



REIAL ACADÈMIA
DE CIÈNCIES I ARTS DE BARCELONA

(<https://www.racab.cat/>)

Q Cercar ...

Estàs aquí: Inici (/) / OPINIÓ (/academia/opinio)
/ Reptes per assolir el 100 % d'energia verda a Catalunya

Reptes per assolir el 100 % d'energia verda a Catalunya

👤 Xavier Obradors 📅 Creat el 30 abril 2021 ⌚ Darrera actualització el 03 Mai 2021

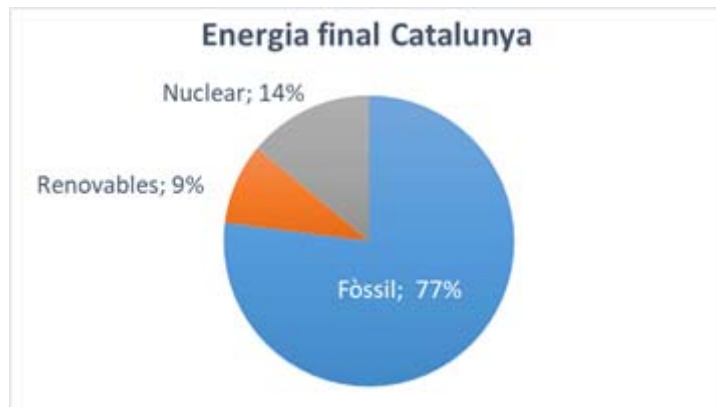
Els acords sobre el clima de París, assumits per la Unió Europea, Catalunya i Espanya, es van traduir en el compromís que el 2050 tinguem un model energètic 100 % neutre en gasos d'efecte d'hivernacle, marcant fites intermèdies, per exemple per al 2030 (reducció en un 80 % de la generació de CO₂). Aquest nou model energètic és el que s'anomena de transició a l'*energia verda*, o sigui neutra pel que fa a la generació de CO₂ com a gas d'efecte d'hivernacle. També s'inclou en general en aquesta accepció de *energia verda* l'absència de residus nuclears, és a dir, no es preveu la possibilitat d'incloure sota aquest concepte els reactors de fissió nuclear.

Les preguntes que ens hem de fer són diverses: disposem de les tecnologies adequades per aconseguir aquesta fita sense precedents en la història de la humanitat? Podem reconvertir el 85 % de l'energia primària d'origen fòssil que actualment consumim a energia verda? Podem reconvertir la generació elèctrica d'origen nuclear actual també a energia verda? Quins són els recursos que ens calen i quina ocupació d'espai no urbanitzat es requeriria? Està la societat preparada i mentalitzada per assumir les necessitats creades? Són moltes preguntes d'una gran complexitat, certament, que intentarem desgranar a continuació aportant les dades per al cas de Catalunya.

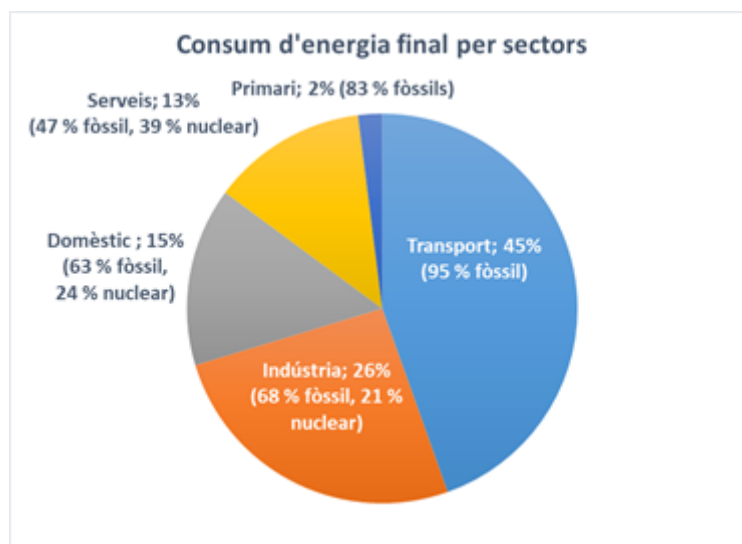
Diversos investigadors arreu del món s'estan plantejant recentment aquests dilemes i han fet propostes a escala global del full de ruta que cal seguir basant-se en gran mesura en estimacions fetes amb les tecnologies actualment existents, sense considerar de cap manera que es puguin generar tecnologies trencadores que alleugereixin la magnitud del repte. Podem dir, doncs, que les estimacions que podem fer ara mateix són de màxims. No considerarem les millores de rendiment o d'eficiència o les tecnologies disruptives que s'aconseguiran i que podran disminuir la pressió sobre les necessitats de nous espais rurals o marítims per a la generació renovable d'energia. En tot cas, veurem que la magnitud del repte ens imposa fer un esforç sense precedents, de cooperació internacional, per generar nous coneixements i noves tecnologies que facin possible assolir un 100 % d'energia verda.

El doctor Josep Font recentment va fer un excel·lent resum (enllaç article (/academia/opinio/2021-abril-8)) d'alguns dels reptes científics associats a l'assoliment de l'energia verda i, en particular, mencionava que caldria també explorar quin és l'estat dels avenços actuals en energia de fusió per avaluar si aquesta tecnologia podria contribuir a minimitzar les nostres necessitats en energies renovables dins del període que considerem, o sigui, abans del 2050. Al final d'aquest article d'opinió, doncs, ens referirem a les recents novetats registrades en aquest àmbit que ens donen una certa esperança sobre l'acceleració del desenvolupament d'aquesta tecnologia.

Catalunya consumeix en energia primària actualment uns 295.000 GWh/any i d'aquesta energia arriben al nostre consum final uns 168.000 GWh/any, de manera que perdem pel camí un 44 % de l'energia (transformació, transport i distribució; el que s'anomena *itineraris energètics*). La distribució segons l'origen d'aquesta generació és: 70 % fòssil, 24,5 % nuclear i 5,4 % renovable. El consum final de l'energia es distribueix entre els diferents sectors i orígens de la manera següent: transport, 45 % (95 % d'origen fòssil); indústria, 25 % (68 %, fòssil; 21 %, nuclear); consum domèstic, 15 % (63 %, fòssil; 24 %, nuclear); 13 %, serveis (47 %, fòssil; 39 %, nuclear), i 1,6 %, sector primari (83 %, fòssil).



Distribució entre les fonts de generació d'energia a Catalunya (2019)



Distribució entre sectors del consum final de l'energia a Catalunya i l'origen no renovable en cada cas (2019)

Font: Institut Català d'Energia

Veiem, doncs, que convertir aquest *statu quo* en un consum final 100 % neutre en gasos d'efecte d'hivernacle és un repte colossal. També és molt important percebre que l'energia domèstica que consumeix (i paga directament) la ciutadania només representa un 15 %; la resta es paga de manera indirecta, integrant el seu cost en el preu dels productes que consumim (transport, indústria, serveis, agricultura i alimentació).

Convé assenyalar també que els darrers trenta anys el nostre consum d'energia ha augmentat a un ritme de l'1,5 %/any, mentre que la nostra població ha crescut ~0,8 %/any. Aquesta tendència també és vàlida a escala global. Potser, doncs, la primera conclusió que podem extreure'n és que per a aturar el creixement total de consum d'energia ens cal també estabilitzar la població, tant a escala global com a Catalunya. D'altra banda, ens podem posar com a repte, cosa que s'està fent també de manera global, que el 44 % d'energia que diferencia la generació primària i el consum final l'eliminem, atès que els *itineraris energètics* fòssils tenen moltes més pèrdues que els associats a les energies renovables. És a dir, si som optimistes, podem dir que fent molt esforç a millorar l'eficiència de totes les tecnologies (energètiques i no energètiques) que utilitzem i augmentant d'una manera molt important la conscienciació social, és molt plausible que aturem el creixement del nostre consum final d'energia a Catalunya al nivell actual o, fins i tot, el puguem minvar. Per contra, si seguim amb el ritme actual de creixement de consum haurem augmentat en un 40-45 % el nostre consum l'any 2050.

Així doncs, podem xifrar, pel cap baix, les nostres necessitats en energia final en uns 168.000 GWh/any. Recordem que actualment l'energia final d'origen renovable a Catalunya és del 9 % (~15.000 GWh/any); per tant, ens cal generar ~150.000 GWh/any addicionals de manera renovable el 2050, i el ritme al qual ens acostem a aquesta fita ens ha de permetre que més del 80 % d'aquest objectiu s'hagi assolit el 2030.

Per exemple, la producció elèctrica de Catalunya és d'uns 45.000 GWh/any (20 % renovable, incloent-hi la hidroelèctrica), o sigui que si tota l'energia final que utilitzarem el 2050 ha de tenir l'origen en l'electricitat renovable (incloent-hi l'hidrogen verd), hem de multiplicar per 3,7 la nostra generació elèctrica total! D'altra banda, recordem que actualment un 55 % de la generació elèctrica de Catalunya és d'origen nuclear i aquestes centrals s'hauran d'aturar molt abans del 2050. Per tant, no només hem de generar 3,7 vegades més d'energia elèctrica amb origen renovable, sinó que també hem de substituir el 75 % de la nostra generació elèctrica actual per fonts d'origen renovable. En resum, estimem que la generació renovable actual (~15.000 GWh/any) s'ha de multiplicar per deu per assolir el repte que ens plantejem, la neutralitat en gasos d'efecte d'hivernacle.

Un altre factor que cal tenir en compte per a avaluar quina potència elèctrica s'ha d'instal·lar, és que les energies renovables són intermitents i tenim molts pocs mitjans per a emmagatzemar l'energia elèctrica d'una manera eficient. Ens veiem obligats, doncs, a més a més de desenvolupar totes les metodologies d'emmagatzematge eficient d'energia i de connectar-nos a la xarxa elèctrica internacional, a sobredimensionar en certa manera la potència instal·lada per poder respondre als pics i valls de demanda o de producció (nits, poc vent, etc.). La connexió elèctrica internacional és un element cabdal per a estabilitzar el nostre sistema elèctric, assegurar la continuïtat en el subministrament i, fins i tot, plantejar-se utilitzar fonts llunyanes d'energia renovable (recordem que el mar del Nord podria subministrar energia eòlica a tot Europa). També cal fer el balanç comercial que tindrem amb altres països, per comptabilitzar adequadament la deslocalització energètica que originem en produir industrialment a altres països coses que consumim aquí.

Resulta força complex transformar aquestes necessitats d'energia renovable en una distribució de fonts diverses, ja que cada país pot tenir millors perspectives per a recursos diferents (nosaltres som especialment rics en el potencial fotovoltaic). En tot cas, però, farem una estimació grollera que no s'allunyi massa de les propostes fetes en els fulls de ruta que inclouen estimacions globals per a 139 països, o sigui, pràcticament tots els signants de l'Acord de París (Jacobson *et al.*, 2017, *Joule*, 1, 108).

La idea amb més suport actualment entre els experts és que les energies renovables que poden absorbir la transformació dels combustibles fòssils a energia verda són la fotovoltaica i l'eòlica. En el primer cas,

podem distingir entre la generació d'àmbit residencial i la comercial de proximitat que es podria consumir en microxarxes (comunitats energètiques locals), de la generació a gran escala en parcs solars per a alimentar la xarxa elèctrica general. En el cas de la generació de l'energia eòlica, tenim les fonts *onshore* (terrestres) i *offshore* (marítimes). Aquestes dues fonts d'energia —fotovoltaica i eòlica— representarien un 95 % de la generació renovable, i el 5 % restant de fonts renovables correspondria a energia hidroelèctrica, mareomotriu, ones del mar, geotèrmica, residus, etc. Una vegada més, és important assenyalar que les estimacions fetes amb les tecnologies actuals es podrien reduir en bona mesura si les inversions en R+D fossin rellevants i es millorés l'eficiència de totes aquestes tecnologies o se'n generessin de noves.

Si apliquem els criteris establerts d'eficiència, de distribució entre fonts i ús final d'energia al cas de Catalunya, arribem a les següents distribucions. Els espais i infraestructures ja construïts (cases, polígons industrials, mercats, aeroports, estacions de tren, autopistes, etc.) podrien generar com a màxim uns 40.000 GWh/any d'energia fotovoltaica, o sigui, un 24 % de l'energia que hem estimat necessària. Aquestes fonts d'energia podrien estar fortament lligades al consum de proximitat i l'energia es podria distribuir amb microxarxes. Ens resta, per tant, assignar una generació renovable addicional d'uns 128.000 GWh/any per a la resta de necessitats energètiques, incloent-hi el transport (vehicle elèctric, ferrocarril, hidrogen o combustibles solars per al transport pesant, l'aviació i el transport marítim). Aquesta generació renovable caldria distribuir-la entre els grans parcs fotovoltaics i la generació eòlica (*onshore* i *offshore*). En el cas que no consideréssim l'opció *offshore*, es pot estimar que es necessitarien unes 72.000 ha d'espai rural per a instal·lar els sistemes pertinents, això correspon a un 2,2 % del territori de Catalunya. Si descomptem l'energia renovable que ja tenim actualment instal·lada ens trobem que encara ens calen unes 67.000 ha addicionals de terreny, o sigui, un 2 % del territori.

L'energia eòlica *offshore* ha progressat d'una manera molt notable recentment i es considera que ho seguirà fent, per exemple introduint aerogeneradors superconductors, molt més lleugers i de més potència que els actuals. Ara ja estem molt a prop d'instal·lar generadors de gran potència (~10 MW), sigui ancorats al fons marí o flotants (els que s'haurien d'utilitzar a la costa catalana). S'estima que Espanya podria ser líder mundial en aquesta font renovable atès que té 6.000 km de costa. Un avantatge addicional d'aquests aerogeneradors és que disposen de més hores de vent i així cada aerogenerador podria aportar ~ 20 GWh/any. Per tant, si s'instal·lessin un miler d'aerogeneradors a les costes catalanes aconseguiríem uns 20.000 GWh/any (~12 % de l'energia final que necessitem), o sigui que reduiríem un 16 % les necessitats de terreny rural. En aquest cas ens mancarien encara generar uns 100.000 GWh/any, que requeririen unes 59.000 ha de terreny rural (equivalent a un quadrat de 24 km x 24 km). Per fer una comparativa sobre aquesta superfície, podem assenyalar que és equivalent a la que ocupa la comarca del Vallès Occidental, o la meitat del pla de Bages o quatre vegades el Barcelonès. Recordem, també, que la superfície urbanitzada i les infraestructures ocupen a Catalunya un 6 % del territori. Es tracta, doncs, encara d'una xifra d'ocupació de terreny rural molt rellevant que generaria un debat molt seriós sobre els equilibris entre paisatge, natura, vida rural i metropolitana, i, per tant, caldria fer tot el que calgués per a minimitzar l'impacte negatiu que es pogués generar. Per exemple, caldria dissenyar una xarxa elèctrica que minimitzés l'impacte en el territori, encara que augmentés el cost de la instal·lació corresponent, per exemple, soterrant les línies més importants. En aquest aspecte, s'han de considerar també les aportacions que podrien fer noves tecnologies com la superconductivitat per a minimitzar l'impacte de les xarxes elèctriques necessàries.

Pel que fa al desenvolupament de nous avenços en la generació fotovoltaica, l'eòlica o la d'hidrogen verd, sigui per electròlisi o fotòlisi de l'aigua, o de combustibles solars a partir de la reducció del CO₂ que ara generem i que hem d'eliminar, cal mencionar que l'R+D ha estat fent progressos extraordinaris els darrers anys. S'han creat nous nanocatalitzadors i noves cel·les fotovoltaïques de cost més baix, ha aparegut el concepte *agrofotovoltaica*, en què es combinen les capacitats de l'espectre lluminós per a la fotosíntesi dels conreus i la generació d'electricitat fotovoltaica. De fet, cal dir que la consideració seriosa de la rellevància de la crisi climàtica ha iniciat un esforç mundial sense precedents en l'àmbit de l'energia verda i, per tant, soc molt optimista sobre el progrés que assolirem en els propers anys. En aquests desenvolupaments, hi

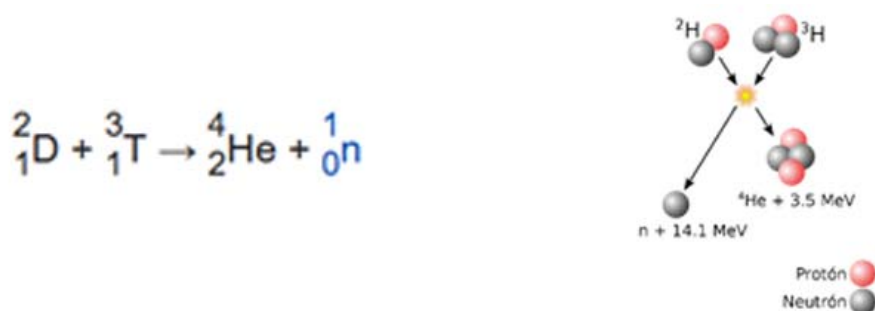
està també completament integrat el concepte economia circular, que té en compte el cicle de vida dels materials i la seva reutilització.

Però, quin és el grau d'implementació actual de les energies renovables a Catalunya respecte als compromisos adquirits i els països del nostre entorn? Com ja hem comentat, Catalunya només té un 9 % de la seva energia utilitzada d'origen renovable. Per al 2020 el compromís era tenir-ne el doble d'aquest percentatge, però malauradament els darrers anys s'ha produït una aturada generalitzada que ens ha situat en una posició molt retardada. Per exemple, Catalunya només contribueix al 3 % de l'energia fotovoltaica i al 7 % de l'energia eòlica d'Espanya. Fins i tot Alemanya, amb una insolació molt menor, té actualment el doble del nostre percentatge de generació renovable.

Si tenim en compte les instal·lacions sol·licitades el 2021, la situació milloraria d'una manera força remarcable. Les noves instal·lacions fotovoltaïques generarien ~30.000 GWh/any (~ 27 % de les noves necessitats i ocuparien unes 7.000 ha de terreny). El nombre d'aerogeneradors es duplicaria (~ 800 nous aerogeneradors) i permetria generar ~6.000 GWh/any (~ 4 % de les noves necessitats). En conjunt, doncs, aquestes noves iniciatives farien que Catalunya tingués ~ 25 % de la seva generació d'energia d'origen renovable i començaria a atrapar el retard acumulat en els darrers anys per a poder acabar complint els seus compromisos per al 2030 i el 2050.

Arribats a aquest punt, em veig obligat a plantejar si el coneixement científic actual i la prospectiva tecnològica que puguem realitzar ens dona esperança per a algun avenç prou disruptiu perquè canviï d'una manera dràstica el panorama descrit. Com he mencionat anteriorment, el doctor Font en el seu escrit d'opinió ja va mencionar alguns dels avenços recents en la generació fotovoltaica o en l'hidrogen verd. A parer meu, només hi ha una altra contribució que pot tenir un paper trencador del paradigma descrit i que es podria convertir en una realitat dins del període que considerem per a la transició energètica i més enllà: la fusió.

L'energia de fusió és la que s'allibera en una reacció de fusió entre dos nuclis i és la que es genera als estels, en particular, al Sol. La reacció més assequible per a un generador de fusió és la que tenim entre dos isòtops de l'hidrogen —el deuteri i el triti— que generen heli i un neutró, o sigui:



El combustible és, doncs, el deuteri —amb una abundància natural a l'aigua prou significativa— i el triti —que hi té una abundància molt baixa, però que es pot generar a partir del neutró de la mateixa reacció de fusió de l'hidrogen fent servir liti com a element de partida. En definitiva, l'energia de fusió és pràcticament inesgotable —com diu Bill Gates, tota l'energia que consumim a la nostra vida cap en un vas d'aigua.

Aquesta reacció de fusió desprèn un neutró amb una energia de 14,1 MeV que aprofitaríem per a fer funcionar turbines i generar electricitat. Això no obstant, perquè aquesta reacció sigui efectiva cal que el plasma que conté el deuteri i el triti estigui a 100 milions de °C. Per aquesta raó, després de diversos dissenys sobre com sostenir aquest plasma d'hidrogen, que no pot estar en contacte amb cap material, la millor opció és el que s'anomena un *tokamak*, un sistema ideat a la URSS el 1986. Es tracta d'un recipient en forma de dònut rodejat de camps magnètics molt intensos generats amb superconductors que confinen

el plasma a la part central del recipient. Aquest concepte ja s'ha provat en diversos laboratoris del món i des del 2005 existeix un projecte internacional per a construir el reactor més gran que s'ha fet mai per aconseguir acostar-se al que es necessita per a un generador de fusió comercial. Es tracta de l'ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), actualment en construcció a Cadarache (França) i que hauria de començar a operar l'any 2025. La tecnologia que va fer possible aquest reactor és la dels imants superconductors existents, els mateixos que actualment fem servir quan ens fem una ressonància magnètica en qualsevol hospital, i que anomenem *superconductors de baixa temperatura*. L'objectiu més rellevant d'aquesta instal·lació és demostrar que es pot produir fusió amb un balanç entre l'energia que s'injecta al plasma (generadors de radiofreqüència) i l'energia generada d'un factor 10 ($Q = 10$), tot a un nivell de potència d'uns 500 MW. El reactor té unes dimensions força faraòniques: un diàmetre de 20 m, una alçària total d'11 m i un pes de més de 5.000 Tm. La previsió és que aquest reactor sigui seguit posteriorment per uns altres ja més dirigits a la generació d'energia de fusió, els reactors DEMO. Hi ha diversos models al món en fase de disseny realitzada sota una intensa col·laboració internacional; tanmateix, es preveu que aquests reactors no estaran llestos fins al 2040.

En els darrers cinc anys, però, s'ha produït una proposta completament trencadora del paradigma existent que podria accelerar en bona mesura la disponibilitat de l'energia de fusió. Dos grups industrials i acadèmics centrats al MIT (EUA, Commonwealth Fusion Systems) i a Oxford (Gran Bretanya, Tokamak Energy) han proposat la fusió compacta (SPARC, Smallest Possible Affordable, Robust, Compact), basant-se en un disseny que utilitza imants superconductors d'alta temperatura dues vegades més potents que els d'ITER. Aquest avenç en els materials superconductors, disponibles ja a escala comercial, ha creat un nou paradigma en la generació de camps magnètics molt intensos i, per tant, de la fusió. L'innovador disseny dels SPARC té un impacte extraordinari en la disminució del volum i del cost i escurça d'una manera molt considerable la magnitud dels desenvolupaments necessaris per a fer viables els reactors de fusió comercials.

Les dimensions del reactor i dels imants són molt més reduïdes: el tokamak amb la mateixa potència que l'ITER (500 MW) tindria imants que generen el doble de camp magnètic i farien un diàmetre d'uns 2 metres, comparats amb els 20 m de l'ITER. En total s'aconsegueix una reducció del volum del plasma confinat al tokamak per un factor ≈ 10 amb la consegüent reducció del pes del reactor. El confinament i la pressió del plasma també augmenten en utilitzar camps magnètics més elevats i això ajuda a aconseguir un factor Q més alt (balanç entre energia generada i energia injectada). Totes aquestes característiques han facilitat una nova enginyeria dels reactors de fusió compacta SPARC i, fins i tot, es preveu que es puguin desmuntar per a reciclar elements al final de la seva vida útil, la qual cosa contribueix a disminuir-ne el cost respecte als reactors DEMO basats en superconductors de baixa temperatura. El primer repte que plantegen els reactors SPARC és que s'aconsegueixin superconductors d'alta temperatura a un cost competitiu, mantenint-ne les màximes prestacions. Aquest és precisament un dels objectius prioritaris de la recerca que es desenvolupa a l'*Institut de Ciència de Materials de Barcelona* (ICMAB-CSIC). Les previsions dels impulsors d'aquesta nova tecnologia de fusió, així com de la *National Academies of Sciences, Engineering and Medicine* dels EUA, són haver demostrat el bon funcionament dels seus reactors abans del 2030, cosa que obriria la possibilitat que els reactors comercials de fusió compacte fossin accessibles el 2040.

Aquestes iniciatives han atret grans inversors internacionals, entre ells, el fons d'inversió Breakthrough Energy Venture, creat per la Gates Foundation. Evidentment, com sempre passa en les idees molt trencadores, el risc és elevat i, per tant, no hi ha un consens complet entre els científics sobre la viabilitat d'aquesta proposta i la magnitud dels reptes que cal superar. En tot cas, doncs, cal tenir en compte aquesta tecnologia emergent i seguir-ne l'evolució en qualsevol disseny del full de ruta de la transició energètica verda i, evidentment, cal invertir el màxim possible en R+D en aquest àmbit per a accelerar-ne els avenços. Per al cas de Catalunya, fixem-nos que amb la instal·lació d'uns ~ 12 generadors de 0,5 GW, que ocuparien només unes 10 ha de terreny, es podria produir un 50 % dels 100.000 GWh/any d'energia renovable addicional que requerim. No cal dir, doncs, que l'èxit en aquesta opció energètica permetria

alleujar d'una manera molt rellevant la necessitat de transferir sòl rural a la producció d'energia. Aquests reactors de fusió evitarien d'altra banda la intermitència intrínseca de la resta d'energies renovables i, per tant, es poden considerar com la tecnologia que hauria de revertir l'esdevenidor de la humanitat a la segona meitat del segle XXI.

Per respondre a les preguntes que ens fèiem a l'inici d'aquest article, podem concloure que assolir el 100 % d'energia verda és un dels reptes científics, socials i econòmics més grans que s'ha posat mai la humanitat, i el calendari de què disposem no és gaire estès. Ens cal, doncs, multiplicar el nostre esforç en R+D en direccions molt diverses; la transversalitat de la recerca necessària és extraordinària, i ara més que mai la col·laboració internacional oberta és d'obligat compliment per assegurar un progrés ràpid i eficient.

Recordem que la indústria de l'energia és la més gran del món i, per tant, la transcendència econòmica i social a escala global del repte plantejat és colossal. Per exemple, Catalunya té actualment una despesa del 4,2 % del seu PIB (~ 9.000 M €/any) per procurar-se energia i pràcticament la seva totalitat és consumeix en importació (energies fòssils). Per aquesta raó, la transició a l'energia verda és una oportunitat única de generar valor industrial i llocs de treball de qualitat al país si sabem ser proactius i innovadors. A més a més, una vegada completada la transició verda, el país aconseguiria una seguretat i una independència energètica estratègica des de tots els punts de vista. Cal però que siguem creadors de tecnologia i no només consumidors de tecnologia. Per exemple, la competitivitat de la nostra economia augmentaria d'una manera molt considerable i, per tant, també ho faria la qualitat de vida dels ciutadans i el nivell dels seus serveis socials, a la vegada que ens deslliuràrem dels vaivens geoestratègics mundials.

Per arribar a aquesta fita caldrà, però, fer unes inversions molt importants que determinaran el futur del nostre país. Algunes d'aquestes inversions les podran realitzar directament els ciutadans i les administracions públiques, que se'n beneficiaran d'una manera directa mitjançant la reducció del cost de la seva factura energètica (l'energia que generàrem pel consum de proximitat, per exemple). Les altres inversions, d'una escala molt superior, s'hauran d'efectuar per camins financers molt més agosarats que requeriran una gestió publicoprivada que compagini el bé col·lectiu, el respecte al medi, la solidaritat territorial i ciutadana i la rendibilitat econòmica mesurada de les inversions realitzades. En aquesta direcció, cal mencionar l'oportunitat única dels fons Next Generation EU per a impulsar d'una manera decidida l'energia verda.

Per acabar, penso que les grans fites de la humanitat són aquelles que ens fan aixecar el vol per sobre de les nostres nimietats particularistes. Potser ara estem al davant d'una d'aquestes oportunitats que només tenim una vegada a la vida!



Xavier Obradors (/academics/numeraris/o/obradors)

Director de l'Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC)
Secció de Física (2a). Especialitat: Física de la Matèria Condensada (RACAB)

Estàs aquí: [Inici \(/\)](#) / [OPINIÓ \(/academia/opinio\)](#)
/ [Reptes per assolir el 100 % d'energia verda a Catalunya](#)

Membre de:

ALLEA. ALL European Academies (<http://www.allea.org/>)

Consell Interacadèmic de Catalunya (</consell-interacademic-cat>)



Portal transparència (</transparencia>)

Contacte (</contacte>)

Visites guiades a la Seu de l'Acadèmia (<http://www.sternalia.com/ca/visita-guida-a-la-racab.html>)

Visites Observatori Fabra (<http://www.fabra.cat/visites/>)

Sopars amb estrelles (Observatori fabra) (<http://www.soparsambestrelles.cat/>)

Legal

Avís legal (</avis-legal>)

Política de cookies (</cookies>)

Política de privacitat (</privacitat>)

Segueix-nos



[@RACABarcelona](https://twitter.com/RACABarcelona) (<https://twitter.com/RACABarcelona>)



[RACAB Barcelona](https://www.youtube.com/channel/UCKPSPuUsIIKIONbjQZHn3UQ) (<https://www.youtube.com/channel/UCKPSPuUsIIKIONbjQZHn3UQ>)

RACAB © 2021 Copyright.

Powered by Joomla! (<https://www.joomla.org/>) ©

Bootstrap (<http://twitter.github.io/bootstrap/>) is a front-end framework of Twitter, Inc. Code licensed under Apache License v2.0 (<http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>).

Font Awesome (<http://fontawesome.github.io/Font-Awesome/>) font licensed under SIL OFL 1.1 (<http://scripts.sil.org/OFL>).