èmfasi en els aspectes sostenibilistes. Ha estat coordinador del Pla de medi ambient de la Universitat Politècnica de Catalunya. Ha publicat els llibres *L'ambientalització de la universitat* (2000) i *Medi ambient i tecnologia* (1998).

Antoni Oliva (Figueres, 1969)

Enginyer agrònom i màster en enginyeria i gestió ambiental. Ha dirigit diversos projectes de planificació estratègica i ambiental. Ha treballat a l'Institut Català de Tecnologia i a ERF. Ha publicat els llibres *Ciutat digital* (2003) i *22 @bcn districte d'activitats* (2004).

Anna Moreso (Barcelona, 1981)

Ambientòloga. Treballa en projectes territorials i de gestió ambiental a ERF.

Departament de Treball i Indústria
Institut Català d'Energia
Av. Diagonal, 453 bis, àtic
08036 Barcelona
T. 93 622 05 00
F. 93 62205 02

www.icaen.net

