



Tecnològic

Energia sostenible: una visió tecnològica



ogia

Josep Bordonau Farrerons

Professor de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

Director acadèmic de la Unitat de Desenvolupament KIC de la UPC

Director educatiu de KIC InnoEnergy Iberia

El text aprofundeix en el concepte d'energia sostenible des d'una òptica europea. L'autor analitza les tecnologies d'energia sostenible que la UE ha triat en el seu Pla estratègic (SET-Plan) i detalla les decisions que cal impulsar per migrar el model energètic actual.

El concepte de *sostenibilitat* s'ha convertit en una idea comuna i familiar en la societat moderna. De tota manera, és metodològicament rigorós aclarir amb precisió què s'entén per *sostenibilitat*. El diccionari de l'Institut d'Estudis Catalans defineix *sostenible* com 'el que es pot mantenir indefinidament, especialment sense afectar l'equilibri ecològic'. L'aplicació d'aquests dos aspectes fonamentals del concepte de *sostenibilitat*, la «capacitat de mantenir» i la «capacitat de no afectar» són els que es tracten en aquest article.

Pel que fa a la «capacitat de mantenir», en el camp de l'energia s'entén com la capacitat de respondre a la demanda energètica que fa la societat. I, a més, cal satisfer aquesta demanda tenint en compte que caldrà consumir algun recurs, per exemple, un recurs renovable com podria ser la biomassa forestal. És un bon exemple per mostrar que, per mantenir el recurs correctament, cal consumir-lo (per generar energia o per a altres finalitats) a un ritme més lent o, com a màxim, igual de ràpid que el que triga la natura a regenerar-lo.

D'altra banda, pel que fa a la «capacitat de no afectar», interessa analitzar quines tecnologies permeten assolir el manteniment dels serveis energètics que demana la societat amb un cost mínim (idealment zero) per a l'entorn.

Aquestes precisions inicials són fonamentals per poder entendre un treball com aquest, focalitzat en la revisió crítica de les opcions tecnològiques disponibles per assolir la comunitat d'energia i sostenibilitat, el que es coneix comunament com el subministrament basat en «energia sostenible». També seria molt interessant preguntar-se com es resol la combinació de subministrament energètic i sostenibilitat des de punts de vista no tecnològics, com el sociològic, l'econòmic, l'ecològic, el mediambiental i d'altres. Aquesta breu introducció ja dona una idea de la transversalitat i la complexitat del problema. Formalitzant una mica més, l'esquema d'anàlisi que s'ha seguit en aquest article és el següent:

- El concepte europeu d'*energia sostenible*: el Pla estratègic en tecnologies energètiques (Strategic Energy Technology Plan, o SET-Plan).
- Els objectius 20/20/20.
- El concepte de *generació distribuïda*: *micro-xarxes* i *nanoxarxes*.
- La contribució del vehicle elèctric a l'energia sostenible.
- Primera aproximació a un model d'energia sostenible.
 - El model de consum energètic.
 - Anàlisi de la demanda.
 - Anàlisi de les fonts d'energia locals.
 - Anàlisi econòmica.

- Anàlisi estratègica.
 - Les escales de temps i els fulls de ruta.
- Resum i conclusions.

L'objectiu d'aquest article és, doncs, arribar a entendre les variables principals que influeixen en l'anàlisi del component sostenible en la tecnologia energètica. Es combinarà amb un resum de les característiques principals de les tecnologies energètiques que contribueixen a l'energia sostenible.

L'article comença fent una revisió introductòria de les diferents tecnologies energètiques per després poder introduir un model qualitatiu d'energia sostenible.

El concepte europeu d'energia sostenible: el Pla estratègic en tecnologies energètiques (SET-Plan)

La Unió Europea defineix el Pla estratègic en tecnologies energètiques (SET-Plan) de la manera següent: «el SET-Plan estableix una política de tecnologia energètica per a Europa. És un pla estratègic per accelerar el desenvolupament i el desplegament de tecnologies amb baixes emissions de carboni i rendibles. El pla comprèn mesures de planificació, implantació, recursos i cooperació internacional en el camp de la tecnologia energètica» (ref. 1). Aquesta definició indica clarament el compromís per mantenir els serveis energètics amb el mínim cost mediambiental i econòmic.

Els eixos d'actuació del SET-Plan es descriuen a continuació de forma resumida. Al mateix temps, es fa una presentació bàsica dels elements tecnològics fonamentals en energia sostenible.

Estalvi i eficiència energètica

Aquest eix és un dels més transversals dins de les polítiques energètiques del SET-Plan. El concepte és simple: es tracta de reduir la necessitat de generar energia reduint la demanda energètica.

Es pot implementar de dues maneres. Una possibilitat és l'estalvi d'energia reduint necessitats d'energia. Aquest mètode acostuma a implicar una reducció dels serveis energètics, en contrapartida. Per tant, la seva implantació requereix una mentalització o un consens per part de la societat.

L'altra possibilitat és l'eficiència energètica. Aquest és un concepte amb un fort component tecnològic, ja que es basa en la reducció del consum d'energia necessari per assolir un servei energètic. L'eficiència energètica té una vessant industrial i una vessant domèstica, prou diferents quant a l'enfocament tecnològic.

L'eficiència energètica industrial es pot visualitzar mitjançant dos exemples. El primer són els processos de cogeneració i poligeneració que permeten generar electricitat o calor útil a partir de calor residual d'altres processos industrials, combinat amb un combustible addicional que fa el procés global molt eficient des del punt de vista de potència generada, respecte al consum de combustible. Un altre exemple és l'explotació global de polígons industrials, aprofitant les possibilitats de consum i generació de les diferents empreses del polígon, de manera que treballin de forma coordinada en la generació i el consum d'energia. Dit d'una manera més senzilla, quan hi ha empreses que poden generar

energia, altres empreses del polígon haurien de demanar-la al mateix temps, perquè no calgui emmagatzemar-la, que sempre és car.

Pel que fa a les aplicacions domèstiques, un exemple prou conegut el reflecteix la classificació d'eficiència energètica dels electrodomèstics (classe A, etc.). Aquest concepte no pressuposa una disminució dels serveis que proporciona l'energia.

Bioenergia

La bioenergia és el concepte que implica la generació d'energia a partir de combustibles de material biològic. L'exemple més conegut i prometedor el proporciona l'aprofitament de biomassa.

Una primera opció de la biomassa és l'aprofitament de plantes i residus de tipus vegetal, que es poden utilitzar de forma primària cremant-los i generant calor o bé de forma secundària, generant electricitat, mitjançant turbines de vapor i gasificadors.

Una segona opció de la biomassa és aprofitar residus de tipus animal o vegetal per produir biocombustibles.

En tots els casos, la utilització de bioenergia caldria fer-la, de manera ideal, seleccionant processos amb baixes emissions de carboni.

La bioenergia és el concepte que implica la generació d'energia a partir de combustibles de material biològic.

L'exemple més conegut i prometedor

el proporciona l'aprofitament de biomassa.

Captura, transport i emmagatzematge de carboni

La tecnologia de captura, transport i emmagatzematge de «carboni» (CO₂) es coneix molt sovint per l'acrònim en anglès CCS (*carbon capture and storage*). El concepte d'aquesta tecnologia es basa en la «captura» de CO₂ de l'atmosfera, per, finalment, transportar-lo i emmagatzemar-lo en mines subterrànies.

La idea és molt interessant, en el sentit que permet mitigar la utilització de combustibles de tipus fòssil, amb grans volums d'emissions de CO₂, de manera que el seu impacte es redueix eliminant el «subproducte» pernicios de les emissions.

Aquesta tecnologia també presenta l'avantatge que el CO₂ es pot emmagatzemar en mines abandonades o instal·lacions similars, la qual cosa permet reduir l'impacte sobre l'entorn i el cost, tot aprofitant infraestructures existents. En aquest sentit, a la província de Lleó es pot trobar la Ciudad de la Energía (ref. 2), una instal·lació experimental de la tecnologia CCS molt rellevant.

Smart grids

Les xarxes elèctriques intel·ligents o *smart grids* representen un nou paradigma de la xarxa elèctrica que ha de permetre la incorporació d'un nou model mixt de producció d'energia elèctrica, amb fonts convencionals i amb fonts renovables com l'eòlica, la solar, la geotèrmica, l'oceànica (onades i marees) i, fins i tot, la hidràulica (molts cops oblidada des del punt de vista de les energies renovables). Les fonts convencionals les trobem en les plantes de producció d'energia elèctrica de tipus nuclear i tèrmic, amb diferents tecnologies de tipus tèrmic (derivats del petroli, carbó, gas).

Les xarxes elèctriques intel·ligents es basen en la incorporació de sensors i actuadors intel·ligents a la xarxa que permetin mesurar l'energia elèctrica consumida i generada idealment a qualsevol punt de la xarxa, així com planificar la interacció entre les grans

plantes tradicionals de producció d'energia elèctrica (tèrmiques, nuclears, hidràuliques) i les plantes de tipus renovable amb menys potència (eòlica, solar). En aquesta interacció intel·ligent cal tenir present els elements que permeten emmagatzemar de manera efectiva l'energia elèctrica, com les minicentrals hidràuliques, les piles de combustible, els vehicles elèctrics, etc.

Piles de combustible

La tecnologia de piles de combustible, associada a l'anomenat vector *hidrogen*, es pot observar des de dos punts de vista.

Per una banda, una pila de combustible és un dispositiu que permet generar energia elèctrica consumint hidrogen o altres combustibles, com gas natural i metanol.

Per una altra banda, també es pot veure com un element que permet emmagatzemar energia elèctrica, ja que es pot emprar energia elèctrica per produir hidrogen i l'hidrogen per produir energia elèctrica, en un procés bidireccional. Conceptualment és similar al de les minicentrals hidràuliques en què es bombeja aigua cap amunt quan sobra energia elèctrica (per excés de generació o defecte de demanda), i aleshores actua com a element d'emmagatzematge, i es deixa anar l'aigua cap avall per produir electricitat, quan la demanda d'electricitat és alta o la generació convencional baixa.

Tecnologia nuclear

La tecnologia nuclear està en un moment controvertit socialment a causa de l'accident de la central de Fukushima, que ha dut a un seriós replantejament de la política nuclear a Alemanya i el Japó. No obstant això, continua sent una tecnologia molt rellevant en la combinació energètica, i França és un bon exemple d'estratègia exitosa fortament basada en el component nuclear.

Hi ha dues grans tecnologies, la de fissió i la de fusió.

La tecnologia de fissió és la que actualment hi ha operativa i que s'està millorant quant a nivells d'eficiència en l'aprofitament del combustible (reactors de quarta generació) i amb millores contínues en la seguretat i la gestió de residus. Evidentment, els riscos hi són i cal valorar-los objectivament, però és una tecnologia que es classifica com a «sostenible», en el sentit que té zero emissions de carboni. La classificació té components discutibles, ja que consumeix combustible natural (minerals radioactius) a un ritme que no és clar que sigui inferior a la regeneració natural. I, a més, genera residus que cal tractar i emmagatzemar.

D'altra banda hi ha la tecnologia de fusió, encara no operativa comercialment. S'està construint el reactor ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) a Cadarache (França), en un gran projecte internacional amb una oficina de gestió a Barcelona. També se n'està dissenyant un segon prototip al Japó.

Smart cities

La tecnologia de les ciutats intel·ligents o *smart cities* es basa en dos eixos principals:

- Eficiència energètica a escala de ciutat i a escala de districte, com a extensió natural del concepte d'eficiència energètica domèstica.
- Introducció de la producció d'energies renovables a escala de ciutat i a escala de districte.

El concepte de *ciutats intel·ligents* és extraordinàriament transversal. Es poden combinar conceptes urbanístics, arquitectònics, tecnologia energètica, tecnologies de la informació i les comunicacions, etc., per optimitzar els fluxos energètics i per introduir nous conceptes en transport (vehicles elèctrics, híbrids, amb combustibles alternatius, per a ús col·lectiu o particular, etc.).

En particular, diverses ciutats de Catalunya són actives en aquests àmbits, com per exemple la ciutat de Barcelona, a través de

les actuacions al districte 22@, conceptes intel·ligents d'il·luminació i d'altres a Sant Cugat del Vallès, Sabadell, Tarragona, Figueres, etc.

Solar

La tecnologia solar és una de les tecnologies renovables més interessants per aplicar a l'entorn mediterrani, a causa de l'abundància del recurs primari. El recurs solar és indefinit, no cal regenerar-lo com en el cas de la biomassa. En canvi, un inconvenient que presenta és que és molt abundant, però dispers, en el sentit que la densitat d'energia assolible (energia aprofitable per unitat de superfície) és baixa.

Hi ha tres conceptes principals pel que fa a la tecnologia solar:

- Tecnologia solar fotovoltaica.
- Tecnologia solar termoelèctrica.
- Tecnologia solar tèrmica.

La tecnologia solar fotovoltaica converteix directament l'energia solar en electricitat mitjançant dispositius electrònics. Hi ha multitud de tecnologies, però es poden reduir a dues de principals. D'una banda, trobem la tecnologia basada en silici, que és la tecnologia desenvolupada actualment i també la més comuna. Darrerament s'han aconseguit millores importants en el rendiment de les cèl·lules de silici i també reduccions molt notables en el cost per part dels fabricants xinesos. D'una altra banda, s'està desenvolupant la tecnologia de cèl·lules solars orgàniques, basades en materials polimèrics. El gran avantatge que presenten és el seu potencial de baix cost. En canvi, tenen unes eficiències en el procés de conversió que encara són lluny de les de silici.

La tecnologia solar termoelèctrica genera electricitat mitjançant l'escalfament per energia solar d'un fluid, que genera vapor amb l'ajut d'un bescanviador. El vapor fa girar una turbina i produeix electricitat de forma convencional. La tecnologia solar termoelèctrica presenta alguns avantatges interessants. Per exemple, la calor genera-

da es pot transferir a unes sals que poden emmagatzemar-la durant hores i permetre la generació d'electricitat durant la nit, quan no hi ha sol, mitjançant el mateix procés. Globalment, és una tecnologia renovable prou interessant pel seu potencial de reducció de costos.

Finalment, la tecnologia solar tèrmica utilitza directament la radiació solar per escalfar aigua per a usos residencials en el circuit d'aigua calenta sanitària. També permet aprofitar la calor per a circuits de refrigeració solar (*solar cooling*), basats en refrigeradors d'absorció, que poden substituir els compressors tradicionals dels aparells d'aire condicionat, sobretot quan s'utilitzen en diversos cicles encadenats, mètode que permet millorar el rendiment.

Eòlica

La tecnologia eòlica aprofita l'energia del vent per produir electricitat. Com en el cas de l'energia solar, el recurs és abundant, encara que localitzat, i intrínsecament inesgotable.

S'ha desenvolupat fortament durant els darrers 30 anys. El desenvolupament tecnològic i comercial ha estat tan important que s'ha mantingut un ritme de duplicació de la potència instal·lada cada dos anys. També és molt rellevant destacar que els costos de producció d'energia elèctrica mitjançant aerogeneradors són molt propers als d'altres tecnologies convencionals, la qual cosa representa un avantatge, si es compara amb altres tecnologies renovables.

La tecnologia eòlica s'estructura en tres eixos principals:

- Tecnologia eòlica terrestre.
- Tecnologia eòlica marina.
- Tecnologia microeòlica.

La tecnologia eòlica terrestre és la que ha tingut el gran desenvolupament tecnològic i comercial. Es basa en aerogeneradors cada vegada més grans i que han fet batre rècords de generació d'electricitat per fonts

renovables a diversos països, com per exemple, el 64,2% de la demanda d'energia elèctrica a l'Estat espanyol.

La tecnologia eòlica marina es basa en la instal·lació d'aerogeneradors al mar. Els grans avantatges d'aquest concepte vénen del fet que els vents són més forts i més constants al mar i, a més, l'impacte en el territori és més baix. No obstant això, la instal·lació dels aerogeneradors al mar és força més complexa i cara. Hi ha dues tecnologies principals per instal·lar els aerogeneradors, la d'aerogeneradors fixos, amb una estructura fixada a la plataforma continental, i la d'aerogeneradors flotants, vàlids per ser instal·lats en aigües profundes.

Finalment, la tecnologia microeòlica desenvolupa aerogeneradors de potència mitjana i baixa (per sota de 50 kW), aptes per a cases, granges o consums moderats. És una tecnologia interessant per ser instal·lada en entorns com el Regne Unit, on els vents atlàntics són força constants i intensos, i on hi ha habitatges de tipus aïllat amb espai per instal·lar-hi els aerogeneradors.

Els objectius 20/20/20

La UE ha definit una sèrie d'accions per assolir l'any 2020 (Horitzó 2020), entre les quals destaquen els objectius 20/20/20 en el camp de l'energia sostenible (ref. 3).

Aquests objectius es concreten en els eixos següents:

- 20% de reducció dels gasos d'efecte d'hivernacle respecte als nivells del 1990.
- Assoliment del 20% del consum d'energia de la UE per recursos renovables.
- Millora del 20% en l'eficiència energètica europea.

Les tecnologies prioritzades en el SET-Plan permeten assolir aquests objectius si s'utilitzen de forma efectiva i decidida.

La reducció del 20% dels gasos d'efecte d'hivernacle es pot assolir combinant les accions següents:

- Reduint la utilització de les aplicacions dels combustibles fòssils d'altres emissions.
- Assolint realment els altres dos objectius principals 20/20/20, és a dir, augmentant l'aportació de les energies renovables i millorant un 20% l'eficiència energètica.
- Utilitzant la tecnologia CCS, de captura i emmagatzematge de carboni, que actua reduint les emissions a posteriori.
- Mantenint una quota rellevant de la tecnologia nuclear.

Pel que fa a l'augment de la participació de l'energia basada en recursos renovables, es pot assolir:

- Aplicant la tecnologia de biomassa i bio-combustibles.
- Utilitzant les piles de combustible i el vector hidrogen com a element de producció i sobretot d'emmagatzematge de l'energia elèctrica. Un bon exemple és la possibilitat d'aprofitar els rècords de producció d'energia elèctrica a partir de l'eòlica, que es produeixen de nit, quan la xarxa elèctrica no pot absorbir tota l'energia.
- Aplicant les tecnologies solars.
- Aplicant la tecnologia eòlica.
- Utilitzant la tecnologia de xarxes elèctriques intel·ligents, que permet introduir de forma eficaç l'energia produïda de fonts renovables a la xarxa elèctrica.

Finalment, els objectius d'eficiència energètica són:

- Aplicar els conceptes d'eficiència energètica industrial.
- Implementar les ciutats intel·ligents.
- L'eficiència energètica a escala residencial.

El concepte de generació distribuïda: microxarxes i nanoxarxes

El model convencional per a la generació d'energia ha estat durant decennis el de la generació centralitzada, molt especialment per a la generació d'energia elèctrica. La generació centralitzada es basa en grans plantes de producció d'energia, localitzades en indrets molt concrets i que donen servei

a una malla de consums distribuïts per tot el territori.

La introducció cada cop més rellevant de les energies renovables permet incorporar un nou concepte: la *generació distribuïda*. Consisteix en la instal·lació de moltes plantes de generació d'energia (normalment de potència petita o mitjana), distribuïdes de forma harmònica pel territori i que donen servei d'autoconsum o injecten l'energia a la xarxa general. L'autoconsum implica que tota l'energia generada per la planta es consumeix als consums locals i propers a la planta. La injecció d'energia a la xarxa general implica que es passa tota l'energia generada a la xarxa general perquè en pugui gaudir qualsevol consum.

El concepte de *generació distribuïda* està íntimament relacionat amb les energies renovables, que permeten aprofitar l'energia local, sigui solar, eòlica, oceànica (mareomotriu i d'onades), de la biomassa, geotèrmica, etc. Cal tenir present que el concepte de *generació distribuïda* implica augmentar la intel·ligència de la xarxa elèctrica (*smart grid*), ja que els punts de generació distribuïda aporten energia de forma estocàstica, és a dir, es pot preveure la mitjana d'energia en un mes, però no es pot preveure l'energia disponible per a un dia concret. En el cas de la generació centralitzada, els generadors aporten energia de forma molt controlada.

En els casos en què es consideri l'autoconsum o un model mixt, es parla de *microxarxes* o *nanoxarxes*, depenent de la potència instal·lada. Usualment les microxarxes tenen una potència d'entre 100 kW i 1 MW, mentre que les nanoxarxes estan per sota dels 100 kW.

Els conceptes de *microxarxa* i *nanoxarxa* es poden veure també com una opció de subministrament d'energia redundat en la xarxa pública. Per posar-ne un exemple, el problema de subministrament que es va produir per les nevades a les comarques de Girona el 2010 es podria haver reduït amb instal·lacions d'aquest tipus, que permeten

el que es coneix com *funcionament en mode «illa»*, en què la microxarxa subministra energia a la demanda local de manera aïllada de la xarxa pública.

En els casos en què es considera la injecció d'energia a la xarxa general, les instal·lacions acostumen a tenir una potència generada superior als 500 kW.

A l'Estat espanyol s'ha impulsat de manera notable la injecció d'energia a la xarxa a partir de la generació renovable mitjançant subvencions, que han estat actives fins a l'any 2008, amb un canvi legislatiu.

Actualment, la tendència és tenir noves instal·lacions que busquen l'autoconsum, especialment per al cas de l'energia solar fotovoltaica, encara que no gaudeixin de subvencions. La raó és que l'augment del preu de l'electricitat combinat amb la disminució del cost dels panells solars fa factible l'amortització d'una instal·lació en set anys o menys, depenent de la quantitat de consum estalviat.

El model mixt encara no està regulat a l'Estat espanyol. És a dir, no és possible combinar l'autoconsum amb la injecció d'energia a la xarxa si el consum en un moment determinat és inferior a la quantitat d'energia generada i se'n vol passar l'excés a la xarxa general.

La contribució del vehicle elèctric a l'energia sostenible

La tecnologia del vehicle elèctric presenta diverses particularitats que la fan interessant de cara al concepte d'*energia sostenible*.

El vehicle elèctric permet reduir l'aportació de combustibles fòssils de manera molt notable, ja que el seu consum d'energia cau en el sector transport, que és el consumidor més important d'aquest tipus de combustibles. L'energia elèctrica és la que actua de combustible per al vehicle elèctric, es pot generar de diverses maneres i, en particular, mitjançant energies renovables. Així doncs, aquest mitjà de transport



El canvi del model energètic pot fer-se en escales de temps superiors als 10-15 anys, que són els períodes de rendibilitat mínims de la inversió en infraestructures.



permet incrementar l'aportació de les energies renovables i, de retruc, disminuir les emissions de carboni.

D'altra banda, el vehicle elèctric pot actuar indirectament com a habilitador de les energies renovables, pel fet intrínsec d'incorporar bateries d'emmagatzematge. Un exemple concret d'això és el procés de càrrega normal del vehicle durant la nit, que és precisament quan els aerogeneradors produeixen més energia elèctrica. Aleshores es pot arribar a aprofitar tota l'energia produïda durant la nit a les bateries, si la generació supera la demanda. És el cas del rècord de generació eòlica a l'Estat espanyol, que es va produir de nit i no permetia aprofitar tota l'energia generada perquè superava la demanda i no es podia emmagatzemar.

Hi ha una altra possibilitat avantatjosa per als vehicles elèctrics que estiguin connectats al carregador durant el dia, com seria el cas dels usuaris que no els utilitzen sovint. Mitjançant un mecanisme compensatori, les companyies elèctriques podrien carregar i descarregar les bateries depenent de

la generació renovable disponible i assegurar una càrrega total de les bateries en dies determinats. De nou, així es permet aprofitar eficaçment tota l'energia generada per les fonts renovables, encara que pugui ser superior a la demanda. El sistema elèctric s'aprofita de forma més eficaç i l'usuari percep una compensació econòmica.

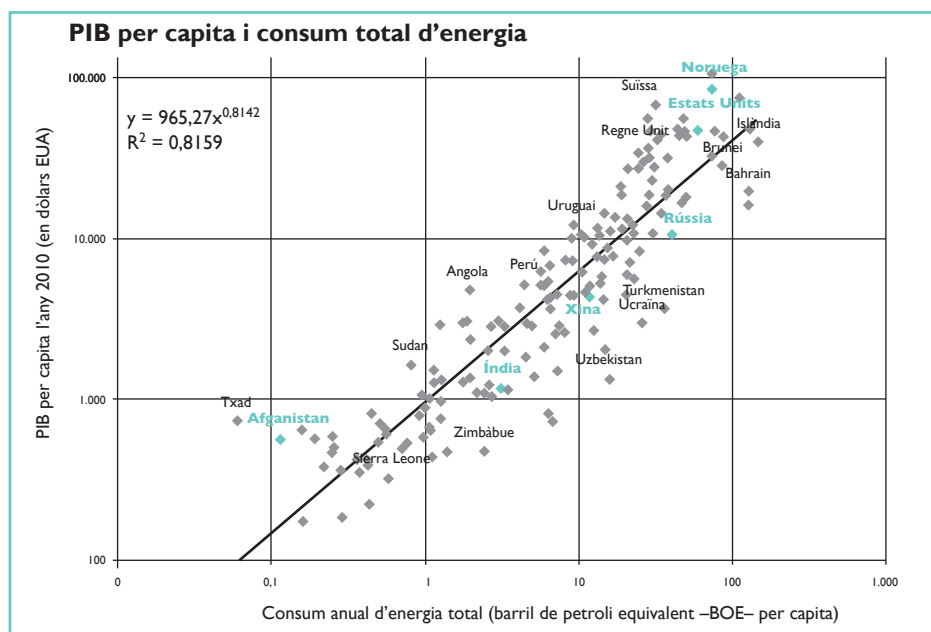
Cal esmentar també que la utilització eficaç de les bateries dels vehicles elèctrics implica disposar d'una infraestructura de xarxa elèctrica intel·ligent.

Primera aproximació a un model d'energia sostenible

El model de consum energètic

Seguint amb la visió tecnològica d'aquest article, per arribar a definir un model d'energia sostenible cal entendre, en primer lloc, quins són els paradigmes de consum que segueixen els usuaris. Un primer component que cal tenir present és la correlació entre consum energètic per capita i renda per capita que mostra la figura 1.

Figura 1: relació entre renda i consum d'energia



Font: ref. 4.

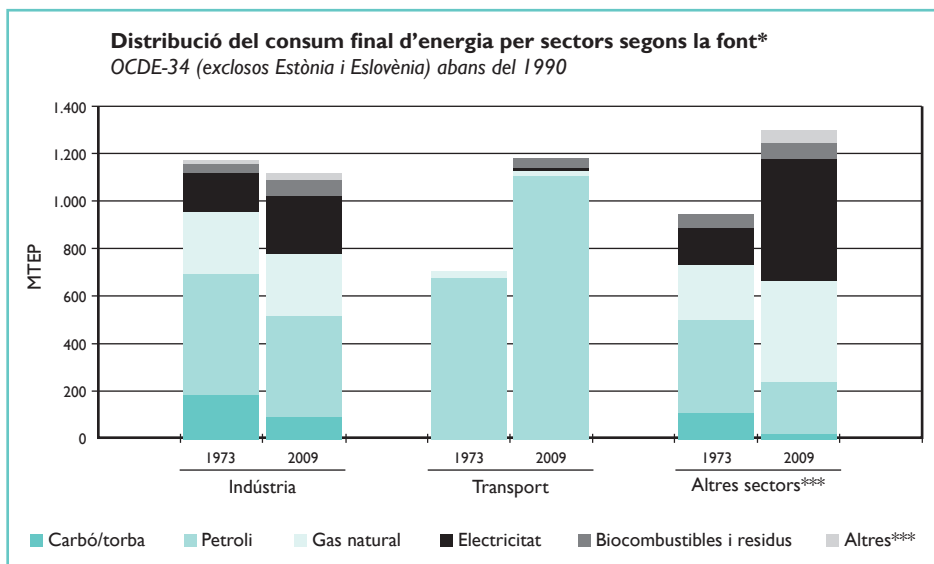
En aquest article se suposa que el model de consum energètic segueix tenint el comportament que mostra aquest gràfic i que, per tant, un augment de la renda per capita implica un augment proporcional del consum energètic per capita. Evidentment, és possible que aquesta tendència comenci a canviar en un futur ben proper, si realment les polítiques d'estalvi i eficiència energètica tenen èxit.

Qualsevol anàlisi del model de subministrament energètic sostenible ha d'incloure l'anàlisi de l'estructura de la demanda d'energia. La figura 2 mostra la distribució del consum d'energia per sectors a l'OCDE (Organització de Cooperació i Desenvolupament Econòmic).

La figura 2 proporciona molta informació per entendre l'estructura de la demanda energètica als països de l'OCDE (cal tenir present que no inclou ni la Xina ni l'Índia, però és igualment útil per a l'anàlisi d'aquest article):

- L'evolució temporal és coherent amb la figura 1: el creixement econòmic (i de població) del 1973 al 2009 a l'OCDE es tradueix en un augment del consum d'energia.
- El consum d'energia del sector industrial ha disminuït lleugerament en aquest període. Seria interessant una anàlisi econòmica d'aquest aspecte.
- El consum procedent del transport i d'altres sectors ha augmentat significativament.
- El consum de petroli s'ha reduït lleugerament al sector industrial i significativament a la resta de sectors, mentre que ha augmentat de forma important al sector transport.
- El consum directe de carbó (excepte la producció d'energia elèctrica, que es troba separada al gràfic) s'ha reduït, mentre que el de gas natural ha augmentat significativament.
- La presència del consum elèctric en el sector transport és testimonial, cosa que mostra el marge de penetració que té el vehicle elèctric.

Figura 2: evolució del consum d'energia per sectors a l'OCDE

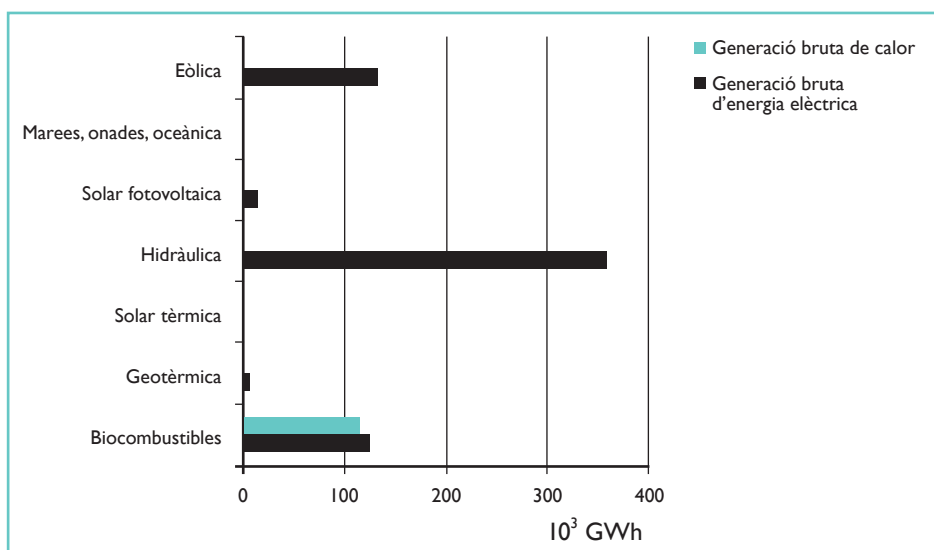


Font: Agència Internacional de l'Energia, ref. 5.

- La presència de les energies renovables (tret del sector elèctric, que no apareix desglossat en el gràfic) és testimonial, i creix lleugerament.

La figura 3 detalla la contribució de les energies renovables en el cas europeu, i distingeix entre la contribució a la generació d'energia elèctrica i a la generació de calor. Les dades de l'Agència Internacional de l'Energia s'han agrupat seguint les mateixes categories del SET-Plan.

Figura 3: distribució de la contribució de les energies renovables a la UE-27, per procedència



Font: Agència Internacional de l'Energia, ref. 6.

La figura 3 mostra com n'és d'important actualment la contribució de l'energia hidràulica, la de biocombustibles i l'eòlica. El potencial de creixement de l'energia eòlica i la solar és molt rellevant.

Anàlisi de les fonts d'energia locals

L'anàlisi de les figures 2 i 3 es pot estendre fàcilment per poder valorar si l'ús de les tecnologies energètiques disponibles localment permet subministrar una part important de la demanda energètica.

La idea és identificar quines de les fonts d'energia sostenible estan disponibles localment.

Un exemple simple en el cas de la UE és identificar la biomassa disponible als boscos de països com Finlàndia i, en general, els del centre i el nord d'Europa, i l'energia eòlica disponible al mar del Nord i el mar

Bàltic (Dinamarca i resta d'Escandinàvia, el Regne Unit, Alemanya), i també als països mediterranis atlàntics com Espanya i Portugal. L'energia solar (fotovoltaica i tèrmica) és molt elevada als països de la conca mediterrània.

La mateixa anàlisi es pot fer a escala regional. Hi ha diferents fonts per analitzar els recursos energètics disponibles en una àrea, tant d'àmbit internacional (Agència Internacional de l'Energia —ref. 7—, EUROSTAT, NASA, etc.), com nacional (Institut per a la Diversificació i l'Estalvi de l'Energia, IDAE, ref. 8) o regional (Institut Català d'Energia, ICAEN, ref. 9).

Anàlisi econòmica

Per poder fer una valoració de la perspectiva energètica sostenible en una àrea cal tenir presents els costos de cada tipus de tecnologia, tenint en compte els costos

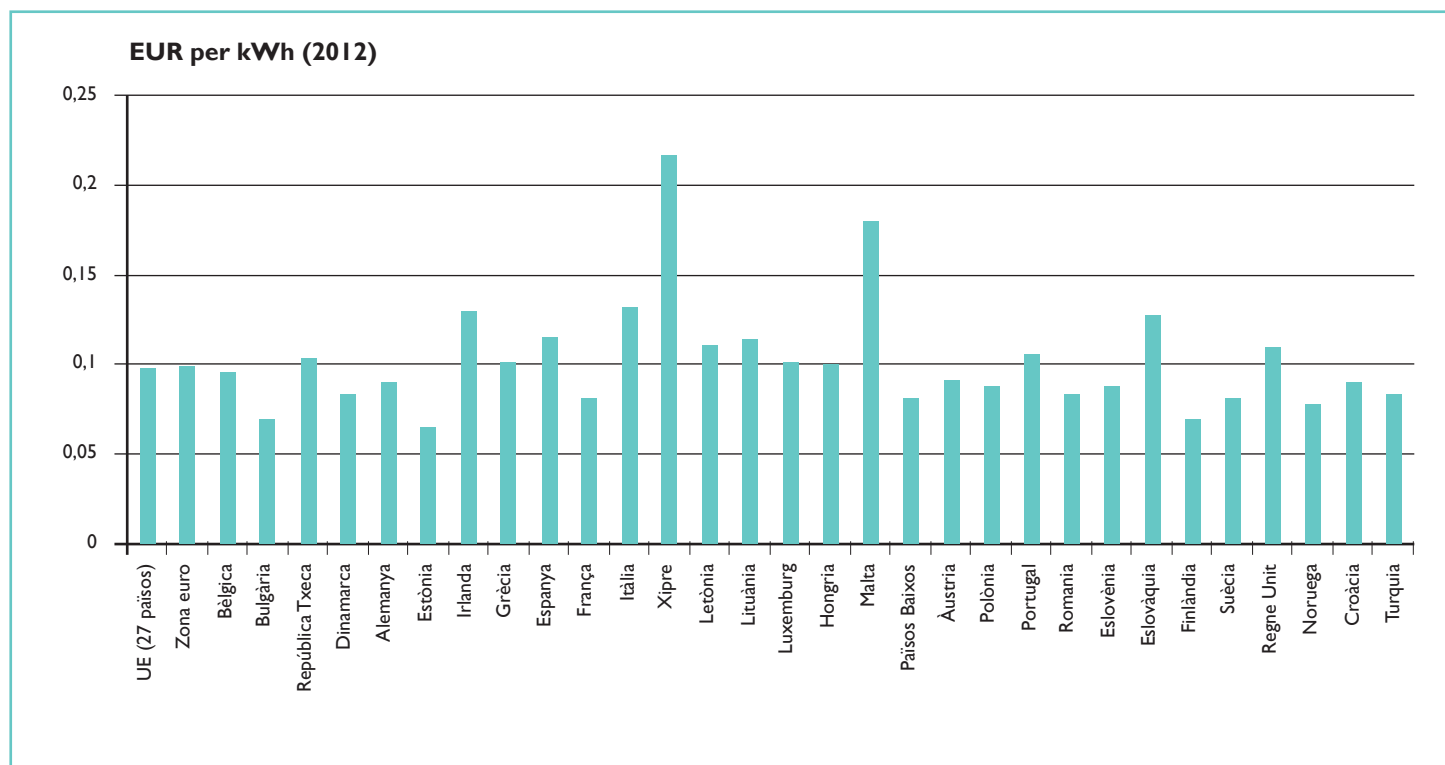
inicials d'infraestructura i els costos d'operació en la fase de generació, així com els costos financers en les diferents fases de l'explotació.

Una visió quantitativa dels costos la dóna el cost normalitzat de l'energia (CNE):

$$CNE = \frac{\sum_{k=1}^n \frac{I_k + M_k + F_k}{(1+i)^k}}{\sum_{k=1}^n \frac{E_k}{(1+i)^k}}$$

on la vida útil de la inversió és de n anys i k és l'any en què es considera cada cost; I és el cost de la inversió en infraestructures l'any k ; M és el cost d'operació i manteniment l'any k ; F és el cost del combustible (fuel) l'any k ; E és l'electricitat generada l'any k i i és el tipus d'interès bancari (ref. 10 i ref. 11).

Figura 4: comparativa dels preus de l'electricitat per a les indústries a la UE (2012)



Font: EUROSTAT, ref. 12.

Accedir als costos tecnològics és difícil, ja que és una informació canviant en el temps i que bàsicament tenen les empreses instal·ladores i explotadores.

En canvi, és factible accedir als preus de l'energia per a diferents tipus de tecnologies i a diferents països. Per exemple, la figura 4 mostra la comparativa del preu de l'electricitat per a indústries, als països de la UE el 2012. EUROSTAT, la font d'on s'ha extret aquesta informació, proporciona comparatives per al preu de l'electricitat i del gas a la UE.

Anàlisi estratègica

Les diferents anàlisis que s'han presentat fins ara són essencialment tecnològiques. No obstant això, l'energia sostenible també té un component estratègic i, fins i tot, polític, ja que no totes les àrees del món tenen accés a tots els recursos energètics per poder escollir de forma estructurada i objectiva la combinació energètica. Aleshores, cal combinar les diferents opcions energètiques disponibles amb el seu cost i disponibilitat.

L'anàlisi estratègica ha d'incloure també la qualitat i la fiabilitat dels proveïdors d'energia, tant pel que fa a les fonts d'energia com pel que fa a la tecnologia d'explotació.

Per exemple, els combustibles de tipus fòssil, en general, no estan disponibles a Europa. La crisi de subministrament del petroli l'any 1973 pel canvi de posició de l'Organització dels Països Exportadors de Petroli (OPEP) o la crisi de subministrament del gas rus als països de Centreeuropa fa pocs anys són exemples concrets de restriccions que cal tenir en compte.

El component estratègic també ha de tenir en compte l'opinió de la societat. La revisió que s'ha fet de les opcions tecnològiques de l'energia sostenible revela que totes tenen, d'una manera o una altra, un impacte en la societat i en el territori. En general, totes les opcions impliquen una instal·lació

d'infraestructures, amb diferents graus d'impacte en el territori. Cal valorar aspectes com la seguretat, la quantitat de superfície que requereix cada tecnologia (en termes absoluts i per unitat de potència/energia assolida), la vida útil de la instal·lació, les eventuais emissions que produeixi, l'eventual contaminació (química, ambiental, radiològica, acústica, etc.), l'impacte en el paisatge, etc. Tots plegats constitueixen un conjunt de factors moltes vegades subjectius, que la ciutadania ha de conèixer en detall i ha de valorar, ja que, malauradament, no existeix cap opció de tecnologia energètica sostenible d'impacte zero.

Finalment, hi ha un altre factor que la societat també ha de tenir en compte. És el concepte de *solidaritat energètica*, pel qual cal valorar quina és la demanda energètica que hi ha a cada territori i, en contrapartida, quina és la seva contribució en instal·lació d'infraestructures que acull.

Les escales de temps i els fulls de ruta

Un altre paràmetre molt important a l'hora de considerar les opcions de l'energia sostenible és el de les escales de temps, inherents a qualsevol full de ruta.

Anteriorment ja s'ha analitzat quines tecnologies d'energia sostenible s'han escollit en el SET-Plan europeu. Evidentment, no són totes les possibles. El SET-Plan també dona informació sobre l'escala temporal d'introducció de cadascuna de les tecnologies.

Els recursos disponibles, com és habitual, són limitats. Això implica que no es pot fer una inversió infinita per canviar el model energètic en un temps curt. En qualsevol cas, el canvi del model energètic pot fer-se en escales de temps superiors als 10-15 anys, que són els períodes de rendibilitat mínims de la inversió en infraestructures. Aquest factor obliga a assumir grans consensos polítics en l'adopció de les polítiques energètiques, fet que cal explicar clarament a la societat.

També cal tenir present que en ocasions hi ha factors puntuals que poden fer reconsiderar un model, encara que sigui només de forma parcial. Com a exemples recents ja mencionats, un és el de l'accident de la central de Fukushima, i un altre és el de la baixada de preus dels panells solars fotovoltaics, combinada amb la pujada dels preus de l'electricitat, que fa rendible una inversió sense subvencions per proveir parcialment el consum elèctric de les indústries amb tecnologia solar fotovoltaica. ●

Referències

Pla estratègic en tecnologies energètiques (SET-Plan). <http://ec.europa.eu/energy/technology/set_plan/set_plan_en.htm>.

Ciudad de la Energía. <<http://www.ciuden.es>>.

Objectius 20/20/20 per a l'Horitzó 2020. <http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm>.

GHONIEM, A. F. «Needs, resources and climate change: Clean and efficient conversion technologies», *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 37, núm. 1, febrer del 2011, p. 15-51.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2011. <http://www.iea.org/stats/pdf_graphs/28BSFC.pdf>.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2011. <http://www.iea.org/stats/renewdata.asp?COUNTRY_CODE=30>.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, *Energy Statistics Manual*, 2005. <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/name,3961,en.html>>.

IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. <<http://www.idae.es/>>.

ICAEN, Institut Català d'Energia. <<http://www.gencat.cat/ica-en>>.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (NREL), definició i eina de càlcul, 2012. <http://www.nrel.gov/analysis/tech_lcoe.html>.

NUCLEAR ENERGY AGENCY / INTERNATIONAL ENERGY AGENCY / ORGANIZATION FOR COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2005. *Projected Costs of Generating Electricity* (actualització del 2005).

EUROSTAT, estadístiques d'energia, 2012. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main_tables>.