



TREBALL DE RECERCA

Hidrogen: El vector energètic del segle XXI.

Anàlisi de la implementació d'hidrogen en la flota de la Guàrdia Urbana de Cornellà de Llobregat.



Sara Ben Khayi Hacini
Batxillerat Científic Tecnològic
Curs 2023 - 2024
Tutor del treball: Dionís Remón

“Sí, amics meus, crec que l'aigua s'utilitzarà un dia com a combustible, que l'hidrogen i l'oxigen que la constitueixen, utilitzats aïlladament i simultàniament, produiran una font de calor i de llum inesgotable i d'una intensitat molt més gran que la de l'hulla. Un dia el panyol dels vapors i la tendència de les locomotores en comptes de carbó es carregaran d'aquests gasos comprimits, que cremaran als forns amb un enorme poder calorífic. (...) Crec que, quan estiguin esgotats els jaciments de l'hulla, es produirà la calor amb aigua. L'aigua és el carbó del futur”.

Jules Verne, "L'illa misteriosa" 1894.

AGRAÏMENTS

Abans d'introduir el meu treball, voldria expressar el meu més sincer agraïment a totes aquelles persones que m'han ajudat a fer-lo realitat. Han ofert el seu esforç, i sense el seu suport constant, no hauria estat possible arribar fins aquí ni aconseguir el resultat que avui puc presentar amb orgull. Gràcies per la vostra dedicació i generositat.

En primer lloc, agrair als meus pares, per estar sempre al meu costat amb el seu suport incondicional i paciència. També voldria donar les gràcies al meu tutor, Dionís, per la seva guia i consells valuosos que m'han permès superar els moments més complicats de crisi del treball.

Així mateix, vull agrair a tot l'equip dels Transports de Mobilitat de Barcelona, que ha col·laborat en l'elaboració d'informació valuosa, i a la Maria Serra del Centre de Recerca de l'Hidrogen, qui m'ha compartit el seu coneixement i entusiasme pel desenvolupament de noves tecnologies en aquest camp tan important per al nostre futur energètic.

El meu agraïment s'estén també a l'Albert Mitjà i a la Teresa Navarro d'Indox, per aportar la seva experiència i donar-me una visió professional del sector. A més, gràcies a Javier Torres de MMM Group per oferir-me el seu temps i informació tan valuosa per al meu projecte. Sense les aportacions de tots, aquest treball no seria possible. També vull agrair a l'Ajuntament de Cornellà de Llobregat i a la Guàrdia Urbana per la informació proporcionada.

Finalment, vull donar les gràcies a totes les persones que han participat en les enquestes i m'han ajudat a completar aquest projecte. Les seves respostes han estat de gran valor per donar una dimensió pràctica a la meva investigació. Aquest treball és el resultat d'un esforç col·lectiu, i estic profundament agraïda a cadascuna de les persones que han estat part d'aquest procés. Gràcies per acompanyar-me en aquest camí fins al final del meu Treball de Recerca.

RESUMEN

Este trabajo se centra en la exploración de la energía a partir del hidrógeno, fuente de energía prometedora y sostenible. Se trata su relevancia en el contexto energético actual y se realiza un análisis sobre su viabilidad como alternativa a los combustibles fósiles, con un enfoque práctico en la movilidad.

La investigación se basa en datos obtenidos mediante encuestas, entrevistas y experimentos, reflejando la importancia del conocimiento y la percepción pública sobre el hidrógeno y sus aplicaciones. El trabajo se divide en dos partes: un marco teórico en el que se detallan los principios de producción, almacenamiento y distribución del hidrógeno, así como su impacto ambiental; y un marco práctico que incluye un experimento, una encuesta, entrevistas y un prototipo de movilidad para la flota de Cornellà.

La hipótesis plantea la implantación de vehículos de hidrógeno en la Guardia Urbana como una solución viable para sustituir a los actuales vehículos de gasolina. Se propone que, mediante la integración de coches de hidrógeno como Toyota Mirai, se podrían reducir las emisiones de CO₂ y mejorar la eficiencia energética de la flota.

Sin embargo, el análisis del prototipo de flota muestra que, a pesar del crecimiento de la conciencia sobre los beneficios del hidrógeno, su implementación sólo sería posible en unos años, cuando la población sea más consciente del potencial de esa energía y las infraestructuras sean más maduras. Actualmente, todavía quedan retos de infraestructura y grandes inversiones que son necesarias para hacer viable esta transición.

Palabras clave: Energía sostenible, hidrógeno, infraestructura, movilidad urbana, inversión.

ABSTRACT

This work focuses on exploring hydrogen as a promising and sustainable energy source. It discusses its relevance in the current energy landscape and analyzes its feasibility as an alternative to fossil fuels, with a practical focus on mobility.

The research is based on data obtained through surveys, interviews, and experiments, reflecting the importance of public knowledge and perception regarding hydrogen and its applications. The project is divided into two parts: a theoretical framework that details the principles of hydrogen production, storage, and distribution, as well as its environmental impact; and a practical framework that includes an experiment, a survey, interviews, and a mobility prototype for the Cornellà fleet.

The hypothesis proposes the implementation of hydrogen vehicles in the Guardia Urbana as a viable solution to replace the current gasoline-powered vehicles. It suggests that by integrating hydrogen cars like the Toyota Mirai, CO₂ emissions could be significantly reduced, and the energy efficiency of the fleet could be improved.

However, the analysis of the fleet prototype shows that, despite growing awareness of hydrogen's benefits, its implementation would only be possible in a few years, when the population is more aware of the potential of this energy and when the infrastructure is more developed. Currently, there are still significant infrastructure challenges and large investments needed to make this transition viable.

Keywords: sustainable energy, hydrogen, infrastructure, urban mobility, investment.

ÍNDEX

1. MOTIVACIÓ PERSONAL.....	1
2. PROBLEMA.....	1
3. OBJECTIUS DEL TREBALL.....	2
4. HIPÒTESIS.....	2
5. METODOLOGIA EMPRADA.....	2
MARC TEÒRIC.....	4
6. INTRODUCCIÓ.....	4
6.1. L'energia de l'hidrogen.....	4
6.2. Potencial de l'hidrogen com a font d'energia.....	5
6.3. Necessitat de transició energètica.....	5
6.4. Conceptes bàsics de producció d'hidrogen.....	5
6.5. Tipus d'hidrogen.....	6
6.6. Impacte ambiental de l'hidrogen.....	7
7. HISTÒRIA DE L'ÚS DE L'HIDROGEN.....	9
8. ESTAT ACTUAL DE LA UTILITZACIÓ DE L'HIDROGEN.....	11
8.1. Aplicacions en transport.....	11
8.2. Aplicacions industrials.....	12
8.3. Projeccions futures en l'ús de l'hidrogen.....	13
9. MÈTODES DE PRODUCCIÓ D'HIDROGEN.....	14
9.1. Reformat de gas natural.....	14
9.2. Electròlisi de l'aigua.....	14

9.3. La fotocatàlisi i la fotoelectrocatalisi.....	15
9.4. Biomassa.....	15
9.5. Termòlisis.....	16
10. EFICIÈNCIA I SOSTENIBILITAT EN LA PRODUCCIÓ D'HIDROGEN.....	17
10.1. Emissió de gasos d'efecte hivernacle en la producció.....	17
10.2. Competitivitat amb altres formes d'energia.....	17
11. TECNOLOGIES D'EMMAGATZEMATGE DE L'HIDROGEN.....	19
11.1. Emmagatzematge en estat gasós.....	19
11.2. Emmagatzematge en estat líquid.....	19
11.3. Emmagatzematge en estat sòlid.....	20
12. INFRAESTRUCTURA PER A LA DISTRIBUCIÓ D'HIDROGEN.....	21
12.1. Xarxes de distribució d'hidrogen.....	21
12.2. Estacions de servei d'hidrogen.....	22
12.3. Transport de l'hidrogen.....	22
12.3.1. Riscos del transport.....	22
12.3.2. Alternativa de transport.....	23
13. CONSIDERACIONS SOCIOECONÒMIQUES.....	24
MARC PRÀCTIC.....	26
14. CONSTRUCCIÓ I FUNCIONAMENT D'UNA PILA DE COMBUSTIBLE D'HIDROGEN.....	26
14.1. Introducció a la Pila de Combustible.....	26
15. QÜESTIONARIS A LA SOCIETAT.....	28
15.1. Disseny del qüestionari.....	28

15.2. Anàlisi i conclusions.....	28
16. ENTREVISTES AMB ESPECIALISTES EN HIDROGEN.....	31
16.1. Metodologia d'entrevistes.....	31
16.2. Respostes i anàlisi.....	32
17. ESTUDI DE LA VIABILITAT DE L'IMPLANTACIÓ D'HIDROGEN A LA FLOTA MUNICIPAL DE CORNELLÀ DE LLOBREGAT.....	37
17.1. Explicació del projecte.....	37
17.2. Anàlisi de la flota actual.....	37
17.2.1. Consum de combustible i emissions de CO ₂ dels vehicles actuals...	37
17.2.2. Costos anuals de la flota actual (combustible).....	38
17.3. Els vehicles d'hidrogen.....	38
17.3.1. Característiques tècniques del Toyota Mirai.....	38
17.3.2. Funcionament dels vehicles d'hidrogen.....	39
17.3.3. Avantatges dels vehicles d'hidrogen en termes de sostenibilitat i emissions zero.....	39
17.4. Comparativa entre Vehicles d'Hidrogen i flota actual.....	40
17.4.1. Conclusions extretes de la comparació.....	40
17.5. Proposta de Substitució de la Flota.....	41
17.5.1. Descripció del projecte de substitució.....	41
17.5.2. Cost d'adquisició dels vehicles d'hidrogen.....	41
17.5.3. Infraestructura necessària per al subministrament d'hidrogen (hidrogeneres).....	42
17.6. Impacte Social i Econòmic.....	42

17.7. Anàlisi de Viabilitat.....	43
18. CONCLUSIONS.....	44
19. FONTS.....	46
19.1. Bibliografia.....	46
19.2. Webgrafia.....	46
20. ANNEXOS.....	62
• Annex 1: Experiment pila de combustible.....	62
• Annex 2: Preguntes i respostes de l'enquesta.....	67
• Annex 3: Entrevista de Xavier Torres (MMM Group).....	69
• Annex 4: Entrevista de Teresa Navarro, H2 & Solar Business Development Manager (INDOX).....	77
• Annex 5: Entrevista de Maria Serra (CERH2).....	83
• Annex 6: Càlculs implantació d'hidrogen a la flota municipal de Cornellà de Llobregat.....	85

1. MOTIVACIÓ PERSONAL

He decidit centrar el meu Treball de Recerca en la realització d'una investigació que inclou un experiment, entrevistes, enquestes i un prototip, en comptes de fer només un estudi teòric. Mentre seguia les notícies, vaig adonar-me de com el transport contribueix a la contaminació de l'aire, tot i que s'han fet millores en l'eficiència. Encara que hi ha avenços, és clar que cal buscar alternatives més amigables amb el medi ambient.

En aquest sentit, l'energia de l'hidrogen em va semblar una solució interessant. La seva capacitat de reduir les emissions contaminants i oferir una opció més sostenible que els combustibles fòssils em va captar l'atenció. Així va néixer la idea de fer el meu Treball de Recerca sobre l'energia de l'hidrogen.

Explorar a fons l'energia de l'hidrogen i el seu potencial transformador va despertar en mi un gran interès. Vaig veure en aquest tema una oportunitat per no només aprofundir els meus coneixements científics, sinó també contribuir a un canvi positiu cap a generacions futures.

La meva passió per la innovació i la sostenibilitat es reflecteix en aquesta decisió, i vull ajudar a trobar solucions als problemes mediambientals d'avui. Amb aquesta investigació, vull entendre millor l'energia de l'hidrogen i els seus possibles avantatges i reptes.

2. PROBLEMA

Els sistemes de mobilitat, l'augment del consum d'energia i els reptes del creixement de la població global, així com les emissions de CO₂, ens obliguen a pensar en un tema important: com produir més energia sense fer malbé el medi ambient. En aquest context, l'hidrogen es presenta com una opció interessant, sobretot si es produeix amb fonts d'energia renovables. Això ens porta a preguntar-nos sobre si és viable i quin impacte tindria implementar aquest sistema d'energia. També és important tenir en compte aspectes com la infraestructura i com es compara amb altres fonts d'energia. Aquestes preguntes són clau per entendre els reptes i

oportunitats en el camí cap a fonts d'energia més sostenibles.¹

3. OBJECTIUS DEL TREBALL

L'objectiu principal d'aquest treball és aprofundir en el coneixement de l'energia de l'hidrogen i les seves aplicacions. Es vol investigar els processos de producció, emmagatzematge i usos de l'hidrogen, amb especial atenció a la mobilitat sostenible. També es volen analitzar casos pràctics, estudiant exemples d'ús en el transport, la indústria i la generació d'energia. Un dels objectius és desenvolupar un prototip de vehicle alimentat amb hidrogen per a la Guàrdia Urbana de Cornellà, avaluant la seva viabilitat. Finalment, es vol recollir dades mitjançant entrevistes i enquestes per comprendre les percepcions sobre l'ús de l'hidrogen.

4. HIPÒTESIS

La hipòtesi del meu treball és que la implantació de vehicles d'hidrogen a la flota de la Guàrdia Urbana de Cornellà de Llobregat pot ser una solució viable per substituir els vehicles de gasolina actuals.

5. METODOLOGIA EMPRADA

He començat el meu treball fent una recerca exhaustiva sobre l'energia d'hidrogen, buscant informació en llibres, articles i recursos en línia. Aquesta investigació m'ha permès conèixer els fonaments de l'energia d'hidrogen, així com les seves aplicacions i beneficis.

A més de la recerca, he realitzat enquestes per conèixer l'opinió de la gent sobre l'hidrogen i les seves aplicacions. Això m'ha ajudat a entendre si la població coneixia l'hidrogen com a font o no.

També he fet entrevistes amb experts i persones que treballen en el sector de l'energia. Aquestes converses m'han proporcionat una visió més profunda sobre el funcionament de l'hidrogen, els seus avantatges i els reptes que pot presentar.

A més, com a part pràctica del projecte, he desenvolupat un prototip de cotxes

¹ Font: Rifkin, Jeremy. *La economía del hidrógeno: cuando se agote el petróleo*. Barcelona: Editorial Paidós Ibérica, setembre 2002. Pàg. 14. (Col·lecció Estado y Sociedad, Número 0). ISBN 84-493-1280-9.

d'hidrogen per a la flota de la Guàrdia Urbana de Cornellà de Llobregat. Aquest prototip inclou un anàlisi comparatiu entre els vehicles actuals de gasolina i els cotxes d'hidrogen, destacant els beneficis mediambientals i econòmics d'aquesta transició, així com els desafiaments relacionats amb la infraestructura i el subministrament d'hidrogen.

Aquesta combinació de mètodes, m'ha permès una visió completa sobre el tema i proposar idees per a la seva implementació en el futur.

MARC TEÒRIC

6. INTRODUCCIÓ

6.1. L'energia de l'hidrogen.

L'hidrogen (H_2) és un element químic que ocupa el primer lloc de la taula periòdica i és el més lleuger i senzill. El seu àtom es compon d'un electró que gira al voltant d'un protó. Encara que no es troba en estat pur a la natura, és un component important d'altres substàncies, i la seva producció requereix processos industrials.²

En forma gasosa, l'hidrogen existeix com a molècules diatòmiques (H_2) en condicions normals. És un gas incolor, inodor i insípid, i és molt reactiu. Tot i que és un excel·lent combustible que reacciona amb l'oxigen i allibera energia, el seu principal problema és que a la Terra es troba majoritàriament en forma d'aigua. Per això, cal produir-lo especialment per usar-lo com a combustible, convertint-lo en un vector energètic en lloc d'una font d'energia directa.

A escala còsmica, l'hidrogen és l'element més abundant de l'univers. Representa aproximadament el 75% de la massa total i el 90% de les seves molècules, sent un component clau de les estrelles en forma de plasma. A la Terra, es troba principalment en compostos orgànics, en la matèria viva, en combustibles fòssils i en l'aigua. Encara que no apareix en forma molecular a l'atmosfera terrestre a causa de la seva baixa massa atòmica, s'ha trobat en forma molecular a l'estratosfera.

És essencial tenir en compte que l'hidrogen no és una font d'energia primària, sinó un vector energètic. Això significa que, tot i que pot emmagatzemar energia, necessita energia per ser produït. L'hidrogen pot alliberar lentament aquesta energia emmagatzemada quan cal, la qual cosa el fa una opció atractiva per a l'emmagatzematge i el transport d'energia.

² Font: Rifkin, Jeremy. *La economía del hidrógeno: cuando se agote el petróleo*. Barcelona: Editorial Paidós Ibérica, setembre 2002. Pàg. 216-219. (Col·lecció Estado y Sociedad, Número 0). ISBN 84-493-1280-9.

6.2. Potencial de l'hidrogen com a font d'energia.

L'hidrogen es reconeix cada cop més com una font d'energia amb molt potencial en diversos àmbits, oferint una solució sostenible per afrontar els reptes energètics d'avui. La seva versatilitat en àrees com el transport, l'emmagatzematge d'energia i la producció industrial crea oportunitats per reduir la dependència dels combustibles fòssils i fomentar un desenvolupament més sostenible.

6.3. Necessitat de transició energètica.

La relació entre la societat actual i els combustibles fòssils és profunda i complicada. Fonts d'energia com el petroli, el gas natural i el carbó són molt importants en la nostra vida diària. S'utilitzen en el transport, l'escalfament i moltes altres coses, per la qual cosa la nostra economia i el nostre estil de vida depenen d'elles. No obstant això, ara que entenem millor els efectes del canvi climàtic i la contaminació, comencem a dubtar sobre si aquest model energètic és sostenible.

Una de les principals preocupacions sobre els combustibles fòssils és que contribueixen al canvi climàtic i la contaminació de l'aire. Les emissions de gasos d'efecte hivernacle, com el diòxid de carboni (CO₂), han fet que la temperatura del planeta augmenti i han causat altres problemes ambientals. A més, els combustibles fòssils són fonts d'energia no renovables, el que vol dir que s'acabaran amb el temps. També, l'extracció i l'ús d'aquestes fonts d'energia poden causar problemes econòmics, com l'augment dels preus dels combustibles i la dependència de les regions que les produeixen.

Davant d'aquests reptes, és crucial explorar alternatives a les fonts d'energia tradicionals.

6.4. Conceptes bàsics de producció d'hidrogen.

La producció d'hidrogen és essencial per utilitzar-lo com a font d'energia. Hi ha diverses maneres de produir-lo, com l'electròlisi de l'aigua, que utilitza electricitat per separar l'aigua en hidrogen i oxigen. També hi ha la reformació de gas natural, que transforma el metà en hidrogen i diòxid de carboni. La gasificació de biomassa converteix residus agrícoles o forestals en hidrogen, i l'electròlisi de biomassa usa

electricitat generada a partir de biomassa per obtenir hidrogen. Tots aquests mètodes ofereixen opcions per produir hidrogen tant per a la indústria com per a aplicacions més netes i sostenibles.

6.5. Tipus d'hidrogen.

L'hidrogen, en lloc de ser una font d'energia, és un vector energètic. No es troba en forma pura a la natura i és un element clau en altres substàncies, per això la seva producció necessita processos industrials. Segons el mètode de producció, l'hidrogen pot tenir diferents colors que indiquen el seu origen i impacte ambiental. Els principals són:³

- **Hidrogen verd:** L'hidrogen verd és molt popular en l'actualitat. Es crea mitjançant l'electròlisi de l'aigua, utilitzant electricitat d'energies renovables com la solar i l'eòlica. Té l'avantatge de generar poques emissions, però el seu cost és elevat, sent molt més car que altres tipus d'hidrogen.
- **Hidrogen gris:** Aquest és l'hidrogen més comú en l'actualitat. Es produeix escalfant gas natural amb vapor d'aigua, un procés conegut com a reformació.
- **Hidrogen marró o negre:** Es genera a partir del carbó mitjançant gasificació. Aquest mètode és altament contaminant i depèn d'un recurs que s'acabarà.
- **Hidrogen blau:** La seva producció és similar a la de l'hidrogen gris, però s'hi afegeixen sistemes per capturar el carboni i reduir emissions. No obstant això, encara pot generar gasos d'efecte hivernacle per fuites durant el procés.
- **Hidrogen daurat:** Es troba al subsòl, però és difícil d'accedir. Hi ha molts reptes per utilitzar aquest hidrogen, i s'ha de fer més investigació.

³ Font: Communications. (4 d'agost de 2023). Descubre cuáles son los distintos colores del hidrógeno. BBVA.
<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/descubre-cuales-son-los-distintos-colores-del-hidrogeno/>

- **Hidrogen turquesa:** Es produeix mitjançant un mètode anomenat piròlisi, a partir d'hidrocarburs⁴. No allibera diòxid de carboni, ja que el carboni es queda en forma sòlida, però no s'utilitza molt perquè és poc eficient.
- **Hidrogen rosa:** L'hidrogen rosa es crea amb electricitat nuclear.

6.6. Impacte ambiental de l'hidrogen.

L'hidrogen sembla ser una font sense desavantatges, no obstant això, l'hidrogen també té inconvenients. La seva producció pot ser costosa i depèn de fonts d'energia que, en alguns casos, no són renovables. Per tant, és important analitzar tant els seus avantatges com els seus desavantatges per entendre el seu veritable potencial en el nostre sistema energètic.

Alguns avantatges:

- L'hidrogen renovable ajuda a reduir la contaminació en sectors com la indústria, el transport a llarga distància i l'aviació. A més, pot emmagatzemar energia, el que el fa útil per satisfer necessitats energètiques.
- L'hidrogen és l'element més comú de l'univers i es troba en gran quantitat a la terra. No té color, olor ni gust, i l'ús de combustibles d'hidrogen no emet gasos contaminants.
- L'hidrogen verd es pot produir a partir de fonts com el sol, el vent o la biomassa, la qual cosa redueix la dependència d'energies externes. Això permet establir un sistema elèctric 100% renovable.
- La producció d'hidrogen renovable a partir de biomassa ajuda a aprofitar residus orgànics de l'agricultura o la indústria. La seva generació pot distribuir-se a les zones rurals, impulsant l'economia local i creant nous llocs de treball.

⁴ Hidrocarburs: Compostos formats principalment per carboni i hidrogen, són la base dels combustibles fòssils com el petroli i el gas natural.

Alguns **desavantatges**⁵:

- L'hidrogen és un gas molt lleuger, el que fa que sigui difícil d'emmagatzemar i transportar. Necessita contenidors més grans i canonades més amples, ocupant més espai que altres combustibles.
- Té una energia específica⁶ alta (33,33 kWh/kg), però la seva densitat és més baixa que la del gas natural (12,39 kWh/kg). Això significa que necessitem més volum d'hidrogen per obtenir la mateixa energia, complicant-ne el transport i l'emmagatzematge.
- Els mètodes de producció com l'electròlisi i la reformació de vapor són cars, la qual cosa dificulta que molts països puguin produir hidrogen en grans quantitats. Per exemple, produir 2,99 kWh d'energia pot requerir 2,83 kWh d'electricitat, elevant els costos. L'hidrogen no es pot extreure directament de la natura; s'ha de crear.
- Com el gas natural, l'hidrogen és inflamable i pot ser perillós. La seva reputació com a substància perillosa es va veure afectada per l'accident del dirigible Hindenburg el 1937.

⁵ Font: Ventajas y desventajas del hidrógeno como fuente de energía. (s/d). Baxi.es.

<https://www.baxi.es/ayuda-y-consejos/normativa-y-renovables/hidrogeno-ventajas-y-desventajas>

⁶ Energia específica: Quantitat d'energia per quilogram d'un combustible. L'hidrogen té molta energia per kg, però ocupa més espai que el gas natural per la mateixa energia, complicant el seu transport.

7. HISTÒRIA DE L'ÚS DE L'HIDROGEN

L'hidrogen va ser descobert per primera vegada pel físic i alquimista suís Paracelso al segle XVI, qui el va descriure com un "aire inflamable" mentre treballava amb ferro i àcid al seu laboratori. Encara que no el va identificar com a un nou element, les seves observacions van obrir la porta a futures investigacions sobre l'hidrogen i el seu ús energètic.

Uns anys més tard, el 1671, el químic britànic Robert Boyle també va obtenir aquest gas utilitzant àcid sulfúric i ferro. Aquests experiments van ajudar a entendre millor les propietats de l'hidrogen, tot i que no es reconeixeria completament com un element fins al segle XVIII.

El 1766, el científic anglès Henry Cavendish va aïllar aquest gas, que continuava sent conegut com a "aire inflamable". Encara que pensava que era el metall el que creava el gas, el seu treball va ser essencial per identificar l'hidrogen. Cavendish va descobrir que, al combinar-se amb oxigen, produïa aigua, revelant que aquesta no era un element pur sinó una substància formada.

L'any 1783, Antoine Lavoisier va anomenar aquest element, hidrogen, que significa "creador d'aigua", reconeixent el descobriment de Cavendish.

Aquests esdeveniments van marcar el començament de l'ús de l'hidrogen en la història. A finals del segle XVIII, els globus aerostàtics utilitzaven hidrogen, i Jacques Alexandre Charles va ser pioner en el seu ús com a gas lleuger, elevant globus a alçades notables i inaugurant una nova era en el transport aeri.

No obstant això, un incendi tràgic en 1937 durant un vol del dirigible Hindenburg va fer que la gent perdés confiança en l'ús de l'hidrogen en el transport. Malgrat això, l'hidrogen va continuar sent important en altres àrees, com la producció d'energia elèctrica i la indústria química.

Des d'aleshores, s'ha avançat en la tecnologia per produir, emmagatzemar i utilitzar l'hidrogen de manera més eficient i sostenible. Organitzacions com la International Association for Hydrogen Energy treballen per un futur energètic més net i renovable.

Hidrogen: El vector energètic del segle XXI.



Figura 1. Línia del temps de l'hidrogen – Font: Elaboració pròpia a partir de la font: The history of Hydrogen (s/d). Mwcog.org.

[https://www.mwcog.org/file.aspx?&A=zkp0NhzZDWLPqP7LLLYTPZMIqxuq1QGhT8%2BMkINPbo%](https://www.mwcog.org/file.aspx?&A=zkp0NhzZDWLPqP7LLLYTPZMIqxuq1QGhT8%2BMkINPbo%3D)

[3D](#)

8. ESTAT ACTUAL DE LA UTILITZACIÓ DE L'HIDROGEN

Els continus avenços en el descobriment i desenvolupament de l'hidrogen estan transformant grans sectors, alguns d'ells sectors com el transport i les diverses aplicacions industrials de les quals es pot treure un gran profit.

8.1. Aplicacions en transport.

L'hidrogen té un paper important en el transport sostenible. Ara mateix, s'utilitza en vehicles com cotxes, autobusos i trens. Aquests vehicles emmagatzemen hidrogen en piles de combustible, on es barreja amb oxigen per generar electricitat. Això fa que el motor funcioni sense emetre CO₂, només vapor d'aigua. Un exemple és el Toyota Mirai, que utilitza aquesta tecnologia i ofereix una gran autonomia amb recàrregues ràpides.

La Unió Europea està promovent aquesta energia mitjançant el transport públic amb hidrogen. A Espanya, ciutats com Barcelona han instal·lat hidrogeneres i tenen plans per incorporar autobusos d'energies netes. A Barcelona hi ha actualment 8 autobusos d'hidrogen a la flota de Bus de TMB, adscrits a la línia Exprés, X1. El model del vehicle és: "H2 City Gold LHD", fabricat pel "CaetanoBus". Enguany s'han adquirit 36 nous busos estàndard d'hidrogen i 2 articulats, fabricats per Solaris. Arribaran a finals de 2024-principis de 2025.⁷

A més, l'hidrogen s'està explorant en el sector marítim i aeri. L'Energy Observer, el primer vaixell que utilitza hidrogen, demostra que és possible navegar amb aquesta tecnologia. Airbus també està treballant en avions que funcionaran amb hidrogen.

⁷ Font: Informació proporcionada per TMB, a través del portal de la transparència d'aquesta.



Figura 2. Bus d'Hidrogen a la Hidrogenera d'Iberdrola, Barcelona – Font: TPeriódico, E. (2023, setembre 12). TMB comprarà 36 buses más de hidrógeno cero emisiones. El Periódico.

<https://www.elperiodico.com/es/barcelona/20230912/tmb-comprara-36-buses-hidrogeno-cero-emision-es-transporte-publico-barcelona-sostenible-91993457>

8.2. Aplicacions industrials.

L'hidrogen, tot i que encara s'està investigant, té actualment moltes aplicacions en la indústria, com ara⁸:

- *Fabricació d'amoníac:* És essencial per fer fertilitzants mitjançant el procés Haber-Bosch⁹, que ajuda a l'agricultura.
- *Hidrogenació d'olis i greixos:* S'utilitza en el sector alimentari per transformar olis vegetals en margarina i altres productes semisòlids.
- *Refinament de petroli:* L'hidrogen ajuda a eliminar el sofre dels derivats del petroli, millorant la qualitat dels combustibles i reduint les emissions contaminants.
- *Producció de metanol:* Es combina amb diòxid de carboni (CO₂) per crear metanol, un producte químic que es fa servir com a combustible i solvent.
- *Producció d'acer:* L'hidrogen pot substituir el carbó com a agent reductor, disminuint les emissions de CO₂ en la fabricació d'acer.

⁸ Font: ¿Qué es el Hidrógeno y Cuáles son sus aplicaciones ? (s/d). Fenoge, de: <https://fenoge.gov.co/gestion-del-conocimiento/que-es-el-hidrogeno-y-cuales-son-sus-aplicaciones/>

⁹ Haber Bosch: Tècnica química que combina nitrogen de l'aire i hidrogen per produir amoníac, essencial per a la fabricació de fertilitzants.

- *Piles de combustible:* Aquestes converteixen l'hidrogen en electricitat i aigua, sense emissions contaminants, i són útils per a la generació d'energia i vehicles.
- *Tractament tèrmic de metalls:* S'utilitza en processos com el recuit i la soldadura per prevenir l'oxidació i millorar la qualitat dels metalls.
- *Producció de plàstics:* L'hidrogen intervé en la fabricació de plàstics i altres productes químics, com el clorur de vinil i el propilè, que són materials comuns en la vida diària.

8.3. Projeccions futures en l'ús de l'hidrogen.

En els pròxims anys, l'hidrogen serà clau per aconseguir un sistema energètic més net. El seu ús s'ampliarà en sectors com el transport, amb més vehicles com cotxes, camions, autobusos i trens que funcionaran amb hidrogen. També es potenciarà la producció d'hidrogen verd, fet amb energia solar i eòlica, per reduir l'ús de combustibles fòssils.

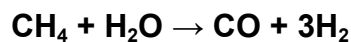
A la indústria, l'hidrogen ajudarà a descarbonitzar processos com la fabricació d'acer i ciment. A més, es preveu que es faci servir per generar i emmagatzemar energia, i això permet una xarxa elèctrica més estable i amb menys emissions. Amb el temps, els avenços tecnològics faran que l'hidrogen sigui més econòmic i competitiu.

9. MÈTODES DE PRODUCCIÓ D'HIDROGEN

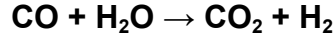
L'hidrogen està present a tot arreu, com en l'aire que respirem i l'aigua que bevem. Però gairebé sempre està combinat amb altres elements, així que calen diferents mètodes per separar-lo i obtenir-lo en estat pur.

9.1. Reformat de gas natural.¹⁰

El reformat amb vapor de gas natural és el mètode més comú per produir hidrogen. Aquest procés utilitza gas natural, que està format principalment per metà, per això també es diu reformat de metà amb vapor. Durant el procés, es barreja vapor d'aigua amb el gas natural i s'escalfen a uns 900 °C amb l'ajuda d'un catalitzador, normalment níquel. La reacció és la següent:



Així, s'obté monòxid de carboni i hidrogen. Després, afegint més vapor, el monòxid de carboni es converteix en més hidrogen:



Finalment, es purifica el gas per separar l'hidrogen mitjançant un procés anomenat adsorció per oscil·lació de pressió¹¹.

9.2. Electròlisi de l'aigua.

L'electròlisi és un dels mètodes més utilitzats per produir hidrogen, especialment perquè pot aprofitar fonts d'energia renovable. Aquest procés utilitza aigua (H₂O), que es descompon en hidrogen i oxigen quan se li aplica un corrent elèctric. Aquesta descomposició es duu a terme dins una cel·la electrolítica. Bàsicament, els ions positius (cations) guanyen electrons i produeixen gas d'hidrogen, mentre que

¹⁰ Font: Rifkin, Jeremy. *La economía del hidrógeno: cuando se agote el petróleo*. Barcelona: Editorial Paidós Ibérica, setembre 2002. Pàg. 225. (Col·lecció Estado y Sociedad, Número 0). ISBN 84-493-1280-9.

¹¹Adsorció per oscil·lació de pressió: procés utilitzat per separar i purificar gasos, en què els components s'absorbeixen a altes pressions i es desadhereixen a baixes pressions en materials específics com el carbó actiu.

els ions negatius (anions) perden electrons i alliberen oxigen. Així, l'aigua se separa en els seus dos components principals: hidrogen i oxigen.¹²

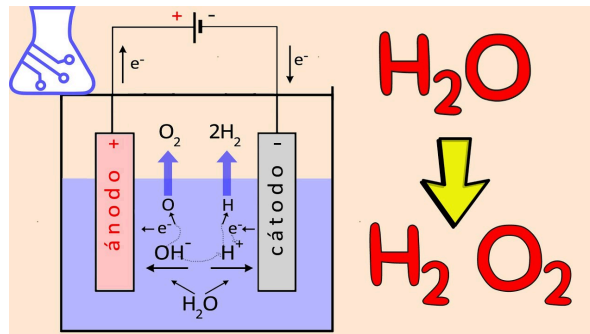


Figura 3. Procés de l'electròlisi de l'hidrogen – Font: Ciencia y Tecnología., C. [@cienciabit]. (2017, octubre 1). Descomposició del Agua en Hidrógeno y Oxígeno mediante Electrólisis. IMPORTANTE: LEER DESCRIPCIÓN. Youtube, de <https://www.youtube.com/watch?v=wIAU0zReIRY>

9.3. La fotocatalàlisi i la fotoelectrocatalàlisi.

La fotocatalàlisi és un mètode sostenible de producció d'hidrogen que utilitza la llum solar i un catalitzador per accelerar la reacció. El terme es desglossa en "fotoquímica" (llum) i "catalàlisi" (catalitzador), indicant que la llum solar i un catalitzador, sovint el diòxid de titani, són els elements clau del procés.

La fotoelectrocatalàlisi, per la seva banda, combina la fotocatalàlisi i l'electròlisi. Aquest procés aprofita la llum solar i l'aigua sense necessitat d'un corrent elèctric externa. En lloc d'això, utilitza un material fotoactiu que genera càrregues elèctriques, cosa que permet descompondre l'aigua en hidrogen i oxigen de manera eficient. Segons María D. Hernández Alonso, del Hydrogen Tech team de Repsol, la fotoelectrocatalàlisi simplifica l'electròlisi, fent-la més sostenible.

9.4. Biomassa.

La biomassa és la matèria orgànica que es troba en un ecosistema i pot ser utilitzada per generar energia, incloent-hi hidrogen. Hi ha dos tipus de biomassa: la natural i la residual. La biomassa natural es forma de manera espontània a la natura i no ha estat modificada per l'activitat humana. D'altra banda, la biomassa residual prové de residus generats per activitats humanes o per la indústria.

¹² Font: Rifkin, Jeremy. La economía del hidrógeno: cuando se agote el petróleo. Barcelona: Editorial Paidós Ibérica, setembre 2002. Pàg. 226-227. (Col·lecció Estado y Sociedad, Número 0). ISBN 84-493-1280-9.

Per convertir la biomassa en hidrogen, es segueixen tres passos principals:

1. *Deshidratació*: En primer lloc, es calenta el material orgànic per eliminar la humitat. Aquest pas és crucial, ja que la presència d'aigua pot dificultar els processos posteriors.
2. *Piròlisi*: En segon lloc, el material orgànic es col·loca en un entorn sense oxigen per descompondre les molècules complexes en elements més simples. En aquest procés també es generen gasos, olis i residus.
3. *Gasificació*: Finalment, la biomassa és sotmesa a gasificació, una transformació que es realitza a temperatures superiors als 700 °C. Afegint oxigen o vapor al procés, es genera syngas, un gas sintètic ric en hidrogen que pot ser separat per a la seva utilització.

9.5. Termòlisis.

La termòlisi és similar a l'electròlisi, però en lloc de fer servir corrent elèctric, s'utilitza calor per descompondre les molècules. Aquest procés requereix temperatures molt altes per separar l'hidrogen sense necessitat d'oxigen, ja que no es busca provocar una combustió. Es poden utilitzar diferents substàncies en aquest procés, com el carbonat de calci (CaCO_3), per obtenir el mateix resultat: l'obtenció d'hidrogen.

10. EFICIÈNCIA I SOSTENIBILITAT EN LA PRODUCCIÓ D'HIDROGEN

10.1. Emissió de gasos d'efecte hivernacle en la producció.

Fins aquest punt del treball l'hidrogen pot semblar una font neta i eficient d'energia, tot i això, la seva producció no està exempta de problemes. La major part de l'hidrogen que utilitzem avui dia prové del reformat de gas natural o vapor, un procés que genera grans quantitats de diòxid de carboni (CO₂), un dels principals responsables de l'efecte hivernacle.

D'altra banda, segons Maria Sand, de CICERO¹³, l'hidrogen en si mateix no és un gas d'efecte hivernacle, però les seves reaccions a l'atmosfera amb elements com el metà i l'ozó poden afectar aquests gasos. Matteo Bertagni, expert en hidrogen, destaca que l'ús massiu d'hidrogen podria ser problemàtic, ja que aquest gas reacciona amb el radical hidroxil (OH), una molècula clau que elimina el metà de l'atmosfera.

Quan l'hidrogen es filtra a l'atmosfera, competeix amb el metà per l'OH, i si les emissions d'hidrogen augmenten, també ho faran les concentracions de metà, un potent gas d'efecte hivernacle. Així, un excés d'hidrogen podria tenir un impacte indirecte sobre el canvi climàtic a llarg termini.

10.2. Competitivitat amb altres formes d'energia.

L'hidrogen té un gran potencial com a font d'energia neta, però encara ha de competir amb altres fonts d'energia més establertes, com els combustibles fòssils i les energies renovables (solar, eòlica, etc.). Una de les principals barreres és el cost de producció de l'hidrogen, que sovint és més alt que altres formes d'energia, especialment si es vol obtenir de manera sostenible mitjançant electròlisi o altres mètodes verds.

¹³ CICERO: Centre for International Climate Research és el principal institut de recerca sobre canvi climàtic de Noruega, fundat el 1990. Té un paper clau en la investigació interdisciplinària dels efectes del canvi climàtic.

Tot i això, a mesura que les tecnologies avancen i els governs promouen polítiques per reduir les emissions de CO₂, l'hidrogen verd està guanyant terreny. El seu principal avantatge és la versatilitat, ja que pot utilitzar-se per generar electricitat, en el transport, en la indústria i fins i tot per emmagatzemar energia, cosa que el fa molt atractiu en sectors on altres fonts d'energia no són tan eficients o pràctiques.

Per ser realment competitiu, caldrà reduir-ne els costos de producció, millorar-ne l'eficiència i establir infraestructures que permetin la seva distribució a gran escala. Així, l'hidrogen podria convertir-se en un complement clau a les energies renovables, ajudant a descarbonitzar sectors que actualment depenen dels combustibles fòssils.

11. TECNOLOGIES D'EMMAGATZEMATGE DE L'HIDROGEN

Un dels grans reptes per fer de l'hidrogen una font d'energia viable és la seva dificultat d'emmagatzematge. Malgrat el seu gran potencial energètic¹⁴, l'hidrogen gasós té una densitat molt baixa, cosa que fa que emmagatzemar-lo i transportar-lo sigui tot un desafiament. Actualment, es treballa amb tres formes principals d'emmagatzematge: gasós, líquid i sòlid.

11.1. Emmagatzematge en estat gasós.

L'hidrogen en estat gasós és la forma més habitual d'emmagatzemar-lo, però requereix contenidors especials que suportin altes pressions per comprimir-lo. Normalment, es manté a una pressió d'entre 350 i 700 bar¹⁵, la qual cosa redueix el volum que ocupa, però alhora comporta alguns inconvenients:

- *Avantatges:* L'emmagatzematge a alta pressió permet la utilització de dipòsits més petits que continguin una quantitat d'hidrogen més gran. Aquesta forma d'emmagatzematge és útil per a aplicacions mòbils, com els vehicles d'hidrogen.
- *Desavantatges:* La necessitat d'unes parets molt gruixudes per evitar fugues i suportar les altes pressions fa que els contenidors siguin pesants i costosos. A més, cal dedicar molta energia al procés de compressió.

Aquest mètode, tot i ser viable, no és òptim per a aplicacions a gran escala degut als alts costos de manteniment i els problemes logístics que comporta.

11.2. Emmagatzematge en estat líquid.

Una altra forma d'emmagatzematge és mantenir l'hidrogen en estat líquid. Per aconseguir-ho, cal refredar l'hidrogen a temperatures criogèniques, és a dir, per sota dels -253°C, la qual cosa implica un gran consum d'energia.

¹⁴ Potencial energètic: Capacitat d'una substància per alliberar energia quan es transforma químicament.

¹⁵ Bar: Unitat de mesura de la pressió. 1 bar és aproximadament igual a la pressió atmosfèrica a nivell del mar.

- *Avantatges:* Emmagatzemar hidrogen líquid redueix significativament el volum necessari en comparació amb el gas comprimit. Això és particularment útil en sectors com l'aeronàutica, on l'espai i el pes són factors crítics.
- *Desavantatges:* Tot i la reducció de volum, la refrigeració de l'hidrogen és un procés altament energètic, que consumeix fins al 30% de l'energia que es podria obtenir posteriorment de l'hidrogen. A més, calen dipòsits criogènics amb un aïllament tèrmic molt avançat, que també incrementen els costos.

A més, l'hidrogen líquid pot evaporar-se amb el temps si no es manté a una temperatura adequada, cosa que provoca pèrdues significatives del combustible.

11.3. Emmagatzematge en estat sòlid.

Un dels mètodes més innovadors i prometedors per emmagatzemar hidrogen és mitjançant materials sòlids, com els hidrurs metàl·lics o altres substàncies capaces d'absorbir i alliberar hidrogen de manera controlada. Aquest procés permet emmagatzemar hidrogen en espais més reduïts i de manera més segura.

- *Avantatges:* Els materials sòlids ofereixen una forma molt compacta d'emmagatzematge, ja que poden retenir grans quantitats d'hidrogen a baixa pressió i temperatura. Això fa que sigui més segur en comparació amb els contenidors de gas a alta pressió o els dipòsits criogènics. A més, és una opció prometedora per a l'emmagatzematge estacionari a llarg termini.
- *Desavantatges:* Aquesta tecnologia encara està en fase de desenvolupament, i els costos inicials són elevats. A més, calen avenços en l'eficiència de la càrrega i descàrrega de l'hidrogen en aquests materials per fer-la competitiva a gran escala.

Aquest tipus d'emmagatzematge és ideal per a instal·lacions fixes, però encara ha de madurar per ser aplicat a sectors més mòbils com el transport.

12. INFRASTRUCTURA PER A LA DISTRIBUCIÓ D'HIDROGEN

L'hidrogen, com a font d'energia en desenvolupament, requereix una infraestructura complexa per a la seva distribució segura i eficient. Això inclou xarxes de distribució, estacions de servei i mètodes de transport adequats. Aquests, són alguns dels aspectes clau per facilitar la seva integració en diferents sectors energètics.

12.1. Xarxes de distribució d'hidrogen.

Les xarxes de distribució són essencials per transportar l'hidrogen des dels punts de producció fins als usuaris finals, siguin indústries o estacions de servei. Aquestes xarxes inclouen gasoductes específics, similars als utilitzats pel gas natural, però adaptats per gestionar les propietats úniques de l'hidrogen, com la seva capacitat de difondre més ràpidament a través dels materials.

Actualment, ja existeixen projectes de canonades per a hidrogen en zones industrials, especialment en països com Alemanya i els Països Baixos. L'objectiu és ampliar aquestes xarxes per crear una "autopista de l'hidrogen" que pugui abastir les ciutats i zones amb alta demanda.



Figura 4. Infraestructura d'Hidrogen en Alemanya: Planificació de la Nova Xarxa per a 2032 – Font: Vilela, A. (2023, novembre 22). Alemanya apuesta por una red de tuberías de hidrógeno de 20.000 millones de euros. H2 Business News; Latam Green. <https://h2businessnews.com/alemania-apuesta-por-un-a-red-de-tuberias-de-hidrogeno-de-20-000-millones-de-euros/>

12.2. Estacions de servei d'hidrogen.

Les estacions de servei d'hidrogen són clau per a la mobilitat sostenible basada en vehicles d'hidrogen, com autobusos, cotxes o camions. Aquestes estacions permeten la càrrega de vehicles de manera semblant a les gasolineres tradicionals, però amb algunes diferències tècniques:

- Les estacions actuals ofereixen hidrogen comprimit a pressions altes (350-700 bar) per assegurar una càrrega ràpida i eficient.
- A la península ibèrica, Espanya compta amb 12 hidrogeneres (2 públiques, 7 privades i 3 en construcció) i 248 punts de repostatge de gas natural, mentre que Portugal té 28 punts de repostatge de gas natural, amb un interès creixent per expandir la infraestructura d'hidrogen.¹⁶

Països com el Japó, Alemanya i els Estats Units ja disposen de centenars d'estacions de servei d'hidrogen, però encara queda molt per fer per desenvolupar una xarxa extensa a nivell mundial. La creació d'una xarxa d'estacions de servei és crucial per fomentar l'adopció dels vehicles d'hidrogen, però requereix inversions importants i una coordinació entre governs i empreses privades.

12.3. Transport de l'hidrogen.

El transport d'hidrogen es pot fer de diverses maneres, depenent de l'estat en què es trobi: gasós, líquid o sòlid. Les opcions més comunes són el transport mitjançant camions cisterna per a gas comprimit o líquid i l'ús de canonades especials. Cadascuna d'aquestes opcions presenta avantatges i desafiaments.

12.3.1. Riscos del transport.

Transportar hidrogen comporta certs riscos, a causa de les seves propietats químiques:

- L'hidrogen és extremadament inflamable i lleuger, per la qual cosa pot escapar fàcilment a l'atmosfera en cas de fuites, augmentant el risc d'explosions.

¹⁶ Font: Mapa de estaciones de gas natural e hidrógeno. (2022, desembre 12). Gasnam. <https://gasnam.es/mapa-estaciones-gas-natural-hidrogeno/>

- Els contenidors i cisternes han de ser resistents i complir amb estrictes normes de seguretat per suportar altes pressions o temperatures molt baixes (en el cas d'hidrogen líquid).

Per evitar accidents, cal aplicar protocols de seguretat avançats durant el transport i monitorar constantment els nivells de seguretat.

12.3.2. Alternativa de transport.

Una alternativa al transport d'hidrogen en estat pur és el seu transport en forma d'altres compostos químics, com amoníac o metà sintètic, que són més estables i segurs.

- Amoníac (NH_3): És una substància fàcil de manipular i pot descompondre's per obtenir hidrogen quan sigui necessari. Té una densitat d'energia elevada i es pot transportar utilitzant la infraestructura ja existent.
- Hidrurs metàl·lics: Aquesta opció es basa en emmagatzemar hidrogen en materials sòlids que alliberen l'hidrogen quan s'escalfen. Aquesta tècnica redueix els riscos de fugues i millora la seguretat durant el transport.

Aquestes alternatives redueixen els riscos associats al transport d'hidrogen i podrien ser solucions eficients a llarg termini per a la seva distribució segura i sostenible.

13. CONSIDERACIONS SOCIOECONÒMIQUES¹⁷

La implantació de l'hidrogen a font d'energia mundialment tindrà efectes secundaris i conseqüències. Si els països àrabs, que actualment depenen del petroli, es veuen afectats per l'adopció generalitzada de l'hidrogen com a font d'energia, això tindria conseqüències importants tant econòmiques com socials.

Per començar, l'economia d'aquests països es basa principalment en les exportacions de petroli. Si Europa, un dels seus principals compradors, comença a dependre més de l'hidrogen que del petroli, es reduirien els ingressos d'aquests països, cosa que podria afectar les seves finances públiques i el benestar social. Això es traduiria en menys diners per finançar projectes governamentals, serveis social... Això podria generar inestabilitat en països que depenen d'aquest model econòmic, ja que es perdrien molts llocs de treball relacionats amb la indústria petrolera.

A més, el desplaçament del petroli podria canviar les dinàmiques del mercat laboral. En perdre pes la indústria del petroli, milions de persones haurien de buscar noves oportunitats laborals. Això requereix una inversió significativa en la formació de la població, ja que molts treballadors hauran d'adquirir noves habilitats en sectors com les energies renovables o la tecnologia de l'hidrogen.

En termes geopolítics, els països productors de petroli perdrien part de la seva influència global, pel fet que la seva capacitat de controlar el mercat energètic mundial disminuiria. Això podria alterar relacions comercials i aliances internacionals, fent que les economies que produeixen hidrogen verd o tecnologies d'energia renovable guanyessin protagonisme.

No obstant això, no tot seria negatiu per a aquests països. Molts tenen grans extensions de terreny amb condicions òptimes per a produir hidrogen verd a partir de l'energia solar. Això els oferiria una nova oportunitat per adaptar-se i continuar sent rellevants al mercat energètic global.

¹⁷ Font: Font: Rifkin, Jeremy. *La economía del hidrógeno: cuando se agote el petróleo*. Barcelona: Editorial Paidós Ibérica, setembre 2002. (Col·lecció Estado y Sociedad, Número 0). ISBN 84-493-1280-9.

Al final, l'hidrogen ofereix una oportunitat per crear un futur més net i sostenible, però també posarà a prova la capacitat d'adaptació dels països que actualment basen la seva riquesa en el petroli. Només el temps dirà com gestionaran aquesta transició i si seran capaços d'aprofitar les noves oportunitats que ofereix el mercat energètic global.

MARC PRÀCTIC

14. CONSTRUCCIÓ I FUNCIONAMENT D'UNA PILA DE COMBUSTIBLE D'HIDROGEN

14.1. Introducció a la Pila de Combustible.¹⁸

Per a poder comprendre l'hidrogen més a fons he decidit investigar sobre la pila de combustible mitjançant un experiment on he recreat l'electròlisi.

Una pila de combustible d'hidrogen és un dispositiu que converteix l'energia química de l'hidrogen i l'oxigen en energia elèctrica mitjançant un procés d'electròlisi invers. A continuació, explicaré el seu funcionament, basant-me en els principis que he observat durant l'experiment d'electròlisi (vegeu [Annex 1](#)).

- **Components de la pila de combustible:**

Una pila de combustible típica consta de tres components principals:

- ❖ Càtode: L'elèctrode *positiu* on es produeix la reacció d'oxidació.
- ❖ Ànode: L'elèctrode *negatiu* on es produeix la reacció de reducció.
- ❖ Membrana d'intercanvi de protons (PEM): Una capa que permet el pas dels ions d'hidrogen, però impedeix el pas d'electrons.

- **Funcionament:**

1. Subministrament d'hidrogen:

- ❖ L'hidrogen es subministra a l'ànode, on s'oxida. Aquesta reacció implica que l'hidrogen (H₂) es descompon en ions d'hidrogen (H⁺) i electrons (e⁻):



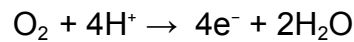
¹⁸ Font: Rifkin, Jeremy. La economía del hidrógeno: cuando se agote el petróleo. Barcelona: Editorial Paidós Ibérica, setembre 2002. Pàg. 234. (Col·lecció Estado y Sociedad, Número 0). ISBN 84-493-1280-9.

2. Moviment dels ions i electrons:

- ❖ Els ions d'hidrogen (H^+) passen a través de la membrana d'intercanvi de protons cap al càtode.
- ❖ Els electrons generats es desplacen a través d'un circuit extern, creant un flux d'electricitat.

3. Reacció al càtode:

- ❖ Al càtode, els ions d'hidrogen es combinen amb oxigen (O_2) de l'aire i els electrons que han passat pel circuit extern per formar aigua (H_2O):



4. Producció d'aigua i energia:

- ❖ Com a resultat d'aquestes reaccions, s'obre la producció d'aigua com a subproducte i energia elèctrica. Aquest procés és net, ja que el seu únic subproducte és l'aigua, sense emissions contaminants.

- **Comparació amb l'experiment d'electròlisi**

L'experiment d'electròlisi que he realitzat a casa il·lustra els principis bàsics de la reacció química que es produeix en una pila de combustible, però en direcció inversa. Durant l'electròlisi, he obtingut hidrogen i oxigen a partir de l'aigua. En canvi, en una pila de combustible, l'hidrogen i l'oxigen es combinen per produir electricitat i aigua. Aquest procés tanca el cicle i fa que les piles de combustible d'hidrogen siguin una font d'energia renovable i sostenible, ja que aprofiten els gasos generats en l'electròlisi per generar energia neta.

15. QÜESTIONARIS A LA SOCIETAT

15.1. Disseny del qüestionari.

Per poder analitzar i avaluar el coneixement que té la societat sobre l'hidrogen he realitzat una senzilla enquesta. En aquesta enquesta es plantegen dues preguntes clau, en la primera es pregunta si alguna vegada han sentit parlar de l'hidrogen com a font d'energia i la segona com valorarien en una escala el seu coneixement sobre aquest vector energètic (vegeu [Annex 2](#)).

Aquesta enquesta, realitzada a un total de 312 persones, m'ha permès una aproximació a la consciència que té la població sobre l'hidrogen i m'ha fet reflexionar sobre el que podríem fer per millorar aquesta percepció.

15.2. Anàlisi i conclusions.

La majoria de les respostes que he rebut són de menors de divuit anys, tots d'ells estudiants. També hi ha una representació significativa de persones d'entre 46 i 60 anys, mentre que els grups de 18 a 30 anys i de 31 a 45 anys estan força igualats. El grup de persones més petit és el de majors de seixanta anys.

El fet que hi hagi un percentatge molt elevat de joves és important, ja que les seves respostes poden estar influenciades per la seva educació, tant a l'escola com a casa, i també per la tecnologia. Estar exposats durant molt de temps a les pantalles pot afectar el seu coneixement sobre l'hidrogen, fent que alguns en sàpiguen molt perquè ho han vist a internet, o que altres no en tinguin tanta informació.

D'altra banda, les persones d'entre 46 i 60 anys podrien tenir una visió més conservadora respecte a aquesta font d'energia, ja que durant gran part de la seva vida no han estat exposades a les energies renovables. No ha estat fins als darrers anys que aquestes fonts s'han començat a implementar, i com que moltes encara s'estan desenvolupant, poden generar certa desconfiança. En canvi, el grup més jove podria ser més receptiu i obert a noves fonts energètiques com l'hidrogen.

Pel que fa a la ubicació, la gran majoria viuen a Barcelona. Les altres províncies com Tarragona i Girona, així com zones fora de Catalunya, pràcticament no estan representades.

Aquesta alta concentració de respostes a Barcelona pot influir en els resultats, ja que a la ciutat ja s'està utilitzant l'hidrogen en autobusos i s'estan desenvolupant projectes per ampliar-ne l'ús. A més, es fan campanyes de sensibilització sobre energies renovables. En canvi, a altres províncies aquestes iniciatives no estan tan presents, fet que pot afectar la percepció i coneixement de l'hidrogen en aquestes zones.

Amb relació al coneixement sobre l'hidrogen com a font d'energia, un 62,5% dels enquestats n'ha sentit parlar, cosa que suggereix una consciència alta sobre el tema. És positiu que una part important de la població conegui l'hidrogen i les seves possibles aplicacions energètiques. No obstant això, el fet que un 37,5% no hagi sentit parlar de l'hidrogen és preocupant, ja que indica que encara hi ha molta gent que no coneix aquesta tecnologia. Aquesta falta de coneixement pot dificultar l'adopció de l'hidrogen com a font d'energia sostenible. Això significa que hi ha una gran oportunitat per fer campanyes d'informació i educació que ajudin la gent a comprendre millor l'hidrogen i els seus avantatges.

Encara que la majoria dels enquestats sap que l'hidrogen existeix, hi ha molt espai per millorar la informació sobre com funciona i quins beneficis aporta. Això indica que, tot i que l'hidrogen està guanyant visibilitat, la informació concreta sobre les seves aplicacions pràctiques i els seus avantatges per al medi ambient no ha arribat a tothom.

Em sembla que és molt important que s'augmentin les iniciatives que busquen ensenyar la població sobre l'hidrogen, no només per millorar el seu coneixement, sinó també per fomentar el seu paper en la transició energètica i com pot ajudar a tenir un futur més sostenible.

Pel que fa al nivell de coneixement, la majoria dels enquestats es consideren poc informats sobre l'energia de l'hidrogen. Un 36,5% dels participants valora el seu coneixement com a baix, mentre que un 34,6% ho fa com a molt baix. Això vol dir que al voltant del 71,1% de les persones tenen una idea limitada o molt limitada sobre aquesta font d'energia. Només un 7,7% creu tenir un coneixement alt o molt alt, cosa que indica que poques persones comprenen bé el tema.

Aquesta situació em fa reflexionar, ja que l'hidrogen com a font d'energia, és un element important en la transició cap a fonts d'energia més netes i sostenibles, pot ajudar a emmagatzemar i transportar energia, i això és fonamental per afrontar els problemes energètics d'avui en dia. Si un gran nombre de persones no coneixen bé l'hidrogen, pot ser que no estiguin interessades en aquesta tecnologia.

A més, el fet que la majoria dels participants se sentin poc informats ens torna a mostrar que hi ha una necessitat clara de campanyes d'educació i divulgació. Aquestes iniciatives podrien ajudar a explicar com funciona l'hidrogen, quines aplicacions té i els beneficis que pot aportar.

Millorar el coneixement sobre l'hidrogen no només pot augmentar la comprensió general, sinó que també pot animar les persones a participar en projectes relacionats amb el seu ús. En resum, una millor comprensió de l'hidrogen i les seves aplicacions pot ajudar que més gent l'accepti i el faci servir en el futur.

16. ENTREVISTES AMB ESPECIALISTES EN HIDROGEN

16.1. Metodologia d'entrevistes.

El 24 d'abril del 2024¹⁹, vaig assistir a una jornada informativa anomenada "Present i Futur de l'Hidrogen", organitzada pel Club ETSEIB Alumni de la Universitat Politècnica de Catalunya. Allí, vaig tenir el plaer d'escoltar i debatre idees amb experts en aquest ampli tema. Els participants d'aquesta jornada van ser l'Albert Mitjà, director d'Indox, 'H2 and Solar Business'; en Xavier Torres, general manager de MMM Group; la Maria Serra, directora del CER-H2 de la UPC; i, finalment, l'Albert Ballbé, coordinador de projectes de la direcció general d'Indústria (GENCAT).

A partir de la jornada informativa, vaig adquirir un gran coneixement sobre el paper de l'hidrogen en la indústria, així com sobre les innovacions i reptes que afronta aquest sector. No obstant això, vaig sentir que necessitava aprofundir més en alguns temes específics. Per això, vaig decidir realitzar entrevistes a la Teresa Navarro (INDOX), la Maria Serra i en Xavier Torres, amb la finalitat d'obtenir una perspectiva més detallada i actualitzada sobre les aplicacions i les oportunitats que ofereix l'hidrogen, així com sobre les iniciatives que cada un d'ells lidera en aquest camp.

Per comprendre millor les perspectives aportades en les entrevistes, és necessari conèixer més a fons cadascun dels entrevistats:

Primer tenim al Xavier Torres és el general manager de MMM Group, una companyia reconeguda per la seva innovació en solucions industrials i tecnologies relacionades amb l'hidrogen. Amb una àmplia trajectòria en enginyeria i gestió de projectes, Torres ha estat al capdavant d'iniciatives que busquen integrar l'hidrogen en processos industrials, millorant l'eficiència energètica i reduint les emissions de gasos d'efecte hivernacle. La seva visió estratègica es basa en la creença que l'hidrogen pot jugar un paper fonamental en la descarbonització de la indústria, i ha treballat per establir aliances entre empreses i institucions per promoure la investigació i l'aplicació d'aquestes tecnologies innovadores.

¹⁹ Informació sobre la jornada:

<https://etseib.upc.edu/ca/esdeveniments/jornada-informativa-present-i-futur-de-lhidrogen-club-etseib-alumni>.

Seguidament a la Teresa Navarro, que és la 'H2 & Solar Business Development Mànager' d'Indox, una empresa líder en el desenvolupament de solucions energètiques basades en l'hidrogen i l'energia solar. Amb una formació en enginyeria industrial i una àmplia experiència en el sector de les energies renovables, la Teresa i el seu equip han estat clau en la implementació de projectes que busquen integrar l'hidrogen com a font d'energia sostenible. La seva visió se centra en la innovació i la sostenibilitat, promovent l'ús de tecnologies netes que ajudin a reduir les emissions de carboni. A més, ha participat activament en iniciatives que fomenten la col·laboració entre institucions acadèmiques i empreses per accelerar la transició energètica.

I finalment a la Maria Serra, la directora del CER-H2 (Centre d'Investigació en Hidrogen) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Amb una sòlida formació en ciències de l'enginyeria, Serra ha dedicat la seva carrera a la investigació i al desenvolupament de tecnologies d'hidrogen. El seu centre es centra a estudiar l'hidrogen com a vector energètic, analitzant les seves aplicacions en el transport, la generació d'energia i la indústria. Serra ha estat autora de nombrosos articles científics i ha liderat projectes que busquen millorar l'eficiència i la viabilitat de les solucions d'hidrogen, contribuint així a la transició cap a un sistema energètic més sostenible.

Les entrevistes que he realitzat han seguit una metodologia qualitativa, amb l'objectiu d'obtenir més informació sobre l'hidrogen des de la perspectiva de professionals en aquest àmbit. S'han plantejat diferents preguntes que aborden aspectes com el desenvolupament tecnològic, els reptes per a la implementació de l'hidrogen a gran escala, l'impacte social i mediambiental que pot tenir aquesta font d'energia, entre d'altres.

16.2. Respostes i anàlisi.

L'entrevista amb **Xavier Torres** (vegeu [Annex 3](#)), director general de **MMM Group**, m'ha proporcionat una visió sobre com l'empresa està treballant amb fonts com el metà, que son igual de competents que l'hidrogen. La primera pregunta mostra que la decisió de centrar-se en l'hidrogen va sorgir de la necessitat de diversificar el negoci, sobretot en un moment en què la indústria de l'automòbil es troba amb molts

reptes. Aquesta estratègia és un bon exemple de com les empreses han de ser actives i flexibles davant els canvis del mercat. Reconèixer quan cal adaptar-se a noves tecnologies és fonamental per garantir la sostenibilitat i el creixement a llarg termini.

La tecnologia de generadors de metanol a hidrogen que presenta MMM Group és innovadora i se centra a ser eficient energèticament i reduir emissions de CO₂. En Xavier m'ha explicat com funciona aquest procés de manera clara, i m'a semblat molt interessant, ja que mostra que es tracta d'una tecnologia madura que pot ajudar a la transició energètica de manera immediata. La purificació de l'hidrogen, que arriba a una puresa del 99,997%, fa que aquest sistema sigui viable en un mercat que busca solucions netes i eficients.

Ell destaca que la tecnologia del metanol no busca substituir les energies renovables, sinó complementar-les. A més, l'hidrogen és un vector energètic, igual que el metanol o l'amoníac, i no hi ha una manera 100% eficient d'emmagatzemar-lo. Això és crucial en la discussió sobre la transició energètica, ja que demostra que no hi ha una sola solució per a tots els problemes energètics. Tenir diverses opcions és una manera intel·ligent d'afrontar la complexitat dels nostres sistemes energètics. A més, identificar sectors com la mineria i la indústria que poden beneficiar-se immediatament reflecteix un enfocament que, amb una bona inversió internacional, pot arribar a ser molt competitiu en el futur.

Torres, a més, parla, dels reptes que presenta la implementació de la tecnologia. El desconeixement i la falta de lleis adequades poden complicar el seu desenvolupament. La seva crítica al fet de centrar-se només a eliminar el CO₂ mostra una visió més completa del problema. Reduir emissions és important, però també hem de pensar en solucions que ja existeixen i que poden donar resultats immediats.

També es fa elusió als avantatges del metanol per emmagatzemar i transportar hidrogen, destacant que és un líquid que es pot tractar amb la infraestructura actual. Aquesta és una idea pràctica que sovint es passa per alt quan es parla d'hidrogen. Les solucions tecnològiques no només han de ser efectives, sinó que també han de

ser fàcils d'implementar en la vida real. En aquest sentit, l'eficiència del transport i la reducció de costos són clau perquè la tecnologia sigui acceptada al mercat.

Les col·laboracions que MMM Group ha fet amb altres empreses són molt importants. En Xavier destaca que per superar els reptes actuals, cal treballar junts. Aquesta forma de treball no només ajuda a desenvolupar noves tecnologies més ràpidament, sinó que també crea un ecosistema més fort i connectat, capaç d'afrontar els desafiaments de manera conjunta.

Sobre les aplicacions en sectors com el marítim i l'aviació, reconeix que el metanol pot ser útil en el sector marítim, però també menciona les limitacions en l'aviació. Aquest anàlisi és important perquè ajuda a identificar on la tecnologia pot tenir més impacte ràpidament i on potser caldrà buscar altres opcions.

La visió de MMM Group per al futur se centra a produir hidrogen a demanda i capturar CO₂, subratllant la importància de trobar solucions innovadores que realment ajudin en la lluita contra el canvi climàtic. Torres explica que l'hidrogen és un vector energètic, no una font d'energia per si mateix. Aquesta diferenciació és important perquè ens recorda que la innovació i el desenvolupament tecnològic necessiten una comprensió clara dels principis energètics..

L'entrevista amb **Teresa Navarro** (vegeu [Annex 4](#)), H2 & Solar Business Development Màner a **INDOX**, m'ha donat una una visió interessant sobre com l'hidrogen verd pot ajudar en la transició energètica. La Teresa m'ha explicat i recalcat que l'hidrogen verd es aquell que produeix sense emissions de CO₂, mitjançant l'electròlisi de l'aigua amb electricitat de fonts renovables, com la solar i l'eòlica. Això el fa molt important per reduir els gasos d'efecte hivernacle i per ajudar a indústries clau a descarbonitzar-se.

També, va mencionar que actualment, el 99% de l'hidrogen que s'utilitza és hidrogen gris, que es fa a partir del metà i genera emissions de CO₂. La proposta innovadora d'INDOX és produir hidrogen per autoconsum, utilitzant plaques solars i un electrolitzador per escalfar processos industrials, com les cabines de pintura. Això pot reduir la petjada de carboni en un 5% només barrejant hidrogen amb gas natural.

A més, INDOX aprofita la seva experiència en el transport de gasos criogenitzats per adaptar-se a les necessitats de l'hidrogen. Això no només ajuda a fer el món més sostenible, sinó que també ofereix oportunitats per a les empreses que volen ser més ecològiques.

Un punt important de l'entrevista va ser la discussió sobre els reptes que encara hi ha en l'adopció de l'hidrogen verd. Navarro va assenyalar que la tecnologia dels electrolitzadors encara no és molt madura i que produir hidrogen verd és més car que utilitzar gas. Això pot fer que les empreses dubtin a invertir-hi. No obstant això, ella es va mostrar optimista, creient que a mesura que creixi la demanda d'electrolitzadors, la tecnologia es farà més accessible i econòmica.

El procés de barreja d'hidrogen amb gas natural em va sorprendre completament, ja que resulta ser més fàcil del que pensava. Utilitzant les mateixes infraestructures del gas natural, aquest mètode permet una transició més suau. Això no només redueix les emissions, sinó que facilita la integració de l'hidrogen en el sistema energètic actual.

Pel que fa a les indústries que podrien beneficiar-se més de l'hidrogen verd, es van anomenar les que treballen a alta temperatura, com la metal·lúrgia i la papelera. Aquests sectors, que necessiten temperatures superiors a 600 graus, són ideals per integrar l'hidrogen verd, ja que pot millorar l'eficiència i sostenibilitat dels seus processos.

Al final, Navarro va fer un missatge clar per a les empreses que volen fer el pas cap a l'hidrogen: la informació és fonamental. Va recomanar que es formessin, consultessin experts i estiguessin oberts a noves solucions energètiques. Conèixer les possibilitats de l'hidrogen com a font d'energia sostenible és essencial per impulsar la seva adopció.

L'entrevista amb **Maria Serra** del **CERH2** (vegeu [Annex 5](#)) m'ha oferit una visió clara sobre el paper crucial que l'hidrogen té en la transició energètica global. La Maria explica que l'hidrogen no és només una font d'energia, sinó un vector energètic fonamental que pot ajudar a gestionar les energies renovables. A mesura que les fonts d'energia com la solar i l'eòlica són impredecibles, l'hidrogen proporciona una solució per emmagatzemar l'excés d'energia generada en moments

de producció elevada. Això és essencial per equilibrar la demanda i l'oferta, contribuint així a un sistema energètic més estable i sostenible.

Malgrat els seus avantatges, la producció massiva d'hidrogen verd enfronta diversos reptes. Ella destaca els costos elevats dels electrolitzadors i la necessitat d'inversions significatives en infraestructures com plaques solars. A més, la proposta d'utilitzar aigua del mar o aigües residuals per produir hidrogen pot ser una solució viable per reduir costos i fer el procés més sostenible. Aquesta última està sent estudiada per ella i el seu grup d'experts.

Pel que fa a la competència entre vehicles elèctrics i vehicles d'hidrogen, Maria assenyala que ambdues tecnologies tenen els seus llocs en el mercat. Els vehicles elèctrics són molt eficients per a trajectes llargs, mentre que els vehicles d'hidrogen poden ser més pràctics per a l'ús urbà, on la infraestructura de càrrega pot ser limitada. Aquesta coexistència de tecnologies pot oferir solucions adaptades a les necessitats diverses de la gent.

La integració de l'hidrogen en el transport públic, com ja passa a Barcelona, és una manera efectiva de reduir emissions en ciutats. No obstant això, ella destaca que utilitzar l'hidrogen per a calefacció domèstica és més complicat, i Espanya necessita avançar en aquest aspecte.

L'experta en hidrogen subratlla que per superar les preocupacions sobre el cost i la seguretat de l'hidrogen, és clau informar la societat. Una millor comprensió dels seus beneficis, juntament amb inversions en investigació, pot ajudar a generar confiança en aquesta tecnologia. Campanyes informatives i projectes pilot són essencials per aconseguir acceptació social i promoure l'hidrogen com a alternativa viable.

17. ESTUDI DE LA VIABILITAT DE L'IMPLANTACIÓ D'HIDROGEN A LA FLOTA MUNICIPAL DE CORNELLÀ DE LLOBREGAT

17.1. Explicació del projecte.

A més de les entrevistes i enquestes, he decidit desenvolupar un prototip relacionat amb l'ús de l'hidrogen. La proposta consisteix a incorporar vehicles d'hidrogen a la flota municipal de la Guàrdia Urbana de Cornellà de Llobregat. Aquest projecte busca millorar la sostenibilitat del municipi i reduir les emissions de CO₂ generades pels vehicles actuals. (vegeu [Annex 6.](#))

17.2. Anàlisi de la flota actual.

Actualment, la flota de la Guàrdia Urbana de Cornellà compta amb 9 vehicles, dels quals 4 són elèctrics. Aquests vehicles elèctrics van ser incorporats a la flota l'any 2018 i es mantenen en bon estat, per la qual cosa no es preveu la seva substitució a curt termini. Per a la meua part pràctica, em centraré en els 5 vehicles restants, que encara funcionen amb gasolina, ja que aquests seran els que requeriran renovació ben aviat. Els cotxes de gasolina que utilitza la Guàrdia Urbana són els Kia XCeed, un model amb un motor 1.0 T-GDi de 3 cilindres que produeix uns 120 cavalls de força. El Kia XCeed consumeix uns 7,2 litres per cada 100 km, el que li dona una autonomia aproximada de 680 km per dipòsit. La implantació d'aquests cotxes, en el seu moment, va tenir un cost aproximat de 103.074,00 €, que inclou el preu dels vehicles, l'impost de matriculació segons les emissions de CO₂, caldria afegir-li altres despeses com la pintura, taxes públiques, etc.

17.2.1. Consum de combustible i emissions de CO₂ dels vehicles actuals.

Pel que fa a l'impacte ambiental, cada Kia XCeed emet 136 grams de CO₂ per quilòmetre, cosa que resulta preocupant davant la situació climàtica actual. Sabent que la flota recorre uns 50.000 km anuals, això es tradueix en una emissió total anual de 34.000.000 grams de CO₂ (o 34 tones de CO₂). Aquest volum d'emissions demostra la necessitat d'adoptar alternatives més sostenibles, com l'hidrogen.

17.2.2. Costos anuals de la flota actual (combustible).

Com ja s'ha esmentat, els vehicles recorren aproximadament 50.000 km cada any. Amb un consum de 7,2 litres de gasolina per cada 100 km, el consum total de gasolina és d'uns 3.600 litres anuals per vehicle, la qual cosa resulta en 18.000 litres per als 5 vehicles de gasolina de la flota. Si prenem el preu mitjà de la gasolina a 1,8 euros per litre, això suposa un cost anual de 32.400,00 € en combustible per a la flota.

A aquest cost també caldria sumar-hi les possibles despeses de manteniment i reparacions, ja que els vehicles de combustió interna solen requerir més manteniment que els d'hidrogen, cosa que incrementa els costos operatius a llarg termini.

17.3. Els vehicles d'hidrogen.

17.3.1. Característiques tècniques del Toyota Mirai.

El Toyota Mirai és un vehicle molt avançat que utilitza tecnologia d'hidrogen. Funciona amb una pila de combustible que transforma l'hidrogen en electricitat, cosa que li permet conduir de manera eficient i sense emissions contaminants. Té un motor elèctric de 134 kW (182 CV), que ofereix una acceleració suau i potent, ideal tant per a la ciutat com per a viatges llargs.

A més, el Mirai pot recórrer 650 km amb un dipòsit ple d'hidrogen, cosa que el supera en molts casos davant dels cotxes elèctrics convencionals. Aquesta autonomia el fa competitiu amb vehicles de combustió i elèctrics. Consumeix aproximadament 1 kg d'hidrogen cada 100 km, cosa que el fa molt eficient energèticament.

El Mirai té tres dipòsits d'hidrogen d'alta pressió amb una capacitat total de 5,6 kg. Estan dissenyats per resistir condicions extremes i garantir la seguretat en cas d'impacte. Un gran avantatge del Mirai és que es pot recarregar ràpidament, en només 3-5 minuts, similar al temps que es triga a repostar un vehicle de combustió.

En termes d'emissions, només produeix vapor d'aigua com a residu, ja que en la reacció de la pila de combustible només es combinen hidrogen i oxigen per generar electricitat i aigua. Això significa que no emet CO₂ ni altres gasos contaminants.

17.3.2. Funcionament dels vehicles d'hidrogen.

Els vehicles d'hidrogen utilitzen una tecnologia anomenada pila de combustible. Aquesta tecnologia transforma l'hidrogen emmagatzemat en electricitat a través d'una reacció química amb l'oxigen de l'aire. El procés és senzill: l'hidrogen es guarda en dipòsits a alta pressió i es dirigeix a la pila de combustible, on es combina amb oxigen per generar electricitat que impulsa el cotxe.

A la pila de combustible, l'hidrogen es divideix en protons i electrons. Els electrons viatgen per un circuit extern, generant electricitat que alimenta el motor elèctric del cotxe. Aquesta electricitat es produeix només quan el cotxe la necessita. A més, aquesta energia es pot guardar en una bateria del cotxe per utilitzar-la més tard quan es necessita més potència o acceleració. Quan el cotxe requereix molta energia, la pila de combustible dona electricitat directament al motor, i la bateria ajuda a satisfer aquesta demanda. Una altra cosa interessant dels vehicles d'hidrogen és la frenada regenerativa. Quan el cotxe frena, recupera part de l'energia i la guarda a la bateria. Això ajuda a reduir el consum d'hidrogen, fent el vehicle més eficient.

17.3.3. Avantatges dels vehicles d'hidrogen en termes de sostenibilitat i emissions zero.

Els vehicles d'hidrogen són una opció molt sostenible, ja que utilitzen cel·les de combustible que generen energia a partir de la reacció entre hidrogen i oxigen, produint només vapor d'aigua com a residu. Això significa que no emeten gasos d'efecte hivernacle ni contaminants, millorant la qualitat de l'aire, sobretot en ciutats.

A més, l'hidrogen pot ser obtingut de fonts d'energia renovables, com l'energia solar o eòlica, a través d'electròlisi. Això redueix la dependència dels combustibles fòssils i augmenta la seguretat energètica. Els vehicles d'hidrogen també són més eficients que els motors de combustió interna, amb una eficiència superior al 60%.

La seva incorporació en flotes de policia pot inspirar altres sectors, promovent un canvi cap a una mobilitat més sostenible. En resum, els vehicles d'hidrogen són un pas important cap a una societat més verda i responsable amb el medi ambient.

17.4. Comparativa entre Vehicles d'Hidrogen i flota actual.

Per a poder analitzar bé i afirmar o no la meua hipòtesi s'han de realitzar comparacions entre els dos cotxes, el Toyota Mirai (hidrogen) i els de la flota Kia XCeed.

Si considerem un total de 5 vehicles Toyota Mirai. Cada cotxe té un consum d'hidrogen d'1 kg cada 100 km, i amb un recorregut anual de 50.000 km, el consum total d'hidrogen per vehicle ascendeix a 500 kg.

El preu de l'hidrogen és actualment de 9-10 per kg, però s'espera que d'aquí poc baixi fins al 8€. Així, el cost anual de repostatge per a cada vehicle és de 4.000,00 €, resultant en un cost total de 20.000,00 € per als 5 vehicles.

Els vehicles Toyota Mirai ofereixen una autonomia de 650 km, cosa que els fa molt competitius en termes d'eficiència i abast.

Per l'altra banda, analitzem la flota dels 5 vehicles Kia XCeed. Cada cotxe té un consum de gasolina de 7,2 litres cada 100 km. Amb un recorregut anual de 50.000 km per vehicle, el consum total de gasolina per a cada cotxe és de 3.600 litres.

El preu de la gasolina és d'aproximadament (segons l'època) 1,80 € per litre. Així, el cost anual de repostatge per a cada vehicle ascendeix a 6.480 €, resultant en un cost total de 32.400 € per a la flota de 5 vehicles.

Els Kia XCeed ofereixen una autonomia de 700 km, cosa que els permet realitzar llargues distàncies sense necessitat de repostar sovint. No obstant això, la seva dependència dels combustibles fòssils implica un major impacte ambiental en comparació amb els vehicles d'hidrogen.

17.4.1. Conclusions extretes de la comparació.

Una vegada ho tenim comparat en termes econòmics cal comparar-ho en l'aspecte que més influeix. Les emissions de CO₂. Com és obvi, els cotxes d'hidrogen a causa

del seu procés d'obtenció d'energia produeixen 0 emissions de CO₂ a l'any, mentre el Kia produeix 34.000.000 grams de CO₂ a l'any, cosa que equivaldria a 34T a l'any. Realment és un número molt gran de contaminació a Cornellà, ja que si tenim en compte tots els altres vehicles que hi ha el número està pels núvols...

17.5. Proposta de Substitució de la Flota

17.5.1. Descripció del projecte de substitució

El projecte proposa la substitució dels 5 vehicles de gasolina de la flota policial per cotxes d'hidrogen Toyota Mirai. Aquest canvi es planteja amb l'objectiu de reduir les emissions de CO₂ i fer la flota més sostenible a llarg termini. Els cotxes d'hidrogen permetran mantenir les mateixes funcions operatives de la flota actual, però amb una tecnologia que només emet vapor d'aigua, sense gasos contaminants. Això contribuirà a la lluita contra el canvi climàtic i a millorar la qualitat de l'aire a la ciutat, mentre es redueixen els costos a llarg termini en manteniment i combustible.

17.5.2. Cost d'adquisició dels vehicles d'hidrogen

El cost inicial d'adquisició dels 5 vehicles Toyota Mirai es pot calcular tenint en compte el preu unitari del cotxe, que és d'aproximadament 74.200 € per vehicle. Això fa que el cost total dels 5 cotxes sigui de 371.000 €. M'he posat en contacte amb els de Toyota i m'han dit que hem de tenir en compte que l'adquisició dels vehicles es fa grupal rebrien un descompte.

En aquest preu caldria sumar-li 37,5 euros de les plaques de la matrícula i el preu de què costaria pintar els cotxes a mesura per la Guàrdia Urbana, etc.

Aquest cost inicial és significatiu, però a llarg termini es preveu una reducció de les despeses operatives, especialment en combustible i manteniment, ja que els vehicles d'hidrogen tenen menys components mecànics que els de combustió interna, i la seva eficiència és superior.

Cal tenir en compte que existeixen subvencions europees per fomentar l'adopció de tecnologies d'hidrogen, que poden reduir considerablement els costos inicials de compra i d'infraestructura necessària, com ara les hidrogeneres. Aquestes ajudes financeres permeten que la inversió es pugui amortitzar en un termini més curt, fent

que la transició cap a una flota d'hidrogen sigui més factible i econòmicament viable per al municipi.

17.5.3. Infraestructura necessària per al subministrament d'hidrogen (hidrogeneres)

En lloc d'instal·lar una nova hidrogenera, proposo que els vehicles d'hidrogen de la Guàrdia Urbana de Cornellà facin ús de l'hidrogenera existent a la Zona Franca de Barcelona, la qual és operada per Iberdrola. Aquesta estació ja està en funcionament i és accessible per als vehicles que utilitzin hidrogen, la qual cosa permetria reduir els costos inicials del projecte.

L'hidrogenera de la Zona Franca està a prop de Cornellà de Llobregat, fet que la fa una opció viable per als vehicles de la flota. Amb una recàrrega ràpida d'entre 3-5 minuts, similar al temps de repostatge dels vehicles de gasolina, es garanteix la plena operativitat dels cotxes d'hidrogen. Aquesta, subministra hidrogen comprimit a 700 bars, compatible amb els dipòsits d'alta pressió del Toyota Mirai, assegurant una càrrega eficient i segura.

L'ús d'aquesta infraestructura existent permetria reduir significativament els costos inicials del projecte, alhora que es maximitzen els beneficis de la tecnologia de l'hidrogen sense la necessitat d'inversions addicionals en infraestructures al municipi. Així, els cotxes de la Guàrdia Urbana podrien repostar de manera eficient i continuar oferint un servei ràpid i sostenible.

17.6. Impacte Social i Econòmic

La substitució de la flota actual per vehicles d'hidrogen millorarà la imatge pública de Cornellà, posicionant-la com una ciutat innovadora i compromesa amb la sostenibilitat. Aquesta iniciativa també pot inspirar altres municipis a adoptar tecnologies netes.

Els agents gaudiran d'una experiència de conducció més suau i silenciosa gràcies als motors elèctrics. Els vehicles d'hidrogen són segurs i els seus dipòsits estan dissenyats per resistir condicions extremes. A més, el seu manteniment és menys freqüent, la qual cosa redueix els costos de reparació.

Els vehicles d'hidrogen no emeten gasos contaminants, ajudant a millorar la salut pública i reduir problemes respiratoris associats amb la contaminació. També disminueixen la contaminació acústica, contribuint a un entorn més tranquil.

17.7. Anàlisi de Viabilitat

Tot i que la inversió inicial és elevada, s'estima que la inversió es podria amortitzar en un termini de 5 a 8 anys, gràcies a l'estalvi en combustible i la reducció de costos de manteniment. El menor preu de l'hidrogen, en comparació amb la gasolina, permetria una reducció important dels costos operatius anuals.

Algunes limitacions inclouen la disponibilitat limitada de punts de subministrament d'hidrogen en l'àmbit local, així com la necessitat d'adaptar els protocols de manteniment i formació dels treballadors a la nova tecnologia. Tot i així, aquestes limitacions poden ser gestionades amb una bona planificació i la col·laboració entre el sector públic i privat per facilitar l'adopció d'aquesta tecnologia.

A mesura que ens anem acostumant a aquesta nova tecnologia més endavant podríem fins i tot implementar un punt de recàrrega aquí a Cornellà de Llobregat.

18. CONCLUSIONS

Al llarg del meu treball de recerca, he explorat la viabilitat d'implantar vehicles d'hidrogen a la flota de la Guàrdia Urbana de Cornellà de Llobregat. Després d'haver recollit dades a través d'entrevistes amb experts com Xavier Torres, Teresa Navarro i Maria Serra, juntament amb l'experimentació amb la construcció d'una pila de combustible i l'anàlisi de les enquestes, puc concloure que la hipòtesi inicial —la possibilitat d'implementar vehicles d'hidrogen a la flota municipal— és viable, però amb certes consideracions.

Els resultats de les entrevistes i l'anàlisi de la flota actual de la Guàrdia Urbana mostren que el canvi cap als vehicles d'hidrogen pot ser una opció viable per contribuir a la reducció d'emissions de CO₂, gràcies a les característiques netes i sostenibles d'aquesta tecnologia. Els vehicles d'hidrogen, com el Toyota Mirai, són molt eficients i, a llarg termini, poden generar un estalvi significatiu tant en costos de combustible com de manteniment.

Tot i això, s'han identificat alguns reptes logístics que caldria abordar, com la infraestructura per al subministrament d'hidrogen. De moment, la solució immediata seria utilitzar la hidrogenera de la Zona Franca de Barcelona, però en un futur, si l'ús de l'hidrogen s'expandeix, fins i tot podria ser viable construir una hidrogenera pròpia a Cornellà, la qual cosa facilitaria l'operativa i reduiria la dependència d'altres instal·lacions.

A més, el cost inicial d'adquisició dels vehicles d'hidrogen és elevat, però les subvencions europees disponibles per projectes de mobilitat sostenible podrien ajudar a superar aquesta barrera econòmica, fent que el projecte sigui factible a mig i llarg termini. Aquesta transició cap als vehicles d'hidrogen sembla possible, però probablement serà viable en els pròxims anys, a mesura que la tecnologia maduri i la infraestructura es desenvolupi adequadament.

Al llarg del projecte, m'he sentit realment implicada i emocionada. He dedicat temps no només a la recerca teòrica, sinó també a fer entrevistes, enquestes, construir una pila de combustible i analitzar el prototip de la flota. Tot aquest procés m'ha ajudat a comprendre molt millor l'energia d'hidrogen i com s'aplica en la mobilitat.

Estic molt satisfeta amb el meu treball, ja que he pogut desenvolupar habilitats pràctiques com fer experiments i analitzar dades, així com col·laborar amb professionals del sector. Aquestes experiències m'han ajudat a créixer personalment. He après molt sobre l'energia neta i les seves aplicacions, la qual cosa em permet reflexionar sobre la seva aplicació en altres àmbits, com la indústria.

He après que crear tecnologies netes com l'hidrogen no és només qüestió de tecnologia, sinó també de canviar la forma de pensar de la societat i la política. És molt important que les institucions públiques i privades treballin juntes per aconseguir que els projectes sostenibles tinguin èxit.

Crec que el meu projecte pot interessar a moltes persones, especialment a aquelles que s'importen pel medi ambient i la transició energètica. Espero que pugui inspirar altres municipis a adoptar energies netes per als seus vehicles.

Em sento optimista sobre el futur i emocionada per les oportunitats que s'obren. Junts, podem crear un món més net i sostenible, on la tecnologia ens ajudi a viure millor i a cuidar el nostre entorn. Cada pas que fem cap a aquest canvi compte, i estic segura que el millor està per arribar.

19. FONTS

19.1. Bibliografia.

RIFKIN, Jeremy. (2002). *La economía del hidrógeno: cuando se agote el petróleo*. Barcelona: Editorial Paidós Ibérica. Col·lecció Estado y Sociedad, Número 0.

19.2. Webgrafia.

#AprendiendoJuntos 2021. [@AprendiendoJuntos2021]. (2021). *Obtención de hidrógeno a través de biomasa*. [Arxiu de Vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=yaJ2R4U39CM>.

#AprendiendoJuntos 2021. [@AprendiendoJuntos2021]. (2021). *Procesos de obtención de hidrógeno "termólisis"*. [Arxiu de Vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=Kiu4d06Slws>.

20 Minutos. (2022). *Novedades del impuesto de matriculación en este 2022: cuánto cuesta, plazos y cómo realizar el pago*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <https://www.20minutos.es/motor/actualidad/novedades-del-impuesto-de-matriculacion-2022-cuanto-cuesta-plazos-y-como-realizar-el-pago-4979722/>

Ajuntament de Barcelona. (2022). *El primer bus de hidrógeno ya circula por Barcelona*. [en línia]. [Consultat: 10 juny 2024]. Disponible a Internet: <https://www.barcelona.cat/mobilitat/es/actualitat-i-recursos/noticies/el-primer-bus-de-hidrogeno-ya-circula-por-barcelona-1163204>

Ajuntament de Cornellà. (2018.) *El Ayuntamiento de Cornellà apuesta por los vehículos eléctricos para reforzar la flota de la guardia urbana*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <https://www.cornella.cat/es/actualidad/notas-de-prensa/NotaDePrensa314>

Ajuntament de Cornellà. (2022.) *Cornellà refuerza los dispositivos de protección de la seguridad ciudadana*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <https://www.cornella.cat/es/actualidad/noticias/cornella-refuerza-los-dispositivos-de-proteccion-de-la-seguridad-ciudadana>

Alcalde, S. (2023). *Airbus crea el primer avión propulsado totalmente con hidrógeno*. [en línia]. National Geographic. [Consultat: 22 setembre 2024]. Disponible a Internet: <https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/airbus-crea-primer-avion-propulsado-totalmente-hidrogeno_15938>

Alcalde, S. (2023). *Ventajas e inconvenientes del hidrógeno como combustible alternativo*. [en línia]. National Geographic. [Consultat: 10 setembre 2024]. Disponible a Internet: <https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/ventajas-e-inconvenientes-hidrogeno-como-combustible-alternativo_14897>

Antonio Barrero F. (2023). *El primer buque que produce hidrógeno a bordo a partir de amoníaco, en el Golfo de Bizkaia*. [en línia]. Energías Renovables. [Consultat: 10 juny 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.energias-renovables.com/movilidad/el-primer-buque-que-produce-hidrogeno-20231127>>

BAXI. (s/d) *Ventajas y desventajas del hidrógeno como fuente de energía*. [en línia]. Baxi.ES. [Consultat: 19 abril 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.baxi.es/ayuda-y-consejos/normativa-y-renovables/hidrogeno-ventajas-y-desventajas>>

BBVA Pódcast. (Amfitrió). (2021). *El hidrógeno verde, el combustible del futuro*. (Nº 1). [Episodi de Pódcast]. BBVA Futuro Sostenible. Spotify. <https://open.spotify.com/episode/2AgmhzX72f5KbZcFnUwQYN>.

BBVA. (2023). *Los avances del hidrógeno en el transporte sostenible*. [en línia]. [Consultat: 10 juny 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/los-avances-del-hidrogeno-en-el-transporte-sostenible/>>

Benjumea Lorente, F. (s.d.). *Fotocatálisis y fotoelectrólisis*. [en línia]. [Consultat: 5 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://felipebenjumeallorete.com/glosario/fotocatalisis-y-fotoelectrolisis/>>

Benjumea Lorente, F. (s.d.). *La producción de hidrógeno renovable a partir de biomasa*. [en línia]. [Consultat: 6 setiembre 2024]. Disponible en:

<<https://felipebenjumeallorete.com/la-produccion-de-hidrogeno-renovable-biomasa/>>

Cabello, L. (2021). *Fotoelectrocatalisis, el proyecto de innovación de Repsol y Enagás que simplifica la electrolisis, busca novio*. [en línia]. Pv Magazine España. [Consultat: 14 febrer 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.pv-magazine.es/2021/08/26/fotoelectrocatalisis-el-proyecto-de-innovacion-de-repsol-y-enagas-que-simplifica-la-electrolisis-busca-novio/>>

Centre d'Energia Hidrogen UPC. (s.d). *Equip del CERH2*. [en línia]. [Consultat: 11 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://cerh2.upc.edu/sobre-el-centre/equip>>

CIC Energigune. (2022). *Ciclos termoquímicos de división del agua: una tecnología prometedora para convertir la luz solar y el calor residual en hidrógeno verde*. [en línia]. [Consultat: 8 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://cicenergigune.com/es/blog/twsc-ciclos-termoquimicos-division-agua-convertir-luz-solar-y-calor-residual-hidrogeno-verde>>

CIC Energigune. (2022). *Elegir el mejor método de almacenamiento de hidrógeno*. [en línia]. [Consultat: 11 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://cicenergigune.com/es/blog/metodos-almacenamiento-hidrogeno-cicenergigune>>

Cicero. (s.d.). *Maria Sand*. [en línia]. [Consultat: 9 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.cicero.oslo.no/en/employees/maria-sand>>

Cienciabit: Science and Technology. [@cienciabit]. (2017). *Descomposición del Agua en Hidrógeno y Oxígeno mediante Electrólisis. IMPORTANTE: LEER DESCRIPCIÓN*. [Arxiu de Vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=wIAU0zReIRY>.

CienciaPlus. (2023). *El hidrógeno también puede acentuar el efecto invernadero*. [en línia]. Europa Press. [Consultat: 9 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.europapress.es/ciencia/cambio-climatico/noticia-hidrogeno-tambien-puede-acentuar-efecto-invernadero-20230607170356.html>>

Cisneros, P. (2021). *El Hidrógeno y su relación con energías renovables y sus excedentes*. [en línia]. CAF. [Consultat: 14 agost 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2021/02/el-hidrogeno-y-su-relacion-con-energias-renovables-y-sus-excedentes/>>

Comissió Europea. (2020). *Una estrategia del hidrógeno para una Europa climàticament neutra*. [en línia]. [Consultat: 14 agost 2024]. Disponible a Internet: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301>>

Communications. (2023). *Descubre cuáles son los distintos colores del hidrógeno*. [en línia]. BBVA. [Consultat: 19 abril 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/descubre-cuales-son-los-distintos-colores-d-el-hidrogeno/>>

Consuegra, A. de Lucas . (2020). *Producción de hidrógeno renovable mediante electrólisis de biomasa*. [en línia]. Energética 21. [Consultat: 6 setembre 2024]. Disponible en: <<https://energetica21.com/articulos-y-entrevistas-online-ver/produccion-de-hidrogeno-renovable-mediante-electrolisis-de-biomasa>>

CORDIS. (2024). *El almacenamiento del hidrógeno en estado sólido*. [en línia]. Comisión Europea. [Consultat: 11 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://cordis.europa.eu/article/id/90483-hydrogen-storage-goes-solidstate/es>>

Corso, H. (2023). *La historia del hidrógeno como combustible*. [en línia]. Hidrógeno Verde Hoy. [Consultat: 12 abril 2024]. Disponible a Internet: <<https://hidrogenoverdehoy.com.ar/la-historia-del-hidrogeno-como-combustible/>>

CSIC. (2024). *La UAM y el CSIC proponen una nueva solución tecnológica para el transporte y almacenamiento seguro de hidrógeno*. [en línia]. [Consultat: 10 febrer 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/la-uam-y-el-csic-proponen-una-nueva-solucion-tecnologica-para-el-transporte-y>>

David. (2024). *Fotocatàlisi para generar de hidrógeno*. [en línia]. Es Hidrógeno. [Consultat: 5 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://eshidrogeno.com/fotocatalisis/>>

De Aragón, E. (2024). *Jorgo Chatzimarkakis, director ejecutivo de Hydrogen Europe, habla sobre hidrógeno y la posición de ventaja de Europa*. [en línia]. Hidrógeno Verde. [Consultat: 10 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://hidrogeno-verde.es/jorgo-chatzimarkakis-hidrogeno-transicion-y-competitividad-europa/>>

Diariomotor. (2024). *Hay 10 millones en España y permiten ahorrar unos 4.000 euros al año en la tarifa de la luz*. [en línia]. [Consultat: 25 març 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.diariomotor.com/energia-sostenibilidad/espana-ahorrar-4000-euros-ano-tarifa-luz/>>

EDP. (2021) *Hidrógeno: el elemento transformador de la economía y el planeta*. [en línia]. [Consultat: 14 agost 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.edp.com/es/historias-de-edp/que-es-el-hidrogeno>>

EDP. (2021) *Los colores del hidrógeno: el verde es el color del futuro*. [en línia]. [Consultat: 14 agost 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.edp.com/es/historias-de-edp/los-colores-del-hidrogeno>>

Eligenio. (2023). *¿Qué es la fotoelectrocatalisis?*. [en línia]. [Consultat: 20 abril 2024]. Disponible a Internet: <<https://eligenio.com/es/glosario/fotoelectrocatalisis/>>

elPeriódico. (2023). *TMB comprará 36 buses más de hidrógeno cero emisiones*. [en línia]. El Periódico. Transporte Sostenible. [Consultat: 2 abril 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.elperiodico.com/es/barcelona/20230912/tmb-comprara-36-buses-hidrogeno-cero-emisiones-transporte-publico-barcelona-sostenible-91993457>>

Enagás. (s.d.). *Una red de transporte para suministrar hidrógeno*. [en línia]. [Consultat: 10 juny 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.enagas.es/es/transicion-energetica/red-gasista/infraestructuras-energeticas/transporte-hidrogeno/>>

Enel X. (s.d) *Hidrógeno, propiedades, usos y ventajas*. [en línia]. Enel Green Power. [Consultat: 14 agost 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/hidrogeno>>

Fairley, P. (2021). *TR10: Hidrógeno verde capaz de competir con los combustibles fósiles*. [en línia]. Technology Review. [Consultat: 10 setembre 2024]. Disponible a Internet:

<[Fenoge. \(s/d\). *¿Qué es el Hidrógeno y Cuáles son sus aplicaciones?*. \[en línia\]. Fenoge.GOV. \[Consultat: 2 abril 2024\]. Disponible a Internet: <<https://fenoge.gov.co/gestion-del-conocimiento/que-es-el-hidrogeno-y-cuales-son-sus-aplicaciones/>>](https://www.technologyreview.es/s/13204/tr10-hidrogeno-verde-capaz-de-competir-con-los-combustibles-fosiles#:~:text=El%20hidr%C3%B3geno%20es%20un%20combustible.variedad%20de%20complicados%20sectores%20estrat%C3%A9gicos.></p></div><div data-bbox=)

Fotocatálisis y Ciudades Sostenibles. [@fotocatalisisyciudadessost8629]. (2018). *¿Cómo funciona la fotocatalisis?*. [Arxiu de Vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=Tw0w0LyTRP8>.

Francisco J, Gil. (2024). *El futuro tren de hidrógeno acaba en Ourense sus pruebas*. [en línia]. La Regió. [Consultat: 10 juny 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.laregion.es/articulo/ourense/futuro-tren-hidrogeno-acaba-ourense-pruebas/202404210715151288295.html>>

Fulls D'Enginyeria. (2024). *Hidrogen molt verd*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.fullsendenginyeria.cat/hidrogen-molt-verd>>

Fundació Descubre. (s.d.). *Els colors del hidrogen*. [en línia]. Junta de Andalucía. [Consultat: 14 agost 2024]. Disponible a Internet: <[Gas Renewable ORG. \(2021\). *Hidrógeno verde por fotoelectrocatalisis*. \[en línia\]. \[Consultat: 5 setembre 2024\]. Disponible a Internet: <<https://www.gasrenovable.org/noticia/hidrogeno-verde-por-fotoelectrocatalisis/>>](https://fundaciondescubre.es/recursos/los-colores-del-hidrogeno/#:~:text=El%20hidr%C3%B3geno%20es%20un%20gas.inodoro%20e%20insoluble%20en%20agua.></p></div><div data-bbox=)

GASNAM. (2022). *Mapa de estaciones de gas natural e hidrógeno*. [en línia]. Gasnam.es. [Consultat: 8 abril 2024]. Disponible a Internet: <<https://gasnam.es/mapa-estaciones-gas-natural-hidrogeno/>>

Genia Bioenergy. (s.d.). *Biomasa para producir hidrógeno renovable*. [en línia]. [Consultat: 6 setembre 2024]. Disponible en: <<https://geniabienergy.com/biomasa-para-producir-hidrogeno-renovable/>>

Genia Bioenergy. (s.d.). *El hidrógeno, un vector energético con múltiples ventajas*. [en línia]. [Consultat: 30 maig 2024]. Disponible a Internet: <<https://geniabienergy.com/hidrogeno-vector-energetico-con-multiples-ventajas/>>

González Sánchez, R. (2022). *Evaluar las emisiones de hidrógeno a lo largo de todo el ciclo de vida*. [en línia]. Clean Air Task Force (CATF). [Consultat: 10 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.catf.us/es/2022/10/hydrogen-lca-emissions-across-life-cycle/>>

González, C. (2023). *Hidrógeno como combustible: ventajas y desventajas*. [en línia]. Ocasionplus. [Consultat: 10 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.ocasionplus.com/noticias/hidrogeno-como-combustible/#:~:text=Costo%3A%20El%20costo%20de%20producci%C3%B3n,de%20ebullici%C3%B3n%20y%20alta%20inflamabilidad.>>>

González, F. (2023). *El buque de hidrógeno: la sostenibilidad en el transporte marítimo*. [en línia]. Es Hidrógeno. [Consultat: 10 juny 2024]. Disponible a Internet: <<https://eshidrogeno.com/buque-de-hidrogeno/>>

Híbridos y Eléctricos. (2024). *Los colores del hidrógeno: clave para identificar su origen y huella de carbono*. [en línia]. [Consultat: 7 maig 2024]. Disponible a Internet: <https://www.hibridosyelectricos.com/energia/colores-hidrogeno-arcoiris-visualizar-respeto-medioambiente_72930_102.html>

Hyundai. (2021). *¿Cómo funciona el motor de un coche de hidrógeno?*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.hyundai.com/es/es/zonaeco/eco-drive/tendencias/como-funciona-motor-hidrogeno>>

Iberdrola. (2022). *¿Qué es un electrolizador y por qué es clave para el suministro de hidrógeno verde?*. [en línia]. [Consultat: 4 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/electrolizador>>

Iberdrola. (2022). *Así funciona la primera hidrogenera de uso público en España*. [en línia]. [Consultat: 10 juny 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.iberdrola.es/blog/sostenibilidad/asi-funciona-hidrogenera-zona-franca-b arcelona>>

Iberdrola. (2022). *Breve (y eterna) historia del Hidrógeno*. [en línia]. Iberdrola España. [Consultat: 14 agost 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.iberdrola.es/blog/sostenibilidad/historia-hidrogeno-verde>>

Iberdrola. (s.d.). *El hidrógeno verde: una alternativa para reducir las emisiones y cuidar nuestro planeta*. [en línia]. [Consultat: 25 juny 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/hidrogeno-verde>>

Ibero Mex. (s.d.). *Reacciones redox*. [en línia]. [Consultat: 5 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://ibero.mx/campus/publicaciones/quimanal/pdf/7reaccionesredox.pdf>>

ICAEN. (s.d) *El hidrógeno*. [en línia]. Instituto Catalán De Energía. [Consultat: 14 agost 2024]. Disponible a Internet: <<https://icaen.gencat.cat/es/energia/renovables/lhidrogen/index.html>>

Idea Green. (s.d.). *¿Qué es la electrólisis?*. [en línia]. [Consultat: 5 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://ideagreen.es/hidrogeno-verde/que-es-la-electrolisis/>>

INDOX. (s.d). *BIENVENIDO A INDOX Energy Systems*. [en línia]. INDOX Energy Systems. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.indox.com/>>

Jiménez, S. (2019). *El origen de los primeros elementos químicos*. [en línia]. Instituto de Productos Naturales y Agrobiología. [Consultat: 22 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.ipna.csic.es/blog/el-origen-de-los-primeros-elementos-quimicos>>

John Kilner. (2022.) *Métodos de producción de hidrógeno y sus colores*. [en línia]. CIC Energigune. [Consultat: 14 juny 2024]. Disponible a Internet: <<https://cicenergigune.com/es/blog/metodos-produccion-hidrogeno-colores>>

Junta de Castilla Y León. (s.d.). *Cómo obtener hidrógeno*. [en línia]. Energía Y Minería. [Consultat: 14 juny 2024]. Disponible a Internet: <<https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/como-obtener-hidrogeno.html>>

KIA. (s.d.). *Kia XCeed*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.kia.com/es/modelos/xceed/descubrelo/>>

La Sexta. (2024). *¿Cuántos kilómetros realiza cada vehículo en un año de media en España?* [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <https://www.lasexta.com/motor/noticias/cuantos-kilometros-realiza-cada-vehiculo-a-no-media-espana_2024011665a5231167d53e0001edce6c.html>

López de Benito, J. (2021). *Fotoelectrocatalisis, la nueva tecnología para producir hidrógeno verde desarrollada por mujeres españolas*. [en línia]. Hidrogen Verd. [Consultat: 5 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://hidrogeno-verde.es/fotoelectrocatalisis-tecnologia-para-producir-hidrogeno-verde/amp/>>

Lower, S. (s.d.). *Celdas electrolíticas y electrólisis*. [en línia]. LibreTexts. [Consultat: 5 setembre 2024]. Disponible a Internet: <[https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica_General/Libro%3A_Chem_1_\(Inferior\)/16%3A_Electroqu%C3%ADmica/16.10%3A_Celdas_electrol%C3%ADticas_y_electr%C3%B3lisis](https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica_General/Libro%3A_Chem_1_(Inferior)/16%3A_Electroqu%C3%ADmica/16.10%3A_Celdas_electrol%C3%ADticas_y_electr%C3%B3lisis)>

Malango, T; Aríztegui, J; Deryugina, M. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. (2021). *Energía de hidrógeno: el comienzo de un largo viaje*. [en línia]. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. [Consultat: 6 setembre 2024]. Disponible en: <<https://www.mintur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/424/MALANGO,%20ARI%CC%81ZTEGUI%20Y%20DERYUGINA.pdf>>

Metròpolis Oberta. (2023). *Barcelona destina 17 millones de euros a renovar la flota de vehículos de la Guardia Urbana*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <<https://metropoliabierta.elespanol.com/informacion-municipal/20230216/barcelona->

[destina-millones-de-euros-renovar-la-flota-vehiculos-guardia-urbana/741925946_0.html](#)>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *Hoja de ruta del hidrógeno: Una apuesta por el hidrógeno renovable*. [en línia]. [Consultat: 13 abril 2024]. Disponible a Internet: <https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/ministerio/planes-estrategias/hidrogeno/hojarutahidrogenorenovable_tcm30-525000.PDF>

MMM Group. (2022). *Acostant el futur, impulsant el present*. [en línia]. Manufactura Moderna de Metales. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <<https://mmm.es/ca/home/>>

Mwcog.org. (s/d). *The history of Hydrogen*. [en línia]. MWCOG.org. [Consultat: 22 juny 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.mwcog.org/file.aspx?&A=zkp0NhzZDWLPqP7LLLYTPZMIgXuq1QGhT8%2BMkINPbo%3D>>

Nabalia Energía Viva. (2021). *Hidrógeno como fuente de energía: ventajas y desventajas*. [en línia]. [Consultat: 10 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://nabaliaenergia.com/blog/hidrogeno-como-fuente-de-energia/>>

National Center for Biotechnology Information (2024). *PubChem Element Summary for AtomicNumber 1, Hydrogen*. [en línia]. [Consultat: 20 juny 2024]. Disponible a Internet: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/element/Hydrogen.>>

National Geographic. (2023). *El hidrógeno podría ser una mala alternativa a corto plazo para los combustibles fósiles*. [en línia]. [Consultat: 24 agost 2024]. Disponible a Internet: <https://www.nationalgeographic.com.es/dia-del-medio-ambiente/hidrogeno-podria-ser-mala-alternativa-corto-plazo-para-combustibles-fosiles_19679>

NationalGrid. (2023). *The hydrogen colour spectrum*. [en línia]. National Grid Group. [Consultat: 8 abril 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/hydrogen-colour-spectrum>>

Nuevo, D. (2024). *Airbus a la cabeza de los aviones de hidrógeno sin emisiones*. [en línia]. Es Hidrógeno. [Consultat: 14 octubre 2024]. Disponible a Internet: <<https://eshidrogeno.com/avion-hidrogeno/>>

Palacín, José T. (2021). *La energía solar que produce hidrógeno renovable*. [en línia]. Innovaspain. [Consultat: 5 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.innovaspain.com/repsol-enagas-fotoelectrocatalisis-hidrogeno-renovable/>>

Palacios, M. P. (2020). *Procesos de obtención de hidrógeno y sus posibilidades presentes y futuras*. [en línia]. [Consultat: 10 febrer 2024]. Disponible a Internet: <<https://es.linkedin.com/pulse/procesos-de-obtenci%C3%B3n-hidr%C3%B3geno-y-sus-posibilidades-manuel>>

Plaza, D. (2023). *Almacenar hidrógeno en discos sólidos, un invento que promete revolucionar la energía y ya se comercializa*. [en línia]. Foro Coches Eléctricos. [Consultat: 11 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://forococheselectricos.com/2023/05/almacenar-hidrogeno-discos-solidos-invento-revolucionar-energia.html#:~:text=La%20clave%20para%20almacenar%20hidr%C3%B3geno,durante%20la%20liberaci%C3%B3n%20del%20hidr%C3%B3geno.>>>

Pratt, G. (2022). *Electrólisis de hidrógeno*. [en línia]. Crowcon. [Consultat: 4 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.crowcon.com/es/blog/hydrogen-electrolysis/>>

Repsol Fundación. (2022). *Hidrógeno renovable como vector energético*. [en línia]. REPSOL. [Consultat: 11 juny 2024]. Disponible a Internet: <<https://openroom.fundacionrepsol.com/es/contenidos/hidrogeno-renovable-vector-energetico/>>

Repsol. (2021). *¿Qué componentes tiene un coche de hidrógeno?*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.toyota.es/world-of-toyota/articles-news-events/componentes-coche-hidrogeno-toyota>>

Repsol. (2023). *Buscando el combustible de baja huella de carbono*. [en línia]. [Consultat: 6 maig 2024]. Disponible a Internet:

<<https://www.repsol.com/es/energia-futuro/movilidad-sostenible/hidrogeno-como-combustible/index.cshtml>>

Repsol. (2023). *Hidrógeno como combustible al alcance de todos*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/hidrogena/index.cshtml>>

Repsol. (s.d). *Coches de hidrógeno: ¿qué son y cómo funcionan estos vehículos?*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/coche-hidrogeno-que-es-como-funciona/>>

Revista Ambienta. (2018). *La transición energética*. [en línia]. [Consultat: 22 setembre 2024]. Disponible a Internet: <https://www.revistaambienta.es/content/dam/revistaambienta/files-1/Revista-Ambienta/AMBIENTA/125/pdf_AM_PDF_AM_Ambienta_2018_125_completa_2.pdf>

Rico, D. S. (2019). *Producción de Hidrógeno*. [en línia]. ARIEMA. [Consultat: 14 febrer 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.ariema.com/produccion-de-h2>>

Roca, R. (2024). *El primer barco de hidrógeno del mundo impulsado por tecnología de pila de combustible de placa de circuito impreso ya es una realidad*. [en línia]. El Periódico de la Energía. [Consultat: 10 juny 2024]. Disponible a Internet: <<https://elperiodicodelaenergia.com/el-primer-barco-de-hidrogeno-del-mundo-impulsado-por-tecnologia-de-pila-de-combustible-de-placa-de-circuito-impreso-ya-es-una-realidad/>>

Rodríguez, H. (2024). *Propiedades del hidrógeno (H)*. [en línia]. National Geographic España. [Consultat: 19 abril 2024]. Disponible a Internet: <https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/propiedades-hidrogeno-h_18653>

Ruiz, Á. (2024). *Madrid quería autobuses de hidrógeno pero no tenía cómo repostarlos. Ha montado una hidrogena gigante de 11 millones de euros*. [en línia]. Motorpasión. [Consultat: 10 juny 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.motorpasion.com/futuro-movimiento/madrid-queria-autobuses-hidrogeno-no-tenia-como-repostarlos-ha-montado-hidrogena-gigante-11-millones-euros>>

Sand, M., Skeie, R.B., Sandstad, M. et al. *A multi-model assessment of the Global Warming Potential of hydrogen*. *Commun Earth Environ* 4, 203 (2023). <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00857-8>

Science Bits. [@SciencebitsSocial]. (2014). *Video experimento: Electrólisis del agua*. [Arxiu de Vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=d9YiX5dY86Y>.

Synerhy Hydrogen Experts. (2022). *Métodos de almacenamiento del hidrógeno*. [en línia]. [Consultat: 11 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://synerhy.com/2022/02/metodos-de-almacenamiento-del-hidrogeno/>>

TCenergía. (s.d.). *¿Por qué es tan importante la transición energética?*. [en línia]. [Consultat: 27 maig 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.tcenergia.com/acerca-de-tc-energia/explorando-la-energia/por-que-es-tan-importante-la-transicion-energetica/>>

Tecpa. (2023). *El almacenamiento de hidrógeno*. [en línia]. [Consultat: 11 setembre 2024]. Disponible a Internet: <[Tendencias Tecnológicas. \[@TendenciasTecnológicas\]. \(2022\). *Revolucionario método para producir hidrógeno verde*. \[Arxiu de Vídeo\]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=BlyJIRzEPTw>.](https://www.tecpa.es/almacenamiento-hidrogeno/#:~:text=El%20hidr%C3%B3geno%20%ADquido%20se%20almacena%20en%20tanques%20criog%C3%A9nicos%20especialmente%20dise%C3%B1ados,la%20p%C3%A9rdida%20de%20energ%C3%ADa%20t%C3%A9rmica.>></p></div><div data-bbox=)

TMB (Transports Metropolitans de Barcelona). (2024). *Memoria de Sostenibilidad 2023*. [en línia]. [Consultat: 13 abril 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.tmb.cat/documents/20182/111197/Memoria+de+sostenibilitat+2023+ES.pdf/7f5c2221-4f07-45df-b1d7-523eda36b2ff?t=1714480459923>>

TMB. (2024). *Pla Estratègic TMB 2025*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.tmb.cat/ca/coneix-tmb/informacio-corporativa/pla-estrategic>>

Toyota España. [@toyotaesp]. (2021). *¿Cómo funciona la pila de combustible de hidrógeno?* | *Toyota Mirai 2022*. [Arxiu de Vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=4ljF2mbp8QM>.

Toyota Prensa. (2024). *Toyota España lanza la gama 2024 del Toyota Mirai: el coche que funciona con hidrógeno*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <https://prensa.toyota.es/toyota-espana-lanza-la-gama-2024-del-toyota-mirai/>

Toyota. (s.d.). *¿Qué es el hidrógeno?*. [en línia]. Toyota España. [Consultat: 22 juny 2024]. Disponible a Internet: <https://www.toyota.es/electrificacion/hidrogeno/que-es-el-hidrogeno>

Toyota. (s.d.). *¿Por qué el hidrógeno?*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <https://www.toyota.es/electrificacion/hidrogeno/por-que-hidrogeno>

Toyota. (s.d.). *¿Por qué un coche de hidrógeno?*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <https://www.toyota.es/electrificacion/hidrogeno>

Toyota. (s.d.). *¿Qué componentes tiene un coche de hidrógeno?*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <https://www.toyotakurumamadrid.com/toyota-mirai/>

Toyota. (s.d.). *Manual oficial Toyota Mirai*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <https://www.toyota.es/service-and-accessories/my-toyota/manuales/mirai>

Toyota. (s.d.). *Mirai Vision*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <https://www.toyota.es/coches/mirai/caracteristicas.Mirai.8y7.5fc07330-5ff7-48f4-8ba9-91ef80782cfe>

Toyota. (s.d.). *Mirai*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet: <https://www.toyota.es/coches/mirai>

Toyota. (s.d.). *Toyota abre su primera hidrogenera*. [en línia]. [Consultat: 12 octubre 2024]. Disponible a Internet:

<<https://www.toyota.es/electrificacion/hidrogeno/toyota-abre-primera-hidrogena-es-pana>>

TresCantos. (2023). *Almacenamiento de Hidrógeno*. [en línia]. ARIEMA. [Consultat: 14 febrer 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.ariema.com/almacenamiento-de-h2>>

TüvSud. (s.d.). *Almacenamiento y distribución del hidrógeno de forma segura*. [en línia]. TÜV SÜD Iberia S.A.U. [Consultat: 12 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.tuvsud.com/es-es/temas/hidrogeno/cadena-valor-hidrogeno/almacenaje-y-distribucion-hidrogeno>>

U.S. Energy Information Administration (EIA). (2023). *Hydrogen explained*. [en línia]. [Consultat: 10 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.eia.gov/energyexplained/hydrogen/>>

Universidad de Sevilla. (2009). *Aprovechamiento de recursos energéticos renovables no integrables en la red eléctrica. El caso de la producción de Hidrógeno*. [en línia]. [Consultat: 8 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/30127/fichero/Cap%C3%ADtulo+2+-+Producci%C3%B3n+de+Hidr%C3%B3geno.pdf>>

Universidad de Sevilla. (s.d.). *Energética del hidrógeno. Contexto, Estado Actual y Perspectivas de Futuro*. [en línia]. [Consultat: 11 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/3823/fichero/3.2+Almacenamiento+d+el+Hidr%C3%B3geno.pdf>>

Universidad Nacional de La Plata. (2016). *Métodos amigables de producción de hidrógeno como fuente de energía limpia*. [en línia]. SEDICI. [Consultat: 3 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/77368>>

Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). (2023). *La UPC instala un laboratorio y una planta piloto de producción de hidrógeno en el Campus Diagonal-Besòs*. [en línia]. [Consultat: 11 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.upc.edu/es/sala-de-prensa/noticias/la-upc-instala-un-laboratorio-y-una-planta-piloto-de-produccion-de-hidrogeno-en-el-campus-diagonal-besos>>

Valle, D. (2021). *Los riesgos del hidrógeno*. [en línia]. El Periódico de la Energía. [Consultat: 3 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://elperiodicodelaenergia.com/los-riesgos-del-hidrogeno/>>

Van Renssen, S. *The hydrogen solution?*. Nat. Clim. Chang. 10, 799–801 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0891-0>

Vilela, A. (2023). *Alemania apuesta por una red de tuberías de hidrógeno de 20.000 millones de euros*. [en línia]. H2 Business News; Latam Green. [Consultat: 8 abril 2024]. Disponible a Internet: <<https://h2businessnews.com/alemania-apuesta-por-una-red-de-tuberias-de-hidrogeno-de-20-000-millones-de-euros/>>

World Health Organization: WHO. (2022). *Contaminación del aire ambiente (exterior)*. [en línia]. [Consultat: 22 setembre 2024]. Disponible a Internet: <[https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)>

World Wildlife Fund. (2023). *¿Qué es el hidrógeno verde y cómo puede ayudar a abordar la crisis climática?*. [en línia]. [Consultat: 10 setembre 2024]. Disponible a Internet: <<https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/que-es-el-hidrogeno-verde-y-como-puede-ayudar-a-abordar-la-crisis-climatica#:~:text=Y%20aunque%20la%20producci%C3%B3n%20de,nocivos%20llamados%20%C3%B3xidos%20de%20nitr%C3%B3geno.>>>

20. ANNEXOS

- ***Annex 1: Experiment pila de combustible.***

Llista de materials utilitzats.

- Recipient de plàstic: Per contenir l'aigua i els elèctrodes.
- Aigua.
- Bicarbonat de sodi: Ajuda a augmentar la conductivitat de l'aigua, facilitant el pas del corrent elèctric.
- 2 xinxetes: Actuen com a elèctrodes per al procés d'electròlisi.
- Cables de coure: Per connectar els elèctrodes amb la pila.
- Pila de 9V: Font d'energia que proporcionarà el corrent elèctric necessari.
- 2 tubs d'assaig: Per recollir els gasos generats durant l'electròlisi.



Figura 5. Material utilitzat per l'experiment. – Font pròpia.

Passos detallats del procés de construcció i experimentació.

Preparació del recipient:

1. Dissoldre en el vas de precipitats 3 cullerades de bicarbonat de sodi en 75 ml d'aigua.
2. Omplir dos tubs d'assaig amb la dissolució preparada fins arribar gairebé al seu límit.²⁰

²⁰ Nota: Això assegurarà que els gasos generats durant l'electròlisi quedin atrapats i no es barregin amb l'aire exterior.

3. Omplir el recipient de plàstic amb una nova solució, duplicant les quantitats de la dissolució anterior. Dissolvem 6 cullerades de bicarbonat de sodi en 150 ml d'aigua.
4. Omplir el recipient de plàstic amb la nova dissolució preparada, assegurant-nos que quedi suficient espai per als tubs d'assaig que s'han de col·locar més tard.

Col·locació dels elèctrodes:

1. Connectar un cable de coure a cada xinxeta.
2. Assegurar-se que les connexions siguin fermes perquè el corrent pugui fluir sense interrupcions.
3. Fer dos forats a la part inferior del recipient amb una certa distància.
4. Col·locar les xinxetes dins l'aigua, assegurant-se que no es toquin entre elles.
5. Tenir en compte que si els elèctrodes es toquen, pot provocar un curtcircuit que impedirà l'experiment.

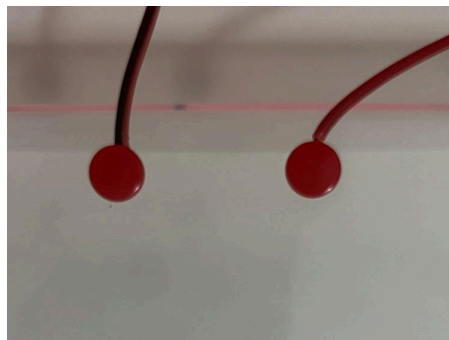


Figura 6. Xinxets actuant com elèctrodes abans de posar aigua. – Font pròpia.

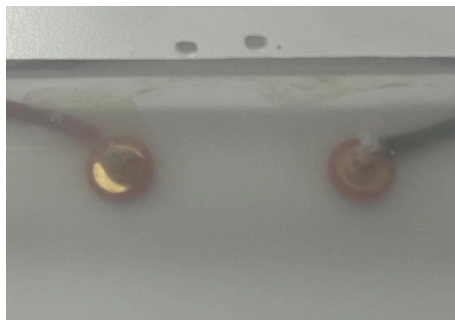


Figura 7. Xinxets actuant com elèctrodes després de posar aigua. – Font pròpia.

Connexió de la pila:

1. Connectar un cable a cada terminal de la pila de 9V.
2. Tenir cura de connectar el cable positiu al terminal positiu i el cable negatiu al terminal negatiu.
3. Fixar els altres extrems dels cables als elèctrodes (xinxetes) dins l'aigua.
4. Assegurar-se que les connexions siguin ben ajustades perquè el corrent flueixi de manera eficient.

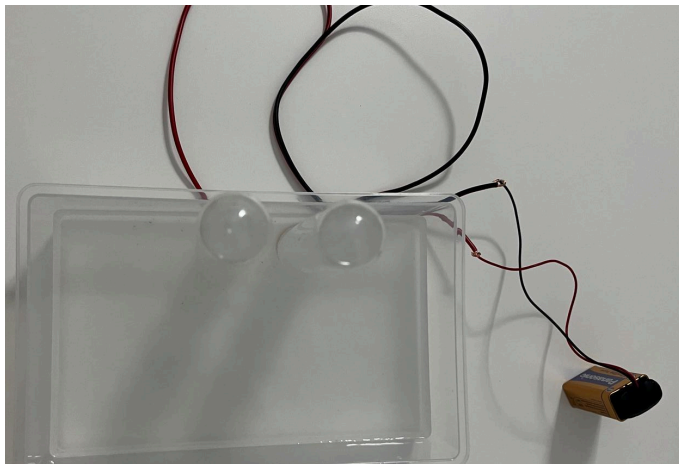


Figura 8. Resultat circuit montat. – Font pròpia.

Inici del procés:

1. Ficar els dos tubs d'assaig amb la dissolució sobre dels elèctrodes.
2. Encendre la pila.
3. Observar que el corrent elèctric comença a circular a través de l'aigua.
4. Esperar uns moments fins que s'iniciï el procés d'electròlisi.
5. Observar descomposició de l'aigua en hidrogen i oxigen.

Resultats.

Durant l'experiment d'electròlisi, he pogut observar diversos fenòmens i recollir dades que corroboren la teoria sobre la descomposició de l'aigua. A continuació, presento les conclusions generals sobre el procés, seguides de les dades que he recollit durant l'experiment.

- *Proporció de gasos generats*

Un dels resultats més significatius que he observat és la proporció de gasos generats durant l'electròlisi. La reacció química que té lloc pot expressar-se de la següent manera:



Aquesta equació mostra que, per cada dues molècules d'aigua, es generen dues molècules d'hidrogen (H_2) i una molècula d'oxigen (O_2), establint així una proporció de 2:1 entre el gas hidrogen i l'oxigen. Aquest mateix patró ha estat verificat en el meu experiment, on s'ha pogut observar clarament aquesta proporció entre els dos gasos, validant els resultats teòrics amb l'experiència pràctica.

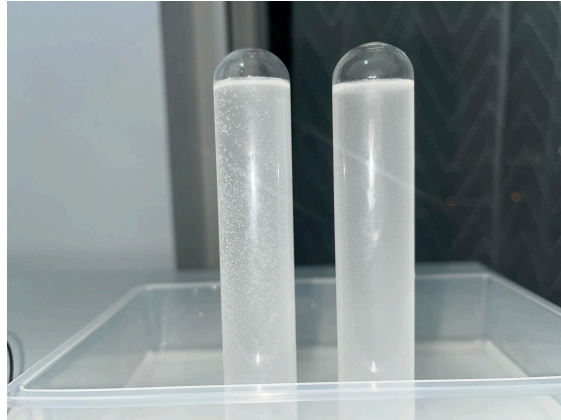


Figura 9. Procés de l'electròlisi en el qual es pot observar com va obtenint la proporció 2:1. – Font pròpia.

- *Posició dels elèctrodes*

S'ha observat que les bombolles de gas es formen de manera diferenciada al voltant dels elèctrodes. En concret, al càtode (elèctrode negatiu), on es produeix l'hidrogen, s'ha detectat una formació de bombolles més abundant i constant. Aquest fenomen es deu al fet que l'hidrogen es genera en major quantitat en aquest punt. A l'ànode (elèctrode positiu), la generació d'oxigen és menys visible, i les bombolles que es formen són menys freqüents i de menor intensitat. Aquest comportament és consistent amb la teoria de l'electròlisi, que estableix que l'hidrogen es produeix en major quantitat que l'oxigen, seguint una proporció de 2:1, tal com s'ha observat experimentalment.



Figura 10. Tub amb oxigen: mostrar bombolles més grans, però menys nombroses. El volum de gas és menor que en el tub d'hidrogen. – Font pròpia.

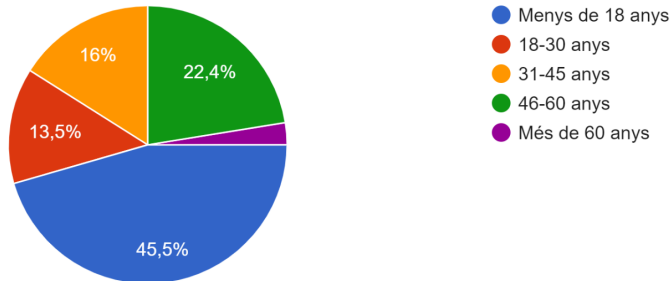


Figura 11. A l'esquerra, el tub conté oxigen amb poques bombolles, mentre que a la dreta, el tub recull hidrogen amb una gran quantitat de bombolles. – Font pròpia.

• **Annex 2: Preguntes i respostes de l'enquesta.**

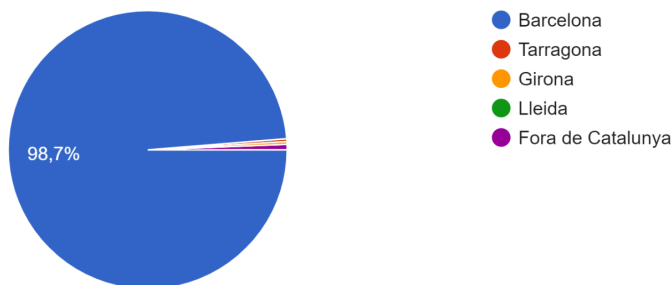
Quina és la teva edat?

312 respostes



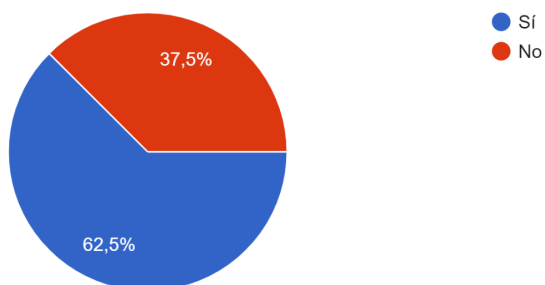
Província de residència:

312 respostes



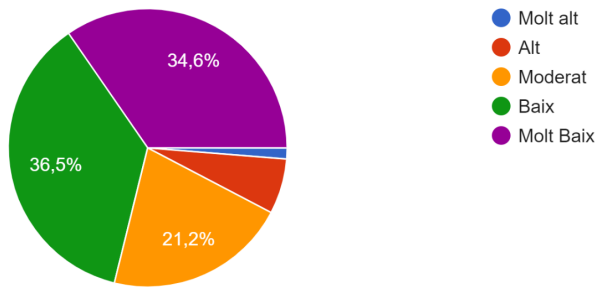
Has sentit parlar de l'energia d'hidrogen com a font d'energia?

312 respostes



Com valores el teu coneixement sobre l'hidrogen com a vector energètic?

312 respostes



- **Annex 3: Entrevista de Xavier Torres (MMM Group).**

- MMM Group té una llarga trajectòria en la indústria. Què va motivar l'empresa a apostar per l'hidrogen com a font d'energia? Com ha evolucionat la vostra estratègia en aquest àmbit en els darrers anys?

“Principalment, el fet d'apostar per una economia de l'hidrogen va ser un fet secundari d'una cerca de la diversificació del nostre negoci, a part de la diversificació dintre del sector de l'automoció cap a altres tecnologies i altres aplicacions que amb les que vàrem començar, vàrem començar a plantejar com podríem diversificar la companyia cap a altres sectors fora de l'automoció, a causa del fet que veiem la dificultat existent en el sector automoció i les exigències normatives que acabaríem afecten un producte com els nostres.

Vàrem trobar en un seminari web una petita empresa que tenia una solució interessant per generar hidrogen a demanda i a partir d'aquí vàrem començar a analitzar i investigar i vàrem trobar totes les sinergies existents entre el que feia la tradicional MMM i el que volíem fer i en el 2022 es va crear la divisió de l'energia on busquem projectes en TRL's²¹ baixos relacionats no només en l'economia de l'hidrogen sinó en temes complementaris relacionats amb sistema per descarbonitzar la societat.”

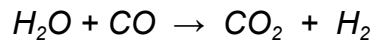
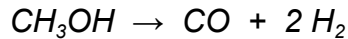
- La vostra tecnologia de generadors de metanol a hidrogen és innovadora. Com funciona exactament aquesta tecnologia? Quins avantatges ofereix en termes de producció d'hidrogen i reducció d'emissions de CO₂?

“La tecnologia de generador d'hidrogen (reformador de metanol) el que fa és partint d'una mescla d'aigua DI²² i de metanol renovable dintre del sistema es vaporitza i es fa passar per un reactor amb un catalitzador que reacciona i trenca les molècules tant de l'aigua com del metanol, obtenint-se Hidrogen i altres derivats que es tracten en un procés posterior:

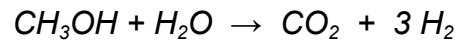
²¹ TRL: (Technology Readiness Level) és una escala que mesura la maduresa d'una tecnologia, i "TRL's baixos" es refereix a tecnologies en etapes inicials que necessiten més investigació i proves abans de la seva implementació comercial.

²² Aigua DI: Aigua desionitzada, que ha estat tractada per eliminar ions i minerals, garantint així reaccions químiques eficients sense contaminants.

- *Reaccions principals:*



- *Reacció global:*



Posteriorment, es fa passar per un sistema patentant de purificació que és el fa que s'obtingui un Hidrogen amb una puresa de 99,997%.

Com a avantatges els principals són:

- 1- *Metanol és líquid a temperatura ambient, per tant, es pot utilitzar totes les infraestructures actuals per emmagatzemar-lo, distribuir-lo i subministrar-lo sense haver de fer cap inversió extraordinària.*
- 2- *L'Hidrogen necessari es genera en el moment de la seva necessitat, en conseqüència, no es perd ni 1/3 de la seva energia per la necessitat de comprimir-lo a 200 bars per poder-lo transportar, ni tenim pèrdues relatives al transport com en el cas de l'hidrogen comprimit (10%) ni necessitem instal·lacions especials per emmagatzemar l'hidrogen a pressions elevades > 200 bars.*
- 3- *Pel que fa a eficiència el nostre generador d'Hidrogen té una eficiència del 84%.*
- 4- *No produeix en la seva combustió ni NO_x, SO_x, ni PM^{2.5} i generar un 28% menys de CO₂ que solucions similars, per tant, podem dir que la solució és low carbon.*

²³ NO_x: Òxids de nitrogen, que són contaminants que contribueixen a la formació d'ozó a nivell del terra i a la pluja àcida.

SO_x: Òxids de sofre, que també poden causar pluja àcida i altres problemes ambientals.

PM: Partícules en suspensió, que poden afectar la qualitat de l'aire i la salut humana.

5- *Si el Metanol és renovable no només reduïm les emissions en un 28% a escala local si no globalment contribuïm a la descarbonització per tindre reducció sobre la base de generació del metanol.”*

- Els generadors de metanol a hidrogen que esteu desenvolupant tenen aplicacions tant en el transport com en la producció d'energia. Quins sectors creus que se'n beneficiaran més a curt termini? És possible que aquesta tecnologia pugui desbancar altres formes d'energia renovable en algunes aplicacions?

“Començo per la segona pregunta, no, aquesta tecnologia no pot desbancar altres formes d'energia renovable, sempre pot ser un complement, però mai una substitució per una energia renovable és el més eficient que existeix, però té la limitació de què per molta energia renovable que generem no tenim com emmagatzemar-la, per tant, s'ha de fer unes inversions amb seny i considerant les necessitats i com utilitzar aquesta energia, cosa que no està passant actualment a més és important entendre que el metanol renovable és una molt bona solució, al final no hem d'oblidar que l'Hidrogen és un vector energètic com pot ser el Metanol o l'amoníac.

A escala de sectors que es podran beneficiar, si bé és cert que tenim diferents verticals identificats, però aquells verticals més importants i on podrem desenvolupar més ràpidament les aplicacions, serien:

- *Mineria: La nostra solució aporta electricitat sense necessitat de disposar d'un punt de connexió a la xarxa elèctrica, els nostres sistemes poden carregar les seves màquines, per tant, és una solució que dona una solució a un dels challenges més important que tenen, la primera entrega es farà a finals del 2024 per al client més important de la Minería.*
- *Indústria: La indústria és intensiva en la utilització d'hidrogen pels seus forns, com a resultat, és una molt bona oportunitat a les indústries per aportar una*

solució econòmicament molt més viable que el preu que s'està pagant actualment per l'hidrogen amb una alt ROI²⁴ de la inversió.

- *Port: En l'àmbit portuari encara que estan en fase de transformació cap a l'electrificació, es necessita temps i una elevada inversió per poder electrificar un alt percentatge del port tant a escala de maquinària del port com per assegurar punt de subministrament als vaixells per eliminar la contaminació pels motors de combustió per mantenir cobrir els mínims requisits energètics al port, per nosaltres és una gran oportunitat per quant la nostra solució no només aporta l'electrificació que necessiten, sinó que ja tenen part de les inversions realitzades i en ser el nostre sistema mòbil el poden utilitzar en funció de les necessitats sense haver de tindre punts fixos de subministrament d'energia.*
- *Electrificació de zones aïllades: Si bé no és per si mateix un vertical que explorem sí que hi ha molt interès i creiem que és una solució versàtil per poder abastir d'energia elèctrica les zones deficitàries en xarxa elèctrica o amb una xarxa elèctrica deficient, mentre se'n van estenent les noves línies elèctriques, una vegada s'ha millorat el nostre sistema es pot reubicar en una altra zona i torna a donar servei mentre es fan les noves inversions, aquest tipus de projecte està posant-se en marxa en Àsia.”*

- L'ús de metanol per produir hidrogen sembla una opció interessant. Com veieu el futur d'aquest tipus de solucions en comparació amb l'electròlisi directa de l'aigua o altres mètodes? Creus que el metanol serà una font clau en el procés de descarbonització?

“Si comparem tecnologies com és l'electròlisi directa de l'aigua o altres mètodes amb la nostra solució cal dir, que al final el que estem valorant en cadascuna de les diverses solucions és quin és el millor vector energètic, l'electròlisi al seu torn no és més que agafar una energia solar i transformar-la en una energia química a través d'un vector que és l'hidrogen, però s'ha de tindre en compte que la tecnologia dels

²⁴ ROI: "Return on Investment". Mesura que s'utilitza per avaluar la rendibilitat d'una inversió, calculant el guany obtingut en relació a la quantitat invertida. Un ROI més alt indica una inversió més rendible.

electrolitzadors no està prou madura, són intensius en energia i en aigua, és per 1/3 de l'energia utilitzada per generar H₂ només en la compressió, etc.

Per tant, des del nostre punt de vista, el metanol és una solució igualment vàlida que l'amoníac, que l'electrolitzador, la diferència significa radica en el fet que és el que volem com a societat, per tant, el que sí que veiem és que totes aquestes tecnologies són tecnologies madures que ja es poden implementar i que, en conseqüència, ja són una realitat per contribuir a la descarbonització de manera immediata i no amb grans plans a 5-10 anys que no es portaran mai a terme, com a resultat, si serà una font clau com d'altres per contribuir a la descarbonització i més quan tenim projecte en fase de desenvolupar per anar reduint progressivament les emissions locals de CO₂.”

- Quins reptes us heu trobat en el desenvolupament i comercialització dels generadors de metanol a hidrogen? Quins són els obstacles més grans a superar per fer que aquestes tecnologies siguin viables a gran escala?

“Hi ha hagut molt reptes respecte als generadors d'hidrogen, però el més important són els desconeixements d'una tecnologia madura, estable i amb un gran recorregut, és a dir com a Societat ens hem enfocat en la Descarbonització entenent que el CO₂ és el culpable i que, per tant, tota tecnologia "Neta" ha de ser la que no tingui Carbonis i és un gran error, perquè la realitat és que no es complirà cap dels objectius de descarbonització deguda justament a què legislar sense valorar el com s'ha de fer, és a dir per descarbonitzar la nostra societat és cert que necessitem tecnologies que no generin CO₂, però aquest no és l'únic element generador dels problemes actuals i el que s'ha de fer és valorar com anem reduint progressivament els nivells de contaminació, per tant, l'ús del metanol és una molt bona solució, elimina els productes sensibilitzant per a la societat, tenim una reducció del CO₂ i ja estem contribuint positivament a la descarbonització i a més desenvolupament de la tecnologia a gran escala, més facilitat per poder desenvolupar solucions sia anar reduint inclús les emissions locals, per tant, si volem contribuir realment a la descarbonització hem d'obrir els ulls i buscar solucions que ja existeixen, provades i madures mentre es van desenvolupant les noves solucions.

“Els obstacles principals per una viabilitat a una gran escala és la disponibilitat de metanol renovable, hi ha molt plans d'Inversions per tenir disponibles plantes de generació de E-Metanol i Green Metanol, però ara per ara hi ha certa limitació, si hi ha metanol d'altres procedències no considerades verdes, per tant, no s'hauria de tenir en compte, però amb un pla d'inversions ben dissenyat on diverses tecnologies conflueixin tindríem realment un menor nivell d'inversions en grans instal·lacions i tindríem un desenvolupament de país i de terreny molt més ràpid per la combinació de diferents tecnologies.”

- Un dels grans reptes per a l'hidrogen és l'emmagatzematge i el transport. Com aborda MMM Group aquests problemes? La vostra tecnologia ofereix una solució diferent d'aquest repte?

“Per nosaltres l'ús del metanol aporta grans beneficis respecte a l'emmagatzematge, al transport i al subministrament.

El metanol és un líquid a temperatura ambient, per tal com a líquid es pot transportar sense que hi hagi mesures de seguretat o inversions a realitzar fora de les que ja s'utilitzen en el transport d'altres fuels, per tant, bondats:

- 1- Líquid a temperatura ambient que utilitza els camions, els tancs, les bombes, el piping²⁵ que actualment està instal·lat per altres fuels.*
- 2- No necessita energia extraordinària per la seva compressió per maximitzar la quantitat d'hidrogen a transportar per unitat de transport, per tant, no tenim una pèrdua energètica de l'1/3.*
- 3- Un camió de Metanol equival a 12 Camions d'Hidrogen a 200 bars, per tant, per cada camió de metanol estem reduint 15T de CO₂ (equivalent als 11 camions). A part de les pèrdues existents.*
- 4- Al punt de consum no necessita tenir instal·lacions com les de l'hidrogen que necessiten energia per mantenir l'hidrogen a 200 bars de pressió.”*

²⁵ Piping: Sistema de tubs que s'utilitza per transportar líquids o gasos, i en aquest cas es refereix a les canonades que poden fer servir els camions i tancs per transportar combustibles.

- Heu signat acords estratègics amb altres empreses? Quina és la importància d'aquestes col·laboracions per accelerar el desenvolupament de la tecnologia d'hidrogen?

“Sí que s'han signat acords amb empreses de referència tant a nivell de distribució i comercialització com pel que fa a desenvolupar o adaptar parts de la cadena de valor de la nostra tecnologia.

‘Les col·laboracions en el sector energètic són crucials, els grans problemes actuals d'aquest sector és intentar controlar tota la cadena de valor de les diverses tecnologies o inclús no compartir part de la solució i dels challengers²⁶ de la companyia per falta de tenir una ment oberta.

Únicament amb col·laboracions serem capaços de tenir solucions fiables i estables en el desenvolupament de qualsevol tecnologia com pot ser la tecnologia de l'hidrogen.”

- Veus el transport marítim i l'aviació com sectors on la vostra tecnologia podria tenir un gran impacte? Com s'està treballant en l'adaptació d'aquestes tecnologies per a aquests sectors?

“En el sector marítim com he explicat anteriorment veig que és una solució que ajudarà a la descarbonització del sector marítim a través de sistemes auxiliars que treballaran amb metanol – hidrogen-piles de combustibles, però no com a main source dels vaixells per les necessitats de potència, en aquests casos sembla que s'imposarà uns motors de combinació de dièsel amb metanol amb la peculiaritat que ja hi ha projectes en marxa de captura del CO₂ generat, el qual es comprimirà i posteriorment es descarregarà al port com a subproducte que pot ser de nou revalorat convertint-lo en Metanol renovable.

²⁶ Challengers: Competidors o projectes que poden representar un repte per a l'empresa, destacant la importància de les col·laboracions per afrontar aquests desafiaments al sector energètic.

Quant a l'aviació per la tipologia de necessitats energètiques no veig que sigui un sector atractiu com a tal, sí que és cert que hi haurà sistemes que generaran la nova evolució dels carburants utilitzant e-Kerosen²⁷ però no amb la nostra tecnologia.

Però, en canvi, la nostra tecnologia si pot contribuir a la descarbonització de totes les operacions que es porten a terme en l'àmbit aeroportuari degut a la possibilitat d'electrificar o de subministrar hidrogen per als vehicles de serveis, fingers, vehicles de rènting, camions, etc.”

- Quin és el paper que jugarà l'hidrogen en el futur energètic global segons la teva opinió? Creus que és viable que esdevingui una de les fonts d'energia principals a curt o mitjà termini?

“L'hidrogen pot jugar un paper important en el futur energètic global sí, però no hem d'oblidar que l'hidrogen és un vector energètic no és com a tal una font d'energia sinó una manera d'emmagatzemar energia, per tant, com a vector energètic té cabuda sí, però haurà de ser a mig termini, entre 5-10 anys, fins que no es pugui solucionar el principal problema que és la particularitat de ser una molècula tan petita que és difícil de poder contindre i que ocupa tant d'espai que per maximitzar el seu transport s'ha de líquar o comprimir, per tant, amb aquesta operació hi ha una pèrdua important de l'energia que s'emmagatzema en la mateixa molècula de l'hidrogen, però no amb les noves potencials tecnologies en anàlisis, dubto que es trobarà la forma adequada d'optimitzar el transport i la forma d'emmagatzemar, per altra banda, s'ha de tenir en compte que el paper de l'hidrogen pot quedar relegat si no es troba una solució més eficient per transportar-lo i emmagatzemar-lo sense que es perdi l'energia utilitzada per la seva generació, a més que sense una solució sòlida les inversions començaran a parar com està passant actualment buscant altres solucions molt més eficients.”

²⁷ E-Kerosene: Tipus de combustible sostenible que es produeix a partir d'energia renovable i CO₂ atmosfèric. En el context de l'aviació, es considera com una alternativa als carburants fòssils tradicionals, ja que pot ajudar a reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle.

- Finalment, quina és la visió de MMM Group per als pròxims 10 anys en termes de desenvolupament tecnològic i expansió en el mercat de l'hidrogen? Quins són els objectius a llarg termini de l'empresa en aquest camp?

“La nostra visió és la de què el desenvolupament tecnològic passarà clarament per trobar una solució senzilla per poder produir hidrogen a demanda en lloc de grans electrolitzadors produint hidrogen i enviant aquest hidrogen per una tubària fins als llocs de consum, així s'evitaria els problemes actuals existents del transport i de l'emmagatzematge.

Els objectius nostres són la de poder tancar completament el cicle de valor del nostre producte poden capturar el CO₂ emès i poder-lo reconvertir i sobretot tenir reformador versàtil per produir Hidrogen sense tenir en compte el combustible a utilitzar, poden donar solucions a qualssevol tipus de combustible existent o futur.”

- **Annex 4: Entrevista de Teresa Navarro, H2 & Solar Business Development Manager (INDOX).**

- Per començar, podries explicar-nos què és l'hidrogen verd i per què és tan important en la transició energètica?

“Bé, l'hidrogen verd és aquell hidrogen que està fabricat sense emissions de CO₂. En general, l'hidrogen verd es produeix mitjançant l'electròlisi de l'aigua, utilitzant electricitat que prové de fonts renovables, com ara solar o eòlica.

En el context de la transició energètica, l'hidrogen verd és fonamental perquè pot substituir combustibles fòssils en diversos sectors, ajudant a reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle i a fer el sistema energètic més sostenible. A més, és un excel·lent emmagatzematge d'energia, la qual cosa el fa molt valuós per equilibrar la demanda i l'oferta en un sistema energètic cada vegada més variable.”

- Indox ha estat pionera a Espanya en l'ús d'hidrogen verd per autoconsum. Com va néixer la idea de crear aquesta planta?

“Primer, vaig a definir l'hidrogen verd com a autoconsum. Tiro una miqueta enrere, perquè si no, a vegades la gent es confon. És a dir, l'hidrogen és una cosa que es fa servir habitualment a la indústria des de fa molts anys. Es fa servir a la indústria de la refinaria, alimentació, minera, entre altres. Aleshores, la diferència és que el 99% de l'hidrogen que es fa servir avui al món és el que anomenem hidrogen gris, és a dir, que està fet a partir de metà; se separa el metà en hidrogen i, a més, emet quantitats de CO₂ a l'atmosfera. Llavors, el que nosaltres a Indox som pioners és l'hidrogen per autoconsum. T'explico, a la nostra planta tenim plaques fotovoltaïques a la nostra teulada; aquestes plaques fotovoltaïques alimenten un electrolitzador, i l'hidrogen que produeix aquest electrolitzador es barreja amb gas natural per al procés d'escalfat de les cabines de pintura, perquè les cisternes es mantenen en calent. Llavors, amb aquest escalfament alcem el gas natural amb un 5% d'hidrogen; per tant, estem descarbonitzant el nostre procés un 5%. Quan nosaltres parlem d'hidrogen per autoconsum pensem en un ús com aquest; nosaltres som una planta relativament petita i una planta pilot per escalfar les cabines de pintura.

També, per exemple, hi ha qui fa el mateix que nosaltres però amb 100% d'hidrogen. Hi ha altres usos com una papelera; doncs una papelera que té unes calderes de vapor podria descarbonitzar part del seu procés també barrejant hidrogen amb gas natural en el cremador de les seves calderes. Quan parlem de barrejar, que és important, és perquè si tu barreges un màxim d'un 5% d'hidrogen amb el gas natural no necessites canviar res més, mentre que si vols anar al 100% d'hidrogen aleshores hauries de canviar cremadors, calderes, i ja la cosa seria molt més complicada perquè depèn de les propietats de l'hidrogen.

Per continuar, també et diré que l'hidrogen d'autoconsum també pot ser per mobilitat. Hi ha molts llocs, sobretot als Estats Units i França, que els carretons, elevadors que fan servir... doncs hi ha molts llocs que el que fan és que aquests carretons solen anar amb bateries elèctriques; doncs en lloc de bateries, les canvien per cel·les de combustible que fan el mateix que una bateria, però ho fan amb hidrogen. Així, fabricant hidrogen amb l'energia fotovoltaica de la teulada, aquest hidrogen el comprimeixen i amb això abasteixen els seus carretons; això també seria autoconsum. En el sector, quan tu estàs parlant d'autoconsum per un ús tèrmic se li diu power-to-gas, perquè el que fas és substituir el gas. I si estàs substituint coses de mobilitat, en aquest cas carretons, però també podries tenir furgonetes d'hidrogen, se li diu power-to-fuel.

Aquesta iniciativa, doncs, bé... Indox és una empresa que fabrica des de fa molts anys cisternes i dipòsits de gasos criogenitzats. Gasos criogenitzats volen dir un gas que tu el refredes i el comprimeixes, de manera que queda líquid i comprimit. Aleshores, som experts en particular en el gas natural líquid; tu veuràs per la carretera moltes cisternes d'Indox que són cilíndriques. Com ja saps, per exemple, hi ha cotxes que van amb gas natural líquid. Doncs nosaltres som experts a transportar aquest gas natural líquid i en dipòsits per guardar-lo. Aleshores, el que vam pensar va ser: ostres, què podem fer per ser més útils? Que sabem fer? Sabem emmagatzemar gasos, doncs, per què no intentem adaptar els nostres productes amb hidrogen? Quan vam començar a pensar què podem fer amb el món de l'hidrogen, perquè és una cosa molt òbvia, que és això, fabricar dipòsits per hidrogen igual que fabriquem dipòsits pel gas natural líquid. I vam pensar en una cosa menys

òbvia que és promoure aquesta mena d'autoconsum, que és menys òbvia, però té un sentit.

Moltes indústries que tenien processos tèrmics, com el que et deia abans, papeleres, forns, coses així funcionaven amb gasoil o amb fuel oil; aleshores, per contaminar menys, es van passar al gas natural. Nosaltres estem als afores de Lleida, en un poble petit... Llavors, quan una empresa té un procés tèrmic i està lluny de tot, es passa del gasoil al gas natural líquid, necessita un dipòsit de gas natural líquid i necessita una cosa que s'anomena planta de regasificació, perquè emmagatzema el gas líquid, però el fa servir en forma de gas. Indox era superfora amb moltíssimes plantes, per tant, quan aquestes empreses van passar del dièsel al gas, els vam instal·lar equips de gas natural líquid perquè poguessin fer el canvi de carburant, i vam pensar: ostres, ha arribat el moment que aquests mateixos clients, als quals vam ajudar a passar-se del dièsel al gas natural líquid, els ajudem a passar del gas a l'hidrogen, i per això vam anar avançant.”

- Quins reptes tècnics i econòmics heu trobat en la implementació d'aquesta tecnologia? I com creus que es poden superar a mesura que més indústries vulguin adoptar l'hidrogen?

“El primer repte, que és alhora tècnic i econòmic, és que els electrolitzadors avui en dia no són una tecnologia molt madura. No hi ha molts electrolitzadors al món; la gent encara no es dedica a fabricar hidrogen verd. Ara comença, però hi ha pocs electrolitzadors. Tot i que la tecnologia és coneguda, no pots anar i comprar un electrolitzador. I si compres, normalment les màquines que ara existeixen prefereixen estar engegades o apagades, però connectar-se a les vies fotovoltaïques és complicat, perquè al matí tens una mica de potència, al migdia en tens menys... aleshores va canviant la potència i la tecnologia no s'adequa. No és eficient i fins i tot hi ha problemes tècnics, perquè cada màquina que compraràs és nova i com que és nova, aprens sobre la marxa. A més, són molt cares. És a dir, si a algú li dius: "Mira, substitueix una part del teu gas per hidrogen, posa plaques fotovoltaïques, posa un electrolitzador, posa dipòsits", i després compares el preu

d'aquest hidrogen amb el preu del gas, és molt més car que el gas. Per tant, hi ha un repte econòmic i tècnic, i el tècnic el tenen sobretot els electrolitzadors.

Els reptes tecnològics són qüestió de temps. Avui en dia, les refineries de petroli, que són les principals consumidores d'hidrogen del món perquè fan servir l'hidrogen abans de fabricar metanol en el seu procés, estan treballant en projectes per substituir l'hidrogen gris que tenen per hidrogen verd. Per tant, el repte tecnològic és qüestió de temps, ja que com més electrolitzadors es fabriquin i s'utilitzin, la tecnologia es posarà a punt i el preu baixarà. Això, per una banda, i després també hi ha el fet que hi ha menys gent que s'animi a fer-ho. Ara, si tu compres un electrolitzador per a una fàbrica per fer autoconsum, ets l'únic que en compra, i si la fàbrica d'electrolitzadors en lloc de vendre 1 en ven 10, sortirà més barat; i si en lloc de vendre 10 en ven 100, serà encara més barat. Tot és qüestió de temps i de la demanda del mercat de l'hidrogen.

Parlant d'hidrogen verd, cal destacar que la seva viabilitat depèn en gran mesura del gas. En els darrers quinze anys, hem estat implantant generació fotovoltaica i eòlica arreu. A mesura que augmenti la producció d'energia fotovoltaica i renovable, el preu de l'hidrogen disminuirà. Això és fonamental, ja que, a més de necessitar electrolitzadors, també requereixen electricitat. Per tant, com més energia renovable tinguem disponible, més assequible serà l'hidrogen.”

- Ens pots parlar del procés de blending, aquesta mescla de gas natural i hidrogen que utilitzeu? Quins avantatges ofereix respecte a l'ús de combustibles tradicionals?

“Barrejar hidrogen amb gas natural és un procés força senzill i eficaç. Nosaltres aprofitem les mateixes canonades que s'utilitzen per al gas natural, la qual cosa facilita la integració d'aquests dos combustibles. Simplement, injectem una mica més de pressió per assegurar-nos que la mescla sigui homogènia i efectiva; és un procés que no té gaire complicació.

Un dels grans avantatges d'aquesta mescla és la descarbonització. En utilitzar hidrogen, reduïm les emissions de CO₂, un dels principals gasos d'efecte hivernacle.

Aquesta estratègia ens permet continuar utilitzant la infraestructura existent mentre fem un pas cap a un sistema energètic més net. A més, el blending ajuda a minimitzar la dependència dels combustibles fòssils, contribuint així a la transició energètica que tant necessitem. Amb aquesta mescla, podem avançar cap a un futur més sostenible sense renunciar completament als recursos que ja tenim, fent la transició més gradual i viable per a les indústries.”

- Quines són les àrees o sectors industrials que podrien beneficiar-se més de la implantació de solucions amb hidrogen?

“Les indústries d'alta temperatura, com la papeleria i la metal·lúrgica, són les que podrien beneficiar-se més de l'ús d'hidrogen verd. En el cas de la metal·lúrgia, aquesta és especialment important perquè necessita hidrogen en diverses etapes del seu procés de producció, com per exemple en la reducció de minerals o en el procés de fabricació d'acer. Així, totes aquelles indústries que operen a temperatures superiors a 600 graus són candidates ideals per integrar l'hidrogen verd en la seva producció. Aquesta incorporació no només permetria millorar l'eficiència dels processos, sinó que també obre la porta a noves oportunitats per a la innovació dins d'aquests sectors.”

- A part de l'hidrogen, a Indox també treballem amb energia solar. Com es complementen aquestes dues tecnologies dins dels vostres projectes de descarbonització?

“Com t'he comentat abans, teníem una sèrie de clients als quals vam ajudar a passar del gasoil al gas natural, i ara els volem ajudar a fer el pas del gas natural a l'hidrogen. Per a una planta que faci aquest consum, és fonamental tenir, evidentment, una instal·lació fotovoltaica. Per això, nosaltres l'hem implantada i és el que estem intentant aconseguir. A més, la tecnologia fotovoltaica és madura i moltes empreses la utilitzen arreu del món.

Aquesta tecnologia ens ajuda a captar els clients que es preocupen pel medi ambient i els interessa la descarbonització. Una vegada el client s'obre amb

nosaltres, ens explica les seves preocupacions, nosaltres els oferim les diferents solucions existents, sent l'hidrogen la principal.”

- En un futur, quins projectes o millores té previst Indox per ampliar l'ús de l'hidrogen verd a altres sectors?

“Actualment, nosaltres estem focalitzats en l'emmagatzematge d'hidrogen. És un element molt lleuger i les seves propietats físiques són una mica complicades. Liquejar-lo és molt difícil perquè necessita ser a molt baixa temperatura, al voltant de 20 kelvins. Per això, estem molt atents a totes les novetats tecnològiques en emmagatzematge i transport.

A Europa, el més habitual és transportar l'hidrogen comprimit a 250 bars. Això vol dir que, si agafes un camió de 50 peus (és a dir, un camió força llarg), només podràs transportar menys de 1.000 kg d'hidrogen. En canvi, amb un camió de la mateixa mida pots moure 60.000 litres de dièsel. És per això que torno a fer un incís en què estem molt atents a les possibles millores tecnològiques que permetin transportar i emmagatzemar més hidrogen en menys espai.”

- Finalment, què recomanaries a les empreses que es plantegen fer el salt cap a l'ús d'hidrogen com a part de la seva estratègia de sostenibilitat?

“Els diria que, s'informin i preguntin, que consultin altres experts. És important que la gent s'informi. Si s'hi fixen, veuran que l'hidrogen és una molt bona forma d'energia. Bàsicament, és qüestió de prendre consciència. Hi ha moltes fires, jornades, etc., i persones com nosaltres que estem buscant solucions. Cada proposta pot tenir els seus avantatges; potser la nostra és la millor per a consum tèrmic, però no necessàriament la millor per a mobilitat. Per tant, que mirin i preguntin!”

- **Annex 5: Entrevista de Maria Serra (CERH2).**

- Com definiries el paper de l'hidrogen en la transició energètica global?

“L'hidrogen té un paper fonamental en la transició energètica global, ja que actua com un vector energètic clau. Permet aprofitar les energies renovables, que sovint són variables i imprevisibles, com l'energia solar i l'eòlica. L'hidrogen ens ofereix la possibilitat d'emmagatzemar energia elèctrica en moments de sobreproducció, cosa que ajuda a equilibrar la demanda i l'oferta. Així, es converteix en una solució per afrontar les intermitències de les fonts d'energia renovable i promou un sistema energètic més estable i sostenible.”

- Quins són els principals avantatges de l'hidrogen verd comparat amb altres formes d'energia renovable?

“L'hidrogen verd, produït sense emissions de CO₂, té diversos avantatges importants. Primer, permet una millor gestió de l'energia, ja que pot emmagatzemar excés d'energia renovable per a ús futur. A més, és molt versàtil: pot ser utilitzat en múltiples sectors, des de la indústria fins al transport. També ajuda a reduir la dependència dels combustibles fòssils i a descarbonitzar processos industrials que actualment no poden ser electrificats. Comparat amb l'energia solar o eòlica, l'hidrogen verd ofereix una solució més completa per integrar les energies renovables en el sistema energètic global.”

- En termes de viabilitat, quins són els majors reptes que afronta la producció massiva d'hidrogen verd?

“La producció massiva d'hidrogen verd enfronta diversos reptes importants, tant econòmics com tecnològics. Un dels majors obstacles és el cost elevat dels electrolitzadors, que són essencials per produir hidrogen a partir d'aigua. Això limita la seva adopció a gran escala. A més, necessitem una inversió significativa en infraestructures, com plaques solars i altres tecnologies renovables, per garantir una producció eficient d'hidrogen. Una solució potencial seria utilitzar aigua del mar o aigües residuals, que podrien reduir els costos i fer que la producció sigui més sostenible.”

- Creus que les piles de combustible d'hidrogen per a vehicles poden competir amb els vehicles elèctrics a llarg termini?

“Crec que la competència entre piles de combustible d'hidrogen i vehicles elèctrics serà interessant. Cada tecnologia té els seus avantatges i desavantatges. Els vehicles elèctrics són molt eficients per a trajectes llargs, especialment per a persones que viatgen a distàncies més llargues. D'altra banda, els vehicles d'hidrogen poden ser més pràctics per a l'ús urbà, on la infraestructura de càrrega és limitada. Amb el temps, veurem com aquestes dues tecnologies poden coexistir i satisfer diferents necessitats del mercat de mobilitat.”

- Com veus la integració de l'hidrogen en el transport públic o en les xarxes de calefacció domèstica?

“L'hidrogen ja s'està implementant amb èxit en el transport públic, com és el cas de Barcelona, on hem vist autobusos que funcionen amb hidrogen. Aquesta és una gran oportunitat per reduir les emissions en entorns urbans densos. Tanmateix, la integració de l'hidrogen en calefacció domèstica és més complexa. A Espanya, encara no hem començat a implementar aquesta tecnologia, però altres països, com la Xina, ja estan fent passos importants. La clau aquí serà desenvolupar infraestructures adequades i garantir la seguretat dels sistemes d'hidrogen en entorns domèstics.”

- Com es poden superar les preocupacions pel cost i la seguretat de l'hidrogen?

“Per superar les preocupacions sobre el cost i la seguretat de l'hidrogen, la informació és crucial. La societat necessita conèixer els beneficis i la seguretat d'aquesta tecnologia. Com més inversió s'hi destini en investigació i desenvolupament, més coneixement hi haurà, la qual cosa ajudarà a generar confiança. És fonamental que els ciutadans vegin l'hidrogen com una alternativa viable, i això es pot aconseguir a través de campanyes d'informació i projectes pilot que demostrin la seva seguretat i eficàcia. A mesura que la tecnologia avança i es

redueixen els costos, la confiança en l'hidrogen com a solució energètica sostenible seguirà creixent.”

- **Annex 6: Càlculs implantació d'hidrogen a la flota municipal de Cornellà de Llobregat.**

Concepte	Quantitat	Preu unitari (€)	Import total (€)
Vehicles d'hidrogen Toyota Mirai			
Cotxes Toyota Mirai	5	74.200,00	371.000,00 €
Impost matriculació	5	0,00	0,00 €
Plaques matricula	5	7,50	37,5
Subtotal inversió vehicles hidrogen			371.037,50 €

Concepte	Quantitat	Preu unitari (€)	Import total (€)
Vehicles actuals flota de policia			
Cotxes Kia XCeed	5	19.680,00	98.400,00
Impost matriculació	5	934,80	4.674,00 €
Plaques matricula	5	7,50	37,5
Subtotal invertit en vehicles flota			103.111,50 €

	Quantitat	Preu unitari (€)	Import total (€)
Cost consum anual hidrogen			
Cotxes Toyota Mirai	5		
Consum H2 (kg) cada 100 km	1		
Km anual per vehicle	50.000,00		
Consum total d'H2 (kg)	500,00		
Preu H2 per kg (€)	4.000,00	8	
Autonomia (Km)	650,00		
Cost anual repostatge H2 (€)			20.000,00 €

	Quantitat	Preu unitari (€)	Import total (€)
Cost consum anual gasolina			
Cotxes Kia XCeed	5		
Consum Gasolina (l) cada 100 km	7,2		
Km anual per vehicle	50.000,00		
Consum total de gasolina (litres)	3.600,00		
Preu gasolina per litre (€)	6.480,00	1,8	
Autonomia	700,00		
Cost anual repostatge gasolina (€)			32.400,00 €

	Quantitat		Import total (g)
Emissions cotxes d'hidrogen			
Quantitat cotxes	5		
Km anual per vehicle	50.000,00		
Emissions CO2 (g/km)	0,00		
CO2 anual (g)			0,00

	Quantitat	Preu unitari (€)	Import total (g)
Emissions cotxes de gasolina			
Quantitat cotxes	5		
Km anual per vehicle	50.000,00		
Emissions CO2 (g/km)	136		
CO2 anual (g)			34.000.000

