



COL·LECTIU PER A UN NOU MODEL ENERGÈTIC I SOCIAL SOSTENIBLE

## POSICIONAMENT:

### L'HIDROGEN RENOVABLE, VECTOR POLIVALENT

Ponents: Eduard Furró, Jordi Llorca, Maria Serra, Xavier Flotats i Carles Riba Romeva  
(Aprovada en junta el 18 de maig de 2020)

Resum de la proposta a la pàgina 6

## 1. Introducció

### Crisi energètica i climàtica.

El model energètic actual, basat en estocs de combustibles fòssils i d'urani, ha permès un desenvolupament en continu creixement, no exempt de conflictes ni de desequilibris socials, únicament limitat pels costos d'aquests recursos en el mercat. Tanmateix, avui comencem a notar no tan sols els efectes del progressiu declivi d'aquests recursos escassos i no renovables en una Terra finita, sinó també la modificació que la combustió del carbó, del petroli i el gas fòssil va generant en la composició de l'atmosfera. El conseqüent desequilibri climàtic i uns índexs de contaminació que la naturalesa ja no és capaç de metabolitzar amenacen tots els ecosistemes del planeta així com la pervivència de la pròpia vida humana, al menys tal com avui la coneixem.

Ens trobem davant del repte de canvis profunds. Certament, sense una modificació dels comportaments socials i les formes d'organització econòmica i política, qualsevol solució serà com intentar omplir un cistell d'aigua; però, sense disposar d'un sistema energètic alternatiu, els problemes exposats ens conduiran a una forta regressió en la civilització.

Hi ha un consens generalitzat que el relleu és l'aprofitament de les fonts renovables d'energia; però tot i que aquestes fonts procedeixen de fluxos inexhauribles i molt superiors a les nostres necessitats energètiques (radiació solar, vents, pluges, entre d'altres), ho fan de forma intermitent i/o aleatòriament variable.

### L'emmagatzematge, la clau dels sistemes energètics renovables

El sistema elèctric actual, majoritàriament no renovable, ajusta en cada moment la producció a la demanda gràcies als estocs de recursos primaris.

Però, a mesura que augmenta el pes de les energies renovables en el sistema energètic, es fa cada cop més necessari compassar en el temps els fluxos primaris (intermitents i aleatoris) amb les nostres necessitats mitjançant l'emmagatzematge d'energia. La seva funció bàsica és guardar els excedents d'energia en determinats moments i restituir-los quan hi ha dèficits; i, encara més, sense un sistema d'emmagatzematge adequat, no seria possible proveir les societats dels mínims d'energia necessària durant certs episodis meteorològics.

S'estima que, sense un sistema d'emmagatzematge adequat, la transició energètica pot quedar bloquejada quan el percentatge de les energies renovables de flux superin un cert llindar xifrat entre el 30 i 40%, situació que els acords sobre el clima preveuen aconseguir en la dècada que s'inicia. Les fonts renovables majoritàries a Catalunya (fotovoltaica, eòlica i hidroelèctrica) ens ofereixen energia en forma d'electricitat, avui dia tecnològicament difícil d'emmagatzemar de forma massiva.

## 2. Principals sistemes d'emmagatzematge

Les principals fonts renovables emergents (fotovoltaica i eòlica) produeixen electricitat (vector no fàcilment acumulable) en base a recursos de flux, mentre que els principals combustibles (fòssils i nuclear) en declivi generen calor en base a recursos d'estoc. Entre les energies renovables que admeten l'emmagatzematge hi ha la biomassa, l'energia solar tèrmica i, en menor mesura, la hidroelèctrica amb embassament; però, totes tres tan sols cobreixen una part petita de les necessitats energètiques.

Per tant, quan parlem d'emmagatzematge d'energia ens referim a l'energia elèctrica en la perspectiva de la futura electrificació del sistema energètic. Avui dia, els principals sistemes d'emmagatzematge d'energia elèctrica són:

### Bateries elèctriques

De la mà de l'automoció i la pressió del màrqueting per substituir el vehicle de motor de combustió per un d'elèctric, avui dia, l'emmagatzematge d'electricitat s'associa a bateries elèctriques.

Les bateries electroquímiques es van desenvolupar fa més de dos segles i estan cridades a jugar un paper molt important, especialment en aplicacions mòbils, en vehicles petits i de recorreguts curts o per cobrir irregularitats locals de la xarxa elèctrica. El rendiment en el procés de càrrega i descarregar és relativament elevat i se situa entre el 70 i 80%.

Però, tot i que s'ha millorat molt la seva tecnologia, presenten limitacions quant a capacitat d'emmagatzematge, cost, resposta a puntes de càrrega i curtcircuits, pèrdua de càrrega en temps prolongats i límits en la vida útil segons els règims de treball (càrrega i descàrrega). A més, hi ha el problema dels residus de les bateries gastades. En tot cas, no són la solució adequada a les necessitats d'emmagatzematge massiu de l'energia elèctrica.

### Centrals de bombeig

Malgrat les aparences, l'energia potencial continguda en els embassaments és relativament baixa ja que la força de la gravetat és la més dèbil de totes. Per exemple, la central de bombament de Sallente-Estany Gento a la Vall Fosca, amb un embassament de 3,25 hm<sup>3</sup> i un salt d'uns 370 metres, tan sols emmagatzema uns 2,5 GWh quan Catalunya en consumeix 118 GWh per dia.

D'altra banda, les centrals de bombament entre dos embassaments tan sols són útils per absorbir puntualment l'energia excedent de les centrals nuclears durant la nit. Estan dissenyades per proporcionar grans potències (446 MW la de l'Estany Gento, quasi la meitat d'una nuclear) a fi de regular el sistema actual, i no per emmagatzemar importants quantitats d'energia durant temps prolongats. Això sí, el rendiment se situa entre el 70 i el 80%.

### Emmagatzematge com a hidrogen

Consisteix en obtenir hidrogen (H<sub>2</sub>) a partir de l'electròlisi de l'aigua (procés que també permet recollir i emmagatzemar l'oxigen). L'hidrogen obtingut conté entre el 75 i 85% de l'electricitat utilitzada.

L'hidrogen es pot emmagatzemar durant un temps prolongat i, després, usar en una pila de combustible per obtenir electricitat o, per combustió, per obtenir calor. També pot ser embarcat en vehicles en condicions favorables (massa, volum i temps de càrrega), assimilable als dels actuals derivats del petroli; i, en ser d'origen renovable, està lliure de CO<sub>2</sub> tant en la seva obtenció com en el seu ús.

## 3. Aplicacions de l'H<sub>2</sub> com a vector polivalent

Tot apunta que les necessitats energètiques evolucionaran vers la modalitat elèctrica, però una part molt important, de l'ordre del 30%, continuaran essent tèrmiques (la meitat d'elles en usos a alta

temperatura; metal·lúrgia, ciment, ceràmica, vidre, química). Del total d'energia necessària, de l'ordre del 10% o més, correspondrà a la mobilitat amb vehicles de gran abast i tonatge (camions, autobusos, trens no electrificats, maquinària pesant, vaixells i aviació).

Per tant, cal un emmagatzematge massiu de l'energia per mitjà d'un vector energètic polivalent que pugui fer de pont entre xarxa elèctrica, les aplicacions tèrmiques i les aplicacions de mobilitat. Alhora, aquest vector hauria de partir d'algun recurs amplament disponible arreu i obtingut a partir de fonts renovables. Aquest vector és l'hidrogen (renovable) obtingut fonamentalment per electròlisi de l'agua amb electricitat renovable. També s'estan investigant altres camins per obtenir-lo.

Un cop obtingut l'hidrogen a partir de les fonts renovables (a Catalunya, fonamentalment en base a electricitat procedent d'instal·lacions fotovoltaïques i eòliques), aquest pot tenir els següents destins:

### **Generació d'electricitat quan la demanda és superior a l'oferta**

A partir de l'hidrogen renovable acumulat es pot generar electricitat en base a dos processos:

#### *Pila de combustible*

Dispositiu que combina l'hidrogen amb l'oxigen de l'aire en presència de certs elements catalítics, per obtenir electricitat, en aquest cas amb l'objectiu d'alimentar i regular la xarxa elèctrica. Existeixen piles d'hidrogen de tecnologies diferents, i el seu rendiment pot arribar al 45%. Alhora, la calor generada en grans piles de combustible pot ser aprofitada en règim de *cogeneració* en aplicacions tèrmiques (xarxes de calor) en comunitats locals i activitats properes fins a un rendiment conjunt del 90%.

#### *Centrals de cicle combinat*

La combustió de l'hidrogen permet el funcionament de centrals elèctriques de cicle combinat que, gràcies a la gran inèrcia mecànica, asseguren l'estabilitat i la freqüència de la xarxa. El seu rendiment pot estar entre el 50 i 60% i el rendiment global electricitat-hidrogen-electricitat se situa per sobre del 40%. Admet la modalitat de *cogeneració* amb un aprofitament que pot arribar al 90%. També facilita etapes de transició energètica en base a mesclar l'hidrogen (de poder calorífic de tres vegades superior) al gas fòssil. Aquestes centrals poden fer funcions reguladores tant de la xarxa global com de les subxarxes territorials.

### **Processos a altes temperatures**

#### *Cambres de combustió*

L'hidrogen permet alimentar cambres de combustió de processos a alta temperatura (difícils d'obtenir sense una combustió) en aplicacions com la siderúrgia, la metal·lúrgia, la fabricació del ciment, les ceràmiques, el vidre o determinats processos químics, amb un aprofitament tèrmic del 80 al 90% i unes emissions netes (vapor d'agua).

#### *Oxicombustió*

L'electròlisi de l'agua porta implícit l'alliberament d'oxigen a l'ànode que també pot ser recollit en un dipòsit a un cost marginal molt baix. Això permet l'anomenada oxicombustió (combinació directa de l'hidrogen amb l'oxigen en proporcions estequiomètriques) que millora el rendiment energètic alhora que evita la formació d'òxids de nitrogen (NOx) que es creen quan s'usa l'aire com a combustible, gasos fortament contaminants. L'oxicombustió de l'hidrogen es pot aplicar tant a processos industrials a alta temperatura com en les centrals elèctriques de cicle combinat.

### **La mobilitat elèctrica amb hidrogen**

#### *Embarcament d'energia en el vehicle*

L'interès de l'hidrogen en la mobilitat elèctrica rau en les millors condicions de l'embarcament d'energia en els vehicles (en pes, volum i temps de recàrrega) respecte a les bateries elèctriques. Per

exemple, en un automòbil convencional, 1 kg d'H<sub>2</sub> pot moure el vehicle uns 100 km. L'emmagatzematge de 5 kg d'H<sub>2</sub> a 700 bar requereix un dipòsit d'uns 125 kg de pes i 125 litres de volum, valors superiors als de la gasolina o gasoil, però molt inferiors als de les bateries. La recàrrega és ràpida, semblant a la de la gasolina, però en sistemes estancs a alta pressió, com el gas fòssil. L'hidrogen s'usa per generar electricitat en una pila de combustible que mou un motor elèctric (el cas més freqüent) o com a combustible en un motor tèrmic. El rendiment energètic de la pila de combustible se situa sobre el 45% i el rendiment global (des de l'electricitat renovable), entre el 30 i el 35%, pràcticament el doble del rendiment dels carburants fòssils els qual, comptant l'extracció i el refinament dels hidrocarburs, se situa per sota del 20%.

#### *Tipus de transport*

Com ja s'ha comentat, malgrat el menor rendiment respecte a les bateries, la tracció elèctrica alimentada amb hidrogen i pila de combustible serà l'alternativa més factible en els vehicles de gran abast i tonatge (autobusos, camions, ferrocarrils no electrificats, vaixells) i en usos intensius (taxis, tractors, i altra maquinària autònoma). Pel que fa a l'aviació, ja hi ha experiències exitoses de propulsió amb hidrogen, tant en turbojets i motors tèrmics com amb pila de combustible i motor elèctric; amb l'opció de l'hidrogen líquid, la massa en l'enlairament disminueix considerablement; hi ha qui també propugna algun tipus de biocombustible enriquit amb hidrogen.

#### **L'H<sub>2</sub> mesclat amb el gas fòssil (durant la transició energètica)**

Una altra aplicació de l'hidrogen és la seva utilització com a combustible mesclat amb el gas fòssil i distribuït a través de la seva xarxa. Aquest procediment pot tenir interès durant la transició energètica a fonts renovables per disminuir progressivament l'ús del gas fòssil.

L'hidrogen té un poder calorífic 3 vegades superior al del gas fòssil i, per tant, la incorporació d'un 5% d'hidrogen estalvia un 15% d'energia d'origen fòssil. Avui dia hi ha experiències reeixides amb la injecció de fins un 20% d'hidrogen en la xarxa de gas fòssil (60% de l'energia).

Tanmateix, a mesura que l'ús del gas fòssil disminueixi, aquesta opció deixa de tenir sentit ja que l'hidrogen pur, molt permeable, requereix xarxes de transport específiques. Arribats a aquest punt, les aplicacions a partir d'unitats de producció-emmagatzematge d'hidrogen distribuïdes i properes als consums sembla ser el sistema més adequat.

## **4. Factors d'interès en les aplicacions de l'H<sub>2</sub>**

A continuació s'analitzen diversos aspectes de l'hidrogen que en possibiliten o condicionen el seu desplegament.

### **Estat de les tecnologies**

#### *Electrolitzadors*

Dispositius tecnològics per a obtenir hidrogen que estan ja molt desenvolupats i provats, i la investigació dels quals es troba en la fase incremental d'eficiència i de reducció de costos. A més, són sistemes altament modulars que permeten la configuració d'una gran varietat de capacitats.

#### *Piles de combustible*

N'hi ha de diferents tipus i són comercials. Les piles de combustible PEMFC són les preferides en aplicacions pel transport perquè treballen a temperatura baixa, mentre que les piles de combustible MCFC (carbonats fosos) i SOFC (òxids sòlids), que treballen a temperatures elevades (600 a 1.000 °C), són les més emprades en aplicacions estacionàries i permeten una gran versatilitat d'operació.

#### *Turbines de les centrals de cicle combinat*

Cal esmentar la important iniciativa europea per la qual, a partir de l'any 2021, totes les turbines construïdes a la Unió Europea per generar electricitat han d'estar preparades per transitar de gas fòssil al 100% d'hidrogen. Hi ha empreses com Siemens i Mitsubischi-Hitachi que ja hi treballen.

### *Aigua*

Si bé l'obtenció de l'hidrogen per electròlisi requereix aigua, les piles d'hidrogen i les cambres de combustió permeten la seva recuperació. És a dir, es pot treballar en cicle d'aigua tancat. A més, hi ha la possibilitat de combinar serveis d'energia i serveis d'aigua. A tall d'exemple, amb una reserva de 400 kg d'Hidrogen es poden proveir uns 5.940 kWh d'energia elèctrica, uns 6.600 kWh d'energia tèrmica i 3,6 m<sup>3</sup> d'aigua, suficients per a les necessitats energètiques anuals d'una família i la seva aigua de boca en localitzacions aïllades.

### *Procediments d'obtenció de l'hidrogen*

Caldrà distingir entre l'hidrogen renovable obtingut per electròlisi, molt més pur, i l'hidrogen renovable obtingut de la biomassa (fonamentalment de residus i rebuigs) en base a procediments químics. El primer és apte per a piles de combustible de qualsevol tecnologia (i necessari en les PFMFC) mentre que el segon tan sols és apte per a la combustió o per a piles de combustible MCFC i SOFC. També s'està investigant en altres formes d'obtenir hidrogen (fotònica, catalítica, biològica) que poden tenir interès en aplicacions específiques.

### **Obtenció distribuïda i escalable**

L'hidrogen és un vector energètic polivalent que pot ser obtingut de forma totalment distribuïda, arreu on es disposi d'energia elèctrica procedent de fonts renovables i d'una certa quantitat d'aigua.

L'emmagatzematge pot esdevenir fonamental en la configuració d'un nou sistema energètic renovable en fer desaparèixer el complex equilibri en cada moment entre generadors i consumidors. Les unitats clau estaran formades per electrolitzador-magatzem d'hidrogen-pila d'hidrogen que actuaran com a punts nodals amb capacitat de gestió i regulació en un cert entorn de la xarxa elèctrica. A més, aquestes unitats nodals es poden connectar amb hidrogeneres per alimentar energèticament els vehicles de pila de combustible.

Preferentment, l'hidrogen no s'hauria de transportar, sinó generar al costat del consum (la xarxa bàsica de línies elèctriques ja existeix). Aquest sistema basat en unitats nodals de l'hidrogen permetria una modularització de la xarxa i la segregació dels grans consums de les xarxes domèstiques o d'activitats de baixa potència sense necessitat de crear grans infraestructures.

### **Nota:**

Per a un coneixement més aprofundit, consulteu el text **Perquè H2** d'Eduard Furró Estany publicat al web [www.cmes.cat](http://www.cmes.cat), del qual procedeix bona part de les consideracions del present document.

# Posicionament CMES sobre **L'HIDROGEN RENOVABLE, VECTOR POLIVALENT CLAU EN EL FUTUR SISTEMA ENERGÈTIC**

Ponents: Eduard Furró, Jordi Llorca, Maria Serra, Xavier Flotats i Carles Riba Romeva  
(Aprovada en junta el 18 de maig de 2020)

## RESUM

L'hidrogen obtingut de fonts renovables està cridat a ser el vector energètic clau en el futur sistema energètic renovable. La seva polivalència permet l'emmagatzematge massiu d'energia elèctrica durant temps prolongats, embarcar-lo en vehicles pesants, de gran abast i d'ús intens (camions, autobusos, taxis, ferrocarrils, vaixells, aviació) o usar-lo en cambres de combustió a alta temperatura.

Tots els elements que intervenen en l'ús i la gestió de l'hidrogen (electrolitzadors, dipòsits a pressió o criogènics, piles de combustibles i cremadors) són àmpliament escalables i aptes per a un sistema energètic distribuït i participat.

Atesa la importància estratègica de l'hidrogen per a la transició energètica, CMES es posiciona en la necessitat que els agents econòmics i les administracions:

- 1. ENDEGUIN EXPERIÈNCIES PILOT** en les principals aplicacions energètiques de l'hidrogen, començant per aquelles en què hi ha actors disposats a liderar-les:
  - a) Sistema format per electrolitzador-emmagatzematge-pila de combustible connectat a una xarxa local (proposta UPC, entre d'altres)
  - b) Hidrogeneres per a la mobilitat (autobusos urbans, furgons, barques de pesca)
  - c) Cambra de combustió d'alta temperatura (fosa de metalls, cimenteres i altres)
- 2. OBRIN LÍNIES DE FINANÇAMENT ESPECÍFIC**, amb la cerca de recursos d'Europa, de l'Estat, de la Generalitat de Catalunya i de les empreses. En aquest sentit, la Taula de l'Hidrogen proposada per ICAEN podria esdevenir un àmbit on debatre les orientacions relacionades amb aquestes inversions.
- 3. DESENVOLUPIN UN COS LEGISLATIU I NORMATIU** adequat al desenvolupament de l'hidrogen com a vector polivalent i les seves aplicacions inversions i facilitador de la cooperació entre empreses, administració i universitats.
- 4. FOMENTIN LA RECERCA I LES INICIATIVES EMPRESARIALS** per assegurar el coneixement de les tecnologies i evitar situacions de dependència. Concretament:
  - a) Recerca per millorar els electrolitzadors i les piles de combustible en cost, rendiment i vida útil. Fomentar les iniciatives empresarials en aquests equips.
  - b) Recerca sobre la configuració i la gestió de xarxes elèctriques locals amb sistemes d'emmagatzematge basats en l'H<sub>2</sub>. Fomentar les iniciatives empresarials.
  - c) Investigació aplicada en usos de l'hidrogen renovable com a matèria primera en processos químics.
  - d) Investigació bàsica en sistemes d'emmagatzematge de l'hidrogen més lleugers i compactes per al transport, especialment en base a tecnologies d'absorció.
  - e) Investigació bàsica sobre l'obtenció fotònica, catalítica i biològica de l'hidrogen.