



Jordi Llorca i Piqué

Catedràtic del departament
d'Enginyeria Química i
l'Institut de Tècniques
Energètiques de la
Universitat Politècnica de
Catalunya

L'esgotament progressiu de les fonts d'energia convencionals basades en els combustibles fòssils i l'impacte negatiu del seu ús en el medi ambient fan necessària una transició energètica cap a energies renovables. La necessitat de canviar el model energètic és urgent i tindrà lloc, sens dubte, en el segle XXI. Ara bé, són suficients les energies renovables per satisfer el nostre consum actual? De què depèn que ho puguem fer? Com canviarà les nostres vides? La resposta a aquestes preguntes depèn de les fonts d'energia que tinguem a l'abast i de l'ús que en fem, així com de la capacitat de gestionar l'energia i d'emmagatzemar-la de manera eficient.

Fonts d'energia i vectors energètics

L'energia es defineix com la capacitat d'exercir un treball. Qualsevol transformació implica realitzar un treball i, per tant, utilitzar energia. A l'antigor es feia servir la biomassa (essencialment fusta) per escalfar les llars i cuinar. Era energia tèrmica. Més endavant, amb la revolució industrial del segle XIX, es varen començar a fer màquines que utilitzaven carbó, que té una capacitat calorífica molt més elevada que la fusta, i més tard, petroli, gas natural i urani. A més de l'energia tèrmica, aquests nous combustibles també es van fer servir en ginys de combustió per obtenir energia mecànica i, a partir d'aquesta energia, també energia elèctrica (com és ben sabut, l'energia no es crea, no es destrueix, només es transforma). En gairebé dos segles hem après a manipular l'energia i a desenvolupar tecnologia per gestionar-la i transformar-la, cosa que ha estat cabdal per al progrés i la millora del benestar. Per posar un exemple, a l'antigor l'energia mecànica la proporcionaven els animals i els esclaus. Un esclau era capaç d'exercir una potència d'uns 100 W. Doncs bé, amb només 1 litre de gasolina es pot obtenir avui l'energia que proporcionaven quatre esclaus durant quatre dies! No ens n'adonem però som uns grans consumidors d'energia. Però el problema, és clar, és que les fonts d'energia que fem



Jordi Llorca i Piqué

La transició energètica del segle XXI: podrem escollir?

Jordi Llorca i Piqué és doctor en química per la Universitat de Barcelona i Catedràtic del Departament d'Enginyeria Química i de l'Institut de Tècniques Energètiques a la Universitat Politècnica de Catalunya, en el que dirigeix el Centre de Recerca en Ciència i Enginyeria Multiescala de Barcelona. Ha estat guardonat amb la Distinció de la Generalitat de Catalunya per a la Promoció de la Recerca i dos cops amb el premi ICREA Acadèmia. És membre numerari de l'Institut d'Estudis Catalans i és autor de deu patents i més de tres-cents articles en revistes científiques internacionals. La seva recerca se centra en l'estudi i desenvolupament de catalitzadors per aplicacions energètiques i mediambientals.

servir són, la gran majoria, finites. Fins fa poques dècades, la Terra proporcionava recursos suficients per sostenir una activitat humana en expansió, tant en la intensitat del seu ús com en les capacitats per metabolitzar els residus o pel nombre de persones que en gaudien, o sigui, la població. En determinats moments històrics hi ha hagut exhauriments locals que han obligat a abandonar certes activitats o determinats territoris o que han produït extincions parcials, però ara ja es perceben els primers límits globals. Els indicadors més característics d'aquesta nova situació són, per una banda, l'escassetat relativa dels combustibles fòssils (de forma especial, els petrolis convencionals) i, per l'altra, el canvi climàtic d'origen antropogènic, avui dia ja acceptat de forma general. A la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) s'ha publicat recentment (octubre 2017) el document "Claus per a un nou paradigma energètic" [1]. En aquest treball, elaborat entre el 2014 i el 2017, es fa una anàlisi detallada de la situació energètica actual, els límits del model fòssil, el canvi de paradigma i la necessitat d'un nou model energètic.

La civilització basada en l'energia fàcil i abundant de fonts no renovables està tocant a la seva fi per dos raons: en primer lloc, perquè són recursos finits i, al ritme de consum actual, és possible que les seves reserves s'exhaureixin en unes quantes dècades; i, en segon lloc, perquè els gasos que resulten de la crema dels combustibles fòssils produeixen alteracions de l'atmosfera que condueixen a un canvi climàtic de greus conseqüències i difícilment reversible a escala humana de temps. L'alternativa són les energies de fonts renovables, principalment l'energia per biomassa i la hidràulica, eòlica, termosolar, fotovoltaica, fotoquímica, marina i geotèrmica. Si bé les energies renovables són més que suficients per cobrir totes les necessitats humanes actuals i futures, la dificultat de la transició des del sistema energètic actual (fòssil i nuclear) al nou sistema energètic renovable és adaptar la nostra civilització, que ara disposa d'uns recursos d'estoc (concentrats i disponibles mentre n'hi hagi), a uns recursos de flux (distribuïts, intermitents i poc intensius) que requereixen grans superfícies de captació, nous sistemes d'emmagatzematge i també noves formes de gestió per regular l'ús de l'energia en el temps [1]. La fi anunciada dels recursos no renovables no es resoldrà amb un simple canvi de tecnologies, sinó que a causa de la seva diferent naturalesa difícilment es podrà resoldre de

forma satisfactòria sense també un canvi dels comportaments socials i de les formes d'organització política i econòmica. Cal un canvi de model que passi de donar valor als estocs finits (en què és clau l'ús intensiu de l'energia de fonts d'origen fòssil) a un model sostenible que gestioni fluxos que no siguin finits. Finalment, també cal optimitzar l'ús de l'energia amb tecnologies més eficients (no hi ha transformacions energètiques 100% eficients, és a dir, no tota l'energia s'aprofita). I també cal treballar amb vectors energètics eficients i que permetin emmagatzemar millor l'energia (figura 1). Avui en dia el vector energètic més emprat és l'electricitat; els vectors energètics són el camí des de les fonts d'energia fins al seu ús final, com per exemple l'electricitat a les llars. Però l'electricitat és difícil d'emmagatzemar (les bateries es descarreguen amb el temps) i cal desenvolupar altres vectors com l'hidrogen, que en ser un compost químic es pot emmagatzemar per temps indefinit (figura 2). La tecnologia de la producció, manipulació, emmagatzematge i ús de l'hidrogen en cel·les de combustible ja és una realitat [2].

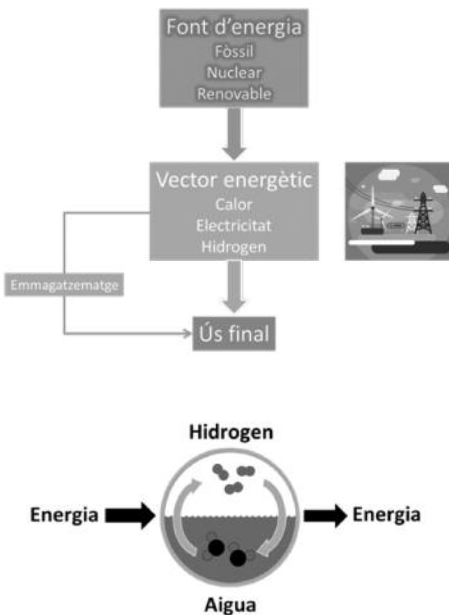


Figura 1. Els vectors energètics permeten la gestió de l'energia des de les fonts d'energia (com el carbó, el petroli, el gas natural, l'urani i les energies renovables) fins als usos finals. Un bon vector energètic, a més, és el que permet un emmagatzematge d'energia efectiu

Figura 2. L'hidrogen és un vector energètic molt poderós perquè es pot obtenir a partir de l'aigua amb fonts d'energia renovables (electròlisi a partir d'energia eòlica o fotovoltaica, per exemple). El binomi electricitat-hidrogen és interessant perquè permet emmagatzemar energia de manera eficient i optimitzar l'ús d'energia renovable intermitent. L'hidrogen es pot combinar amb l'oxigen de l'aire en una cel·la de combustible per originar electricitat i energia tèrmica de manera molt eficient

Dades per pensar

Per pensar alternatives al sistema energètic actual convé saber d'on surt i com s'usa l'energia en els diferents sectors d'activitat. Els balanços energètics de l'Agència Internacional de l'Energia publicats el 2017 [3] i les dades de l'Institut d'Estadística de Catalunya del 2017 [4] indiquen que l'energia primària usada el 2014 en el món és d'uns 148.000 TWh (uns 20.000 kWh per habitant i any). Aproximadament el 85% d'aquesta energia correspon a fonts no renovables, és a dir, combustibles fòssils que emeten uns 32.000 milions de tones de CO₂ (unes 4,5 tones per habitant i any) i urani, i el 15% restant correspon a fonts renovables (hidroelèctrica, biomassa, eòlica i altres renovables). Un cop transformada en energia final (combustibles comercials i electricitat), l'energia primària es redueix a uns 100.000 TWh (uns 13.800 kWh per habitant i any) i perd el 32,5% del seu potencial inicial. Els països de l'OCDE, amb el 17,5% de la població mundial, produeixen aproximadament el 30% de l'energia primària, n'usen el 40% (46.000 kWh per habitant i any) i generen el 37% dels gasos d'efecte d'hivernacle (9 tones de CO₂ per habitant i any). En contrast, els països no OCDE, amb el 82,5% de la població, produeixen aproximadament el 70% de l'energia primària, n'usen el 60% (15.000 kWh per habitant i any, unes tres vegades menys que els països de l'OCDE) i emeten el 63% dels gasos d'efecte d'hivernacle (3 tones de CO₂ per habitant i any, també unes tres vegades menys que els països de l'OCDE). A Europa, aquestes xifres són altes però inferiors a les del conjunt dels països de l'OCDE (35.000 kWh per habitant i any i 6 tones de CO₂ per habitant i any), lleugerament per sobre de les de Catalunya.

En el repartiment dels usos d'energia final entre els sectors d'activitat, el més destacat en el món és la indústria (33%), seguit de molt a prop del transport (31%) i, a certa distància, pel sector residencial (25%); molt més lluny queden els serveis (9%) i, en valors quasi testimonials, els sectors primaris (agricultura i pesca, 2%). Aquest repartiment presenta diferències acusades entre els diferents àmbits territorials; en els països de l'OCDE destaquen els usos en transport (40%), seguits a distància dels industrials (24%) i residencials (20%), i els dels serveis són significatius (14%); en canvi, en els països no OCDE destaquen els industrials (38%), seguits dels residencials (24%) i el transport (24%), mentre que els dels

serveis són molt inferiors (5%). La distribució dels usos energètics a Europa és semblant a la de l'OCDE, amb el predomini del transport, però en canvi Catalunya usa aproximadament el 50% de l'energia en el transport i el 13% en el sector residencial.

Necessitat d'un nou model energètic

Nombrosos estudis i propostes d'arreu del món avalen que les energies renovables són una alternativa i cada vegada hi ha més consens en el fet de plantejar una transició energètica vers el 100% d'energies renovables [5-7]. El camí per superar la crisi de recursos i alhora millorar el seu impacte sobre el medi ambient és, doncs, la transició energètica, és a dir, el procés de substituir progressivament les energies fòssils i nuclears, contaminants i no renovables per energies netes i renovables. Per exemple, el Sol irradia un flux constant d'uns 175.000 TW sobre la Terra (1.530.000.000 TWh per any), unes 10.000 vegades superior a l'energia de l'actual sistema energètic. Però una cosa és la potència de l'energia del Sol i l'altra és la que es pot utilitzar de manera efectiva en una unitat de temps determinada. A Catalunya i Andorra hi ha grans possibilitats amb l'energia solar, que s'ha d'utilitzar si es vol fer la transició energètica.

Si bé la transició cap a un nou model energètic és necessària a escala global, molt més ho és a Europa, que el 2014 va importar el 72% dels combustibles fòssils que va consumir, amb un cost avaluat d'uns 450.000 milions d'euros. Espanya importa gairebé el 98% dels combustibles fòssils, amb un cost d'uns 50.000 milions d'euros, i Catalunya importa tots els fòssils amb un cost d'uns 8.000 milions d'euros. Segons les dades de l'Observatori de la Sostenibilitat d'Andorra [8] i el Llibre blanc de l'energia d'Andorra [9], la situació energètica d'Andorra també es caracteritza per una dependència gairebé total de l'exterior (aproximadament el 96%) i una alta supeditació als combustibles fòssils; tan sols un 15% de la demanda d'energia elèctrica es genera de forma autòctona, gairebé íntegrament a partir d'energia hidroelèctrica (el 43% de l'energia consumida a Andorra és energia elèctrica). Ara bé, cobrint al voltant de l'1% del territori amb panells fotovoltaics es podria satisfer el consum elèctric actual d'Andorra (uns 600 GWh a l'any).

Cal tenir en compte, però, que si bé la transició energètica

Bibliografia

[1] <https://www.upc.edu/ca/sala-de-premsa/noticies/la-upc-proposa-claus-per-avancar-cap-a-un-nou-model-energetic>

[2] Llorca, J. *El Hidrògeno y nuestro futuro energético*. Edicions UPC, 2010. ISBN 9788498804188.

[3] Statistics. World: Balances for 2014, de l'Agència Internacional de l'Energia.

https://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=WORLD&product=balance_s&year=2014 [4] Consum d'energia, Idescat (Institut d'Estadística de Catalunya).

<http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=501>

[5] Climate-friendly, reliable, affordable: 100% renewable electricity supply by 2050, Statement No 15 (ISSN 1612-2968), 2010; SRU, German Advisory Council on the Environment.

http://www.umwelttrat.de/SharedDocs/Downloads/EN/04_Statements/2010_05_Statement15_Renewablesby2050.pdf%3F__blob=publicationFile

[6] White Paper on the ambition of: A future low carbon Dutch Power System Considerations on the Dutch Power System towards 2050, based on 100 % renewable energy sources, including a proposal, Kivi, Engineering Society, 2014.

https://www.kivi.nl/media/Techniekpromotie/Thema_sKIVINIRIA/Energie/White_Paper_Power_2050.pdf

[7] Transition Towards a Low Carbon Energy System by 2050: What Role for the EU? Institucions Coordinadores: European University Institute, Robert Schuman Centre for Advanced Studies, Florence School of Regulations, 2011.

<http://www.eui.eu/Projects/THINK/Documents/THINK2050Report.pdf>

[8] <http://www.obsa.ad/>

vers el 100% de fonts renovables és possible i molt favorable en una perspectiva de futur, cal un gran esforç col·lectiu de canvi de mentalitat i de formes de procedir i, alhora, una gran transformació dels sistemes tècnics, de gestió i de governança de les societats actuals. El baix cost, la comoditat i els patrons de comportament que les energies fòssils han proporcionat a la ciutadania, així com les resistències dels actors energètics a perdre els seus privilegis, seran dificultats que caldrà vèncer. George Russell ja ho va anunciar: "La quantitat de persones que poden viure al mateix temps damunt la Terra i quant i quan plenament poden viure són coses que depenen de la seva aptitud per controlar l'energia" [11]. Un corrent de pensament que també agafa força és el que es coneix com a *model de decreixement*, iniciat pel matemàtic Nicolae Georgescu (1906-1994) i impulsat per l'economista Serge Latouche (1940-). La idea del decreixement és una conseqüència del fet que no és possible el creixement econòmic continu en un planeta limitat. Com que ja som a prop de superar molts dels límits ambientals possibles, hi ha qui pensa que l'única estratègia que sembla viable a mitjà i llarg termini és el decreixement. El decreixement no és un concepte en negatiu, sinó que, en paraules de Latouche, seria com "quan un riu es desborda i tots desitgem que *decreixi* perquè les aigües tornin a la normalitat". No és una cosa negativa, sinó necessària. El corrent ideològic del decreixement té com a objectiu fer que la gent tingui ganes de canviar la manera de viure i d'utilitzar els recursos. Per als seus partidaris, el decreixement serà, tard o d'hora, imposat per la reducció dels recursos naturals. Per tant, proposen anticipar-se a la situació de manera voluntària per pal·liar els efectes negatius que això comportarà per a la qualitat de vida de tothom.

Una característica del model energètic actual i, per extensió, del model econòmic dominant és l'enorme distància que hi ha entre producció i consum [1]. El 2014 la població urbana mundial era el 54% del total, el 73% a Europa [10]. A escala global les ciutats acumulen el 70% de les emissions i consumeixen el 75% dels recursos. Aquest nou horitzó urbà implica desafiaments de desenvolupament, governança i sostenibilitat molt grans i variats (figura 3). Avui dia, tant el sistema energètic com la planificació urbana i territorial responen a un model econòmic global basat en estocs, dividit

en zones separades de producció i de consum connectades per infraestructures de transport que usa grans quantitats de combustibles fòssils. Una gran part del consum d'energia té a veure amb aquesta organització. Històricament, la implantació de les activitats en el territori (fluxos d'energia, aigua, béns, aliments i tractament de residus) i la necessitat de creixement econòmic han justificat la irreversibilitat del consum de combustibles fòssils amb les consegüents emissions. El coneixement sobre els actuals sistemes d'energia renovable permet fer una previsió de la superfície que caldrà dedicar-hi, però el seu impacte i la implantació depenen del model adoptat. Si es manté la producció concentrada en uns pocs llocs, l'impacte territorial esdevé enorme i no hi estem preparats [1]. En canvi, si l'energia és captada de manera contínua i propera a tot el territori, els impactes són més distribuïts i favorables a una implantació gradual. És el que es coneix com a *generació distribuïda d'energia*.

Fa temps que hi ha indicis que transitem per un canvi d'època, tant pels límits del sistema natural que ens sosté (recursos, energia, biodiversitat, impactes ambientals, canvi climàtic) com per les oportunitats dels desenvolupaments tecnològics sorgits en les darreres dècades. Hi ha un món nou que pugna per emergir i també un món vell que tem el canvi [1]. En aquest sentit, el 2007 la Unió Europea va establir un conjunt de mesures (també conegudes com a Estratègia 20-20-20) amb tres objectius bàsics sobre el clima i l'energia per al 2020: (i) reduir un 20% les emissions de gasos d'efecte d'hivernacle en relació amb els nivells del 1990, (ii) augmentar fins a un 20% les energies renovables en la combinació energètica i (iii) millorar l'eficiència energètica en un 20%. El 30 de novembre del 2016, la Comissió Europea va aprovar l'anomenat *paquet d'hivern* [12], que, sota el lema "Energia neta per a tots els europeus: desbloquejar el potencial de creixement d'Europa", estableix noves fites per al 2030: (i) reduir (com a mínim) un 40% les emissions respecte al 1990, (ii) elevar les energies renovables per damunt del 27% i (iii) millorar en un 30% l'eficiència energètica. Un dels aspectes més encoratjadors és que es presenta en un mateix paquet legislatiu interrelacionat els objectius d'eficiència energètica, de foment de les energies renovables i de reducció de les emissions de CO₂. A Catalunya s'ha signat recentment (gener del 2017) el Pacte nacional per a la transició energètica a Catalunya [13], nascut arran de la

[9] https://www.mediambient.ad/images/stories/energia/documents/LlibreBlanc_2012.pdf

[10] World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. <https://esa.un.org/unpd/wup/>

[11] Russell, G. *The Conquest of Energy*. William Morrow ed., 1968. ISBN 9780688013554.

[12] Energia neta per a tots els europeus: desbloquejar el potencial de creixement d'Europa, Comissió Europea, Brussel·les, 30 de novembre del 2016. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-4009_es.htm

[13] Pacte nacional per a la transició energètica de Catalunya, Institut Català d'Energia. http://icaen.gencat.cat/ca/plans_programes/transicio_energetica

Figura 3. Seran capaços els líders mundials de canviar el rumb del nostre sistema energètic actual i el seu impacte sobre el medi ambient? Amb les energies renovables pots ser sí... Com bé va dir Steven Chu, premi Nobel de física el 1997, "l'edat de pedra no es va acabar perquè s'acabessin les pedres, sinó perquè es van trobar millors solucions; ara tenim l'oportunitat de fer el mateix amb l'energia"

necessitat de generar un diàleg entre totes les forces polítiques i els representants de la societat civil per consensuar un nou model energètic català basat en energies renovables, net, descentralitzat, democràtic i sostenible, en línia amb els objectius de la Unió Europea en matèria d'energia.

