



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA DEL DISSENY

**ANÀLISI TÈCNIC-ECONÒMIC DE LA
IMPLEMENTACIÓ DE L'HIDROGEN
COM A COMBUSTIBLE EN EL
TRANSPORT PER CARRETERA**

Treball de Fi de Grau

Realitzat per:

Oriol Hurtado Moncunill

Dirigit per:

Dr. Carlos Sánchez Díaz

Titulació:

GRAU EN ENGINYERIA MECÀNICA

Any:

2017-2018



Què és el que es cremarà en comptes de carbó? –va preguntar Pencroft

Aigua –va exclamar Cyrus Harding -. L'electricitat ha permès trencar l'aigua en els seus elements primitius, el qual farà que es converteixi en una força poderosa i manipulable. Sí, amics meus, crec que algun dia s'utilitzarà l'aigua com a combustible. I que l'hidrogen i l'oxigen dels quals està formada l'aigua, utilitzats per separat o de forma conjunta, proporcionaran una font inesgotable de llum i calor de la qual el carbó no és capaç.

L'aigua serà el carbó del futur.

Jules Gabriel Verne

“L'illa misteriosa” (1874)



ÍNDIX

ÍNDIX DE TAULES	3
ÍNDIX DE GRÀFICS.....	4
INTRODUCCIÓ	5
1.- HIDROGEN.....	6
1.1.- PROPIETATS FÍSQUES	9
1.2.- TOXICITAT	9
2.- PRODUCCIÓ D'HIDROGEN.....	10
2.1.- ELECTRÒLISI DE L'AIGUA.....	11
3.- ENERGIES ALTERNATIVES.....	13
3.1- ENERGIA EÒLICA	15
3.2.- ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	18
3.3- ENERGIA GEOTÈRMICA	20
3.4.- ENERGIA MAREOMOTRIU	21
4.- EMMAGATZEMATGE I TRANSPORT D'HIDROGEN	22
5.- PILES DE COMBUSTIBLE	27
6.- SITUACIÓ ACTUAL DEL PETROLI	29
6.1.- PREU I IMPOSTOS QUE SE L'HI APLIQUEN.....	31
7.- ESTUDI ECONÒMIC.....	35
7.1.- COST D'UNA PILA DE COMBUSTIBLE.....	35
7.2.- HIDROGENERES I EL PREU DE L'HIDROGEN	37
7.3.- VEHICLE D'HIDROGEN.....	42
8.- IMPLEMENTACIÓ DE L'ESTUDI	45
8.1.- INTRODUCCIÓ	45
8.2.- ANÀLISIS ECONÒMIC.....	51
9.- CONCLUSIONS	56
BIBLIOGRAFIA	57
ANNEX	64
ANNEX 1.....	64
ANNEX 2.....	65

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1. Propietats de l'hidrogen.....	7
Taula 2. Qualitats de l'hidrogen com a combustible.....	8
Taula 3. Comparació de l'impacte ambiental de les diferents formes de produir electricitat.....	14
Taula 4. Resum de les piles de combustible a partir de l'electròlit que fan servir.....	28
Taula 5. Cost de Fabricació d'una pila de combustible de 90kW en euros.....	36
Taula 6. Exemple d'hidrogeneres (FuelPrices).....	40
Taula 7. Cost d'instal·lació de diferents hidrogeneres (NHA).....	41
Taula 8. Cost de la inversió addicional a una hidrogenera que produeix hidrogen.....	42
Taula 9. Característiques del Mercedes GLA Fuel Cell (Mercedes-Benz).....	43
Taula 10. Cost de fabricació d'una pila de combustible (U.S. Drive).....	44
Taula 11. Comparació Mercedes Benz Classe A i el Mercedes d'hidrogen Classe B F-Cell.....	44
Taula 12. Preu per omplir un dipòsit amb els diferents combustibles.....	45
Taula 13. Parc d'automòbils de Catalunya (IDESCAT).....	47
Taula 14. Quilòmetres de carreteres a Catalunya (IDESCAT).....	47
Taula 15. Infraestructures per un 2,5% de cotxes d'hidrogen i previsions del 75%.....	49
Taula 16. Distribució d'hidrogeneres al territori de Tarragona.....	50
Taula 17. Cost de la instal·lació de les hidrogeneres.....	52
Taula 18. Cost de la producció d'hidrogen amb les diferents energies.....	54
Taula 19. Cost de la inversió addicional per hidrogeneres que generen hidrogen.....	54
Taula 20. Cost de la producció d'hidrogen variant el percentatge que tenim de cada energia....	55
Taula 21. Cost de producció de l'hidrogen variant el percentatge d'energia de gas natural.....	55

ÍNDIX DE GRÀFICS

Gràfic 1. Electròlisis de l'aigua.....	11
Gràfic 2. Obtenció de l'hidrogen a partir de les diferents energies.....	12
Gràfic 3. Construccions de parcs eòlics al mar a Europa 1993 – 2015 (en MW).....	16
Gràfic 4. Principals països productors d'energia eòlica.....	17
Gràfic 5. Obtenció d'hidrogen per energia eòlica amb connexió a la xarxa domèstica (Audi).....	18
Gràfic 6. Funcionament de l'energia geotèrmica.....	20
Gràfic 7. Planta d'energia geotèrmica.....	21
Gràfic 8. Volum de l'hidrogen depenent de la pressió sotmesa.....	23
Gràfic 9. Energia respecte pressió de l'hidrogen.....	24
Gràfic 10. Densitat de l'hidrogen respecte la pressió.....	24
Gràfic 11. Factor de compressió de l'hidrogen respecte la temperatura i la pressió.....	24
Gràfic 12. Balanç entre consum de combustibles i producció.....	30
Gràfic 13. Variació del cru en els diferents trimestres (dòlars per barril).....	30
Gràfic 14. . Especulació entre Oferta i demanda en milions de barrils per dia (U.S. Energy).....	30
Gràfic 15. Percentatges d'impostos de la gasolina i del dièsel.....	33
Gràfic 16. Preu i impostos del combustible a dia 12-12-2017.....	34
Gràfic 17. Cost de les PEM(€/kW) per 500000 unitats en un any, U.S.Drive.....	37
Gràfic 18. Preu de la producció d'hidrogen €/kgH ₂	38
Gràfic 19. Mapa topogràfic de la província de Tarragona.....	48
Gràfic 20. Emplaçament de les hidrogeneres a la província de Tarragona.....	51
Gràfic 21. Emplaçament de les hidrogeneres al Corredor Mediterrani.....	52
Gràfic 22. Composició de les energies renovables al sector elèctric.....	53

Introducció

L'objectiu d'aquest projecte és estudiar la viabilitat econòmica d'utilitzar l'hidrogen com a combustible a partir d'energies renovables. D'aquesta manera tenir un vehicle que no generi contaminació, que l'obtenció d'aquest combustible tampoc generi cap tipus de contaminació, i també en l'anàlisi econòmic necessari per implementar tota una xarxa d'infraestructures per poder subministrar aquest hidrogen als automòbils.

Per poder avaluar la viabilitat i l'economia necessària per dur a terme el projecte primer farem un tempteig previ a la situació del mercat energètic juntament amb les propietats de l'hidrogen, de com obtenim aquest hidrogen, els recursos d'energies renovables que existeixen i la situació actual del petroli, ja que el que volem és poder competir contra els motors de combustió que utilitzen combustibles fòssils.

S'estudiarà unes hipòtesis arrel d'un vehicle d'hidrogen que sortirà al mercat a finals del 2019 on a partir d'aquets podrem estudiar la viabilitat econòmica d'aquest cotxe i on a partir d'una mostra real de vehicles estudiarem la necessitat d'implementar hidrogeneres i el cost s'hauria d'invertir per fer tota la xarxa d'hidrogeneres.

1.- Hidrogen.

L'hidrogen es un element químic, amb símbol H i nombre atòmic 1. En condicions normals de pressió i temperatura, es un gas incolor, inodor, insípid, no metàl·lic i altament inflamable, amb una massa atòmica de 1,00794, sent l'element més lleuger.

L'hidrogen és un dels elements més abundants de l'univers, suposa més del 75% en matèria, podent trobar-lo com un gas diatòmic (H_2), no obstant això, l'hidrogen en estat gasos es troba en molt poca quantitat a l'atmosfera (1 ppm en volum). Aquest element compta amb una massa molt reduïda, fet que li permet escapar de la influència de la gravetat, al contrari del que passa amb altres gasos més pesats.

A pesar de tot això, el àtoms d'hidrogen, i les seves molècules diatòmiques, son freqüents al nostre voltant, encara que son molt difícils de formar i generar en solitari, es a dir, com a molècula H pura, a la superfície del nostre planeta; per això, pràcticament tot l'hidrogen que podem trobar a la Terra forma part de compostos químics, com els hidrocarburs o l'aigua. Aquest element és de vital importància en la química àcid-base, ja que moltes de les seues relacions necessiten d'un intercanvi de protons entre molècules solubles.

En camps com l'energia (el que ens ocupa en aquest treball) o la mecànica quàntica, on ha estat fonamental per al seu desenvolupament, l'hidrogen ha demostrat ser d'una rellevància notòria, sobre tot per la seua química singular que fa que no es trobi en cap grup dins la taula periòdica. Ara bé, fa relativament poc temps, s'ha pogut sintetitzar hidrogen sòlid, per primera vegada en la historia, sometent l'hidrogen a baixes temperatures i a una gran pressió. L'han anomenat hidrogen metàl·lic perquè compleix totes les definicions i característiques dels metalls. Aquest descobriment podria fer canviar la forma que tenim de definir l'hidrogen i de trobar nous materials a partir de la solidificació, a molt baixa temperatura, casi zero absolut.

A continuació, introduïrem les principal propietats:

Hydrogen Properties		
Properties	Value	Units
Auto ignition temperature [3,a]	500-585	°C
	932-1085	°F
Boiling point (1 atm) [b]	-252.9	°C
	-423.2	°F
Density NTP [1,b]	0.08375	kg/m ³
	0.005229	lb/ft ³
Diffusion coefficient in air NTP [1, a]	0.610	cm ² /s
	6.57 E-4	ft ² /s
Enthalpy NTP [1, b]	3858.1	kJ/kg
	1659.8	Btu/lb
Entropy NTP [1, b]	53.14	J/g-K
	12.70	Btu/lb-°R
Flame temperature in air [a]	2045	°C
	3713	°F
Flammable range in air [1,a]	4.0 - 75.0	vol%
Ignition energy in air [c]	2.0 E-5	J
	1.9 E-8	Btu
Internal Energy NTP [1, 2, b]	2648.3	kJ/kg
	1139.3	Btu/lb
Molecular weight [b]	2.02	
Specific gravity (air = 1) NTP [1, c]	0.0696	
Specific volume NTP [1,b]	11.94	m ³ /kg
	191.26	ft ³ /lb
Specific heat at constant pressure , Cp NTP [1, b]	14.29	J/g-K
	3.415	Btu/lb-°R
Specific heat at constant volume, Cv NTP [1, b]	10.16	J/g-K
	2.428	Btu/lb-°R
Thermal conductivity NTP [1, b]	0.1825	W/m-K
	0.1054	Btu/ft-h-°R
Viscosity NTP [1,b]	8.813 E-5	g/cm-sec
	5.922 E-6	lb/ft-sec

Taula 1. Propietats de l'hidrogen (HFQS)

Hydrogen Analysis Resource Center: Hydrogen Fuel Quality Standards

Created 7/7/2009

Currently, there are no international or national hydrogen fuel quality standards. The International Standards Organization (ISO) published TS 14687-2 in February 2008, and a committee draft for the international standard is under review. The goal is to have an international standard in place by April 2011. The Society of Automotive Engineers (SAE) is also working on a standard; J2719 was published in April 2008 [1, 3, 4, 5, 6, 7]. California has developed a set of standards to be used until international or national standards are in place [1, 2]. The California standards are presented below.

Specification	Value
Hydrogen Fuel Index (minimum, %) (A)	99,97
Total Gases (maximum, ppmv) (B)	300
Water (maximum, ppmv)	5
Total Hydrocarbons (maximum, ppmv) (C)	2
Oxygen (maximum, ppmv)	5
Helium (maximum, ppmv)	300
Nitrogen and Argon (maximum, ppmv)	100
Carbon Dioxide (maximum, ppmv)	2
Carbon Monoxide (maximum, ppmv)	0,2
Total Sulfur Compounds (maximum, ppmv)	0,004
Formaldehyde (maximum, ppmv)	0,01
Formic Acid (maximum, ppmv)	0,2
Ammonia (maximum, ppmv)	0,1
Total Halogenated Compounds (maximum, ppmv)	0,05
Particulate Size (maximum, μm)	10
Particulate Concentration (maximum, $\mu\text{g/L @ NTP}$) (D)	1

A. The Hydrogen Fuel Index is the value obtained with the value of Total Gases measured in % subtracted from 100%.

B. Total Gases = Sum of all impurities listed on the table except particulates.

C. Total Hydrocarbons may exceed 2 ppmv only due to the presence of methane, provided that the total gases do not exceed 300 ppmv.

D. $\mu\text{g/L @ NTP}$ = micrograms per liter of hydrogen fuel at 0°C and 1 atmosphere pressure.

Sources

1. California Department of Food and Agriculture Division of Measurement Standards. "Hydrogen Fuel Standards." Accessed June 29, 2009 at <http://casap.org/2007/2007workshops/HydrogenFuelStandards.DMSWebSit.ppt>.

2. California Department of Food and Agriculture Division of Measurement Standards. "Hydrogen Fuel Standards." Accessed June 29, 2009 at <http://www.cdfa.ca.gov/dms/hydrogenfuel/HydrogenFuelFinalText.pdf>.

3. Collins W. 2005. "Status of Hydrogen Quality Standards." UTC Power. Accessed June 29, 2009 at <http://www.fuelcellstandards.com/H2Quality.ppt>.

4. International Organization for Standardization (ISO). "ISO/TS 14687-2:2008." Accessed June 29, 2009 at http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=43994.

5. Rivkin C, C Blake, R Burgess, W Buttner, M Post, CE Tracy, D Barley, and K Gawlik. 2009. "2009 DOE Hydrogen Program Codes and Standards." National Renewable Energy Laboratory (NREL). Accessed June 29, 2009 at <http://www.cdfa.ca.gov/dms/hydrogenfuel/HydrogenFuelFinalText.pdf>.

6. Ruiz A. 2009. "Safety, Codes and Standards." National Renewable Energy Laboratory (NREL). Accessed June 29, 2009 at http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/merit_review_2009/safety_codes_standards/scs_0_ruiz.pdf.

7. Society of Automotive Engineers (SAE). 2009. "Information Report on the Development of a Hydrogen Quality Guideline for Fuel Cell Vehicles." Accessed June 29, 2009 at http://www.sae.org/technical/standards/J2719_200804.

Taula 2. Qualitats de l'hidrogen com a combustible (HFQS)

1.1.- Propietats físiques

L'hidrogen, després de l'Heli, és l'element de la taula periòdica que té els punts de fusió i ebullició més baixos. El podem trobar en estat líquid per sota la temperatura de $-252,77^{\circ}\text{C}$, temperatura d'ebullició, i en estat sòlid per sota de la temperatura de fusió $-259,2^{\circ}\text{C}$ i tot a pressió atmosfèrica. Com podem observar, aquestes temperatures són considerablement molt baixes. Són temperatures anomenades criogèniques aquelles que estan per sota dels -73°C . Per aquesta raó tots aquells líquids que es troben per sota aquesta temperatura són anomenats criogènics. Així trobem que l'hidrogen és un líquid criogènics.

Com sabem, el punt d'ebullició d'un combustible és un paràmetre molt crític perquè ens defineix en quina temperatura podem emmagatzemar-lo i utilitzar-lo, ja que, en estat líquid el combustible ocupa menys espai que en estat gasos i es més fàcil de transportar. Per aquesta raó els combustibles tradicionals com el dièsel, la gasolina, l'etanol o el metanol són tant importants i tan freqüents perquè es troben en estat líquid en condicions atmosfèriques. En el nostre cas tenim que el combustible que volem utilitzar no es troba en estat líquid a pressió atmosfèrica, i la solució que tenim seria emmagatzemar-lo com un gas pressuritzat o com un líquid criogènic. Això fa que l'hidrogen, o també el gas natural no siguin combustibles comuns en el sector de l'automòbil.

El punt d'ebullició d'una matèria pura augmenta a mida que anem pujant la seva pressió, tanmateix el punt d'ebullició de l'hidrogen es podem augmentar només fins un màxim de (-240°C) si hi apliquem 13 bars de pressió.

La capacitat calorífica específica de l'hidrogen a pressió constant (C_p) és de $28,623\text{kJ/kmol}\cdot\text{K}$ i el calor específic a volum constant (C_v) és de $20,309\text{kJ/kmol}\cdot\text{K}$.

L'hidrogen pur és inodor, incolor i és insípid. En una fuga d'hidrogen, aquest resulta gairebé invisible i impredecible a plena llum del dia.

L'hidrogen obtingut a partir d'altres combustibles fòssils ve acompanyat generalment per nitrogen, diòxid de carboni, monòxid de carboni i altres gasos. Tots ells són també en la majoria dels casos inodors, descolorits i insípids.

1.2.- Toxicitat

L'hidrogen no és tòxic, però pot actuar com asfixiant ja que desplaça l'oxigen que es troba en l'aire. S'ha de tenir precaució si manipulem hidrogen en recintes petits i tancats, ja que una fuga podria arribar a causar la mort per asfíxia.

2.- Producció d'Hydrogen

A la Terra, l'hydrogen esta lligat a altres elements. La combinació més normal de trobar-lo és amb el carboni, del qual obtenim el gas metà; i amb l'oxigen per formar H_2O , aigua. La forma més neta d'obtenir hydrogen és utilitzar energies renovables i serà a partir de separa aquestes combinació per poder aconseguir l'hydrogen pur i sol sense estar mesclat amb altres elements.

Avui dia, l'elaboració de l'hydrogen prové el 90% de fonts d'energia fòssils: el gas natural i el petroli, i amb molt poca proporció ve de la biomassa derivada de la fusta. Existeixen tres mètodes industrials per obtenir hydrogen: la transformació molecular, la gasificació del carbó i la electròlisis de l'aigua. Entrarem a explicar breument en que consisteixen aquets tres mètodes:

El primer mètode, és el que consisteix en la utilització de reaccions químiques per obtenir hydrogen a partir del gas natural dels jaciments petrolífers. Es fa servir el vapor d'aigua a altes temperatures per trencar les partícules del carboni que estan juntes amb les de l'hydrogen on componen el gas natural.

El segon mètode, es la gasificació del carbó. Aquest consta de la utilització d'un reactor per augmentar la temperatura del carbó, en aquest augment de temperatura procedim a una combustió del carbó a on s'alliberen molts gasos, dos d'aquets gasos són els que ens interessen: el monòxid de carboni i l'hydrogen.

El tercer mètode, que és el que ens interessa en el nostre treball, utilitza la electròlisis de l'aigua per poder generar hydrogen. Aquesta obtenció de l'hydrogen a partir de la electròlisis de l'aigua fa que el procediment d'obtenció sigui el mètode més net mediambientalment dels tres. Però em de puntualitzar que això succeeix quant en el procés de electròlisis la energia corresponent que utilitzem ve de energies no contaminants, una energia alternativa per produir hydrogen, ja que en molts casos se'ns diu que el mètode és més nets que els altres però s'obvia una circumstancia; l'obtenció de l'energia principal per generar la electròlisis igualment ve donada per combustibles contaminants. En aquest Procediment de producció de l'hydrogen es requereix una gran quantitat d'energia elèctrica, no sempre disponible. L'any 2007 es van produir al Món 13 trilions de SCF (peu cúbic estàndard) d'hydrogen, dels quals 291.504 milions es van produir a Europa. No ha sigut possible trobar xifres fiables d'elaboració a Espanya.

Nosaltres en el nostre treball ens volem centrar en la utilització del tercer mètode i amb la obtenció de tota la energia principal a partir de energies renovables. D'aquesta manera podrem obtenir un hydrogen final completament net de contaminants i podrem dir amb total seguretat que no contaminem res. Aquest punt és molt important perquè a partir de dir que

no tenim cap contaminant en res podem establir preus sense cap impost de contaminants. I possiblement aquest punt és on pugui ser competitiu el combustible format per hidrogen amb comparació amb els utilitzats comunament com la gasolina o el dièsel on aquets si que tenen un gran percentatge d'impostos per contaminació.

2.1.- Electròlisi de l'aigua

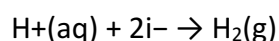
Com acabem de comentar nosaltres ens centrarem amb els dos punts principals d'energia que són: primer produir electricitat a partir de energies netes i en segon lloc obtenir energia poder fer la electròlisi de l'aigua per acabar amb el producte principal que ens ocupa; l'hidrogen.

La electròlisi de l'aigua és aquell procés que es defineix com la descomposició de l'aigua (H_2O), en els seus gasos primaris com l'oxigen (O_2) i l'hidrogen (H_2) per mitja de una corrent elèctrica continua donada d'una font d'alimentació, pila o bateria, on posem elèctrodes a l'aigua per poder generar aquest corrent. Com sabem l'aigua pot tenir una mínima resistència al pas de corrent i per tant afegim petites quantitats d'àcid sulfúric o un electròlit fort com el NaOH, hidròxid de sodi, per solucionar aquesta dificultat tècnica que ens aporta l'aigua i així poder generar amb molta més eficiència tot el procés que ens disposem a fer. Després connectem una font d'energia elèctrica a dos elèctrodes que posarem dins l'aigua (aquets normalment son fets de platí o d'acer inoxidable). Finalment tot passa a una cel·la a on podem veure com l'hidrogen es situa en el càtode, l'elèctrode carregat negativament i l'oxigen al ànode, al elèctrode positiu.

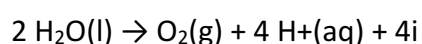
Aquest procés a més a més sol·licita una quantitat molt gran d'energia extra en forma de potencial, sabem per la teoria que aquest extra de potencial és +1,229V a causa de la poca dissociació de l'aigua. En altres paraules l'aigua del mar te una conductivitat molt baixa, de $0,0055 \mu S \cdot cm^{-1}$.

Les reaccions són:

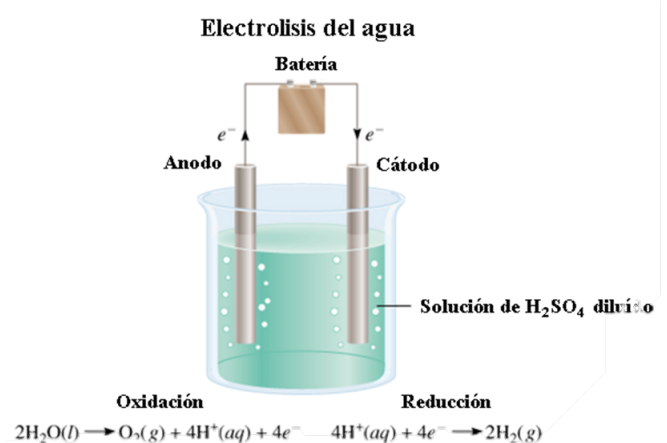
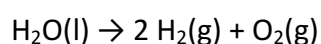
- Reducció en el càtode:



- Oxidació en l'ànode:



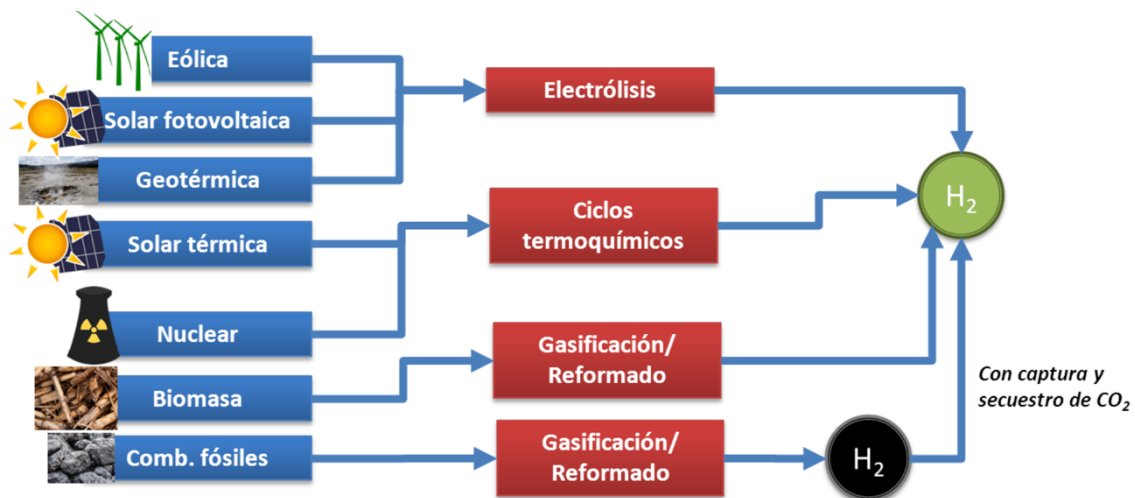
- La suma de les dues semireacció obtenim la reacció global:



Gràfic 1. Electròlisi de l'aigua

En la reacció podem observar que el nombre de molècules d'hidrogen obtingudes és el doble que el de molècules d'oxigen. Exactament igual amb el nombre d'electrons transportats a través dels elèctrodes és el doble que de molècules d'hidrogen produïdes i el quàdruple d'oxigen. Aquest hidrogen final que produïm és de gran puresa.

Segons hem pogut saber a partir d'una extensiva busca és que tot aquest procediment de la hidròlisi té una eficiència del 60% per generar hidrogen. Aquest percentatge ens el dona molts estudis i també molts tècnics que treballen en el sector però la més fiable de totes les fonts és la trobada per el Hydrogen AnalysisResource Center.



Gràfic 2. Obtenció de l'hidrogen a partir de les diferents energies

3.- Energies alternatives

S'anomena energia alternativa o energia verda tota aquella energia generada i utilitzada diferent a l'energia monopolitzada per la societat o les grans empreses productores i distribuïdors. Podem trobar l'inici d'aquest concepte i definició quan un grup de científics i moviments ecologistes van veure la necessitat de introduir aquesta energia i de catalogar-la diferent de les que teníem en un principi i que en molts casos difereixen molt unes energies i unes altre per el principal tema, que és el de la contaminació.

Les energies renovables, són les que s'originen de forma contínua i són inesgotables, any rere any. La utilització de les energies verdes va en augment i per la qual cosa cada cop pren un paper mes important en la societat. D'aquesta manera jo m'atreuria a dir que la definició principal d'energia alternativa està obsoleta, per el simple fet que no són només energies poc comuns i poc utilitzades sinó que algunes ja es poden considerar convencionals en alguns punts i sobretot en alguns sectors.

Segons els científics es diu que el Sol és l'origen de totes les energies verdes. Si aprofundim més en les característiques que ens proporciona el Sol a la Terra podríem dir que gràcies el calor que ens indueix a la Terra es poden crear les diferències de pressions que aquestes donen vida als vents i per tant si aprofitem aquets vents podem crear l'energia eòlica. D'aquesta manera també el Sol és el causant de la pluja, els núvols, en definitiva del cicle de l'aigua i on de l'aigua podem treure tot tipus d'energies alternatives. Sense anar més lluny podem observar que aquestes energies de les quals estem parlant estan estretament relacionades amb el medi ambient i amb el clima.

Hem de remarcar que l'electricitat i l'hidrogen no són una font d'energia per si sols però sense cap mena de dubte són el combustible net del futur. No podem obviar que l'hidrogen es troba a molts grans percentatges en tot el que ens envolta però per crear energia a través d'aquest primer l'hem de transformar tal com em explicat en el punt anterior.

En aquest treball en el que ens centrarem és en la producció de energia elèctrica (completament neta; sense contaminació) a partir d'energies verdes per així després poder produir hidrogen amb aquesta electricitat. D'aquesta manera aconseguim que la producció d'hidrogen sigui completament neta, amb un zero per cent de contaminació i és més amb cap generació de partícules contaminants.

Hem de dir que ara mateix la producció d'hidrogen ja existeix però el gran problema que la gran majoria venen de hidrocarburs i nosaltres volem generar tot a partir de energies renovables perquè a part de no contaminar també tenim un punt de vista econòmic, al generar absolutament tot sense contaminació no tindrem impostos ni costos extres de contaminació, ja que tots els governs tenen impostos de contaminació per generar i per consumir aquesta energia. D'aquesta manera en aquest apartat d'impostos nosaltres podrem ser més competitius amb el preu de la nostra energia renovable.

Comparació de l'impacte ambiental de les diferents formes de produir electricitat

(Emissions de contaminants par a tot el cicle. En tonelles per GWh produït)

Fuente	CO ₂	NOX	SO ₂	PARTÍCULAS SOLIDAS EN SUSPENSIÓN	CO	HIDRO- CARBUR OS	RESIDUOS NUCLEARE S	TOTAL
Carbó	1.058,2	2,98	2,97	1,626	0,267	0,102	-	1066,1
Gas Natural	824	0,25	0,34	1,176	TR	TR	-	825,8
Nuclear	8,6	0,034	0,03	0,003	0,018	0,001	3,64	12,3
Fotovoltaica	5,9	0,008	0,023	0,017	0,003	0,002	-	5,9
Biomassa	0,0	0,64	0,15	0,51	11,36	0,77	-	13,4
Geotèrmica	56,8	TR	TR	TR	TR	TR	-	56,8
Eòlica	7,4	TR	TR	TR	TR	TR	-	7,4
Solar tèrmica	3,6	TR	TR	TR	TR	TR	-	3,6
Hidràulica	6,6	TR	TR	TR	TR	TR	-	6,6

Taula 3. Comparació de l'impacte ambiental de les diferents formes de produir electricitat

(Informació de: US Department of Energy, Council for Renewable Energy Education y Worldwatch Institute)

En la taula següent podem trobar una comparació entre les diferent maneres de produir electricitat i l'impacte ambiental que genera la producció d'aquesta electricitat. Si observem la taules veiem que les energies netes no generen cap tipus d'emissions contaminants, solament una ínfima part de CO₂ que en alguns estudis es pot menysprear i reduir a zero perquè aquest CO₂ que ens indica que esta generat no és més que el que es generat a partir de la construcció d'aquestes energies ja que els materials en que estan construïts els panells solars o els elements que constitueixen un part eòlic, aquests si que són contaminants.

3.1- Energia eòlica

Molts científics quantifiquen que entre el 1-2% de l'energia del Sol es transforma en vent, de tal manera que poden quantificar el potencial d'energia eòlica que es crea. Si descartem les àrees amb un gran valor mediambiental obtenim uns resultats al voltant de 53TWh/any de potencial d'energia eòlica al món. Aquesta xifra és extraordinària i ens hauria de fer pensar a tots i recapacitar de a on i com volem obtenir l'energia, i amb només una dada podem veure clarament que ara mateix estem fent les coses malament amb la obtenció de l'energia; els 53TWh/any que podem generar de energia neta eòlica suposa cinc vegades més que l'actual malbaratament elèctric de tot el planeta, és a dir, que només amb aquesta energia eòlica ja podríem proveir les necessitats energètiques de tots.

Avui dia, la tecnologia permet aprofitar, gairebé únicament, els vents horitzontals, per tant podem aprofitar tots els vents que bufen en paral·lel, propers al sòl i que la seva velocitat estigui entre uns determinants límits tècnics, (3m/s-25m/s), això condiona que aquesta energia eòlica només pugui ser aprofitada en certs punts estratègics on aquestes condicions tècniques que ens limiten siguin aprofitables. Abans de decidir a on es col·locaran els parcs eòlics els enginyers estudien la configuració de la muntanya, la seva posició, la seva geografia i els vents que hi passen a través. Després d'estudiar la configuració de la muntanya i com aniran els molins, ve la part de la construcció d'aquets. Els molins utilitzats s'anomenen turbines eòliques aerogeneradors, en que són les encarregades de transformar la força cinètica del vent en l'electricitat. Els enginyers alhora d'estudiar les configuracions del paisatge també tenen cura de no instal·lar camps eòlics on pugui haver algunes dificultats geogràfiques com arbres, edificis, etc, aquestes dificultats geogràfiques fan que es creïn turbulències en l'aire.

- Parcs eòlics

L'energia eòlica es duu a terme, principalment, per a la generació d'electricitat per així poder vendre l'electricitat a la xarxa. És creen els parc eòlics, com he anomenat anteriorment, que són un conjunt de turbines aerogeneradors col·locades en conjunt. Cada parc es construeix amb una central de vigilància que regula l'encesa dels aerogeneradors i controla l'energia produïda en cada instant. He pogut trobar que en tots els estudis de creació de parc eòlics es calcula que amb una velocitat mitjana incident de l'aire de 6,75m/s en el centre de la turbina, s'aconsegueix generar 1,5 milions de kWh anuals. També existeix els parcs eòlics en el mar i així d'aquesta manera aprofitar els corrents marins dels mars i del oceans.

- Parcs en el mar

Tots els països que han creat parc eòlics ara tenen en mans projectes per crear parcs dins el mar (parcs offshore), com és el cas d'Espanya, Itàlia i Alemanya, on aquest té un total de 1200MW generats eòlics offshore al 2015, o Dinamarca que han fet una llei el govern on preveu tenir una potència instal·lada de 4000MW al 2020. Però també hem de dir que clarament els costos de construcció són molt més elevats, però el rendiment dels parcs marins es més gran ja que els vents marins són més constants i més forts. Per tant aquest es un fort en el tema tècnic-econòmic de la implantació de aerogeneradors en el mar. Un bon exemple d'això és que les autoritats europees han donat el seu suport a la implantació de l'energia eòlica marina i volen aconseguir l'objectiu que per el 2020 el 20% de l'energia gastada/consumida sigui d'origen renovable.

FIG 11: CUMULATIVE AND ANNUAL OFFSHORE WIND INSTALLATIONS (MW)

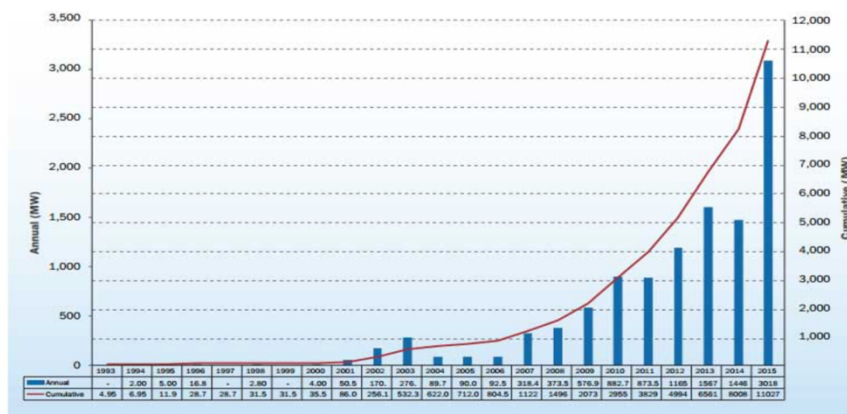
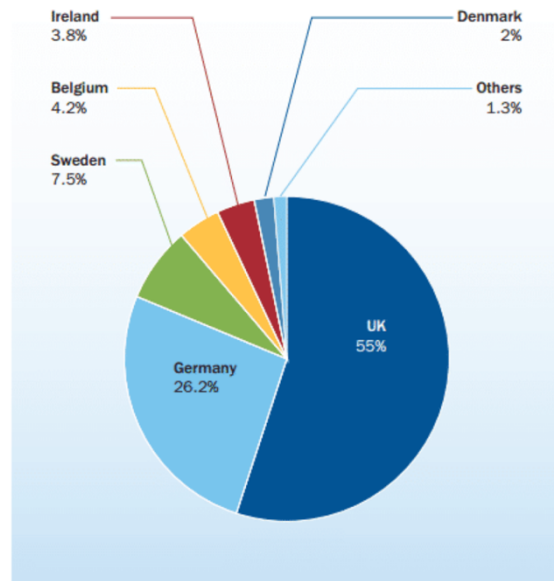


TABLE 3: NUMBER OF WIND FARMS WITH GRID-CONNECTED TURBINES, NO. OF TURBINES CONNECTED AND NO. OF MW FULLY CONNECTED TO THE GRID AT THE END OF 2015 PER COUNTRY.

Country	BE	DE	DK	ES	FI	IE	NL	NO	PT	SE	UK	Total
No. of farms	5	18	13	1	2	1	6	1	1	5	27	80
No. of turbines	182	792	513	1	9	7	184	1	1	86	1,454	3,230
Capacity installed (MW)	712	3,295	1,271	5	26	25	427	2	2	202	5,061	11,027

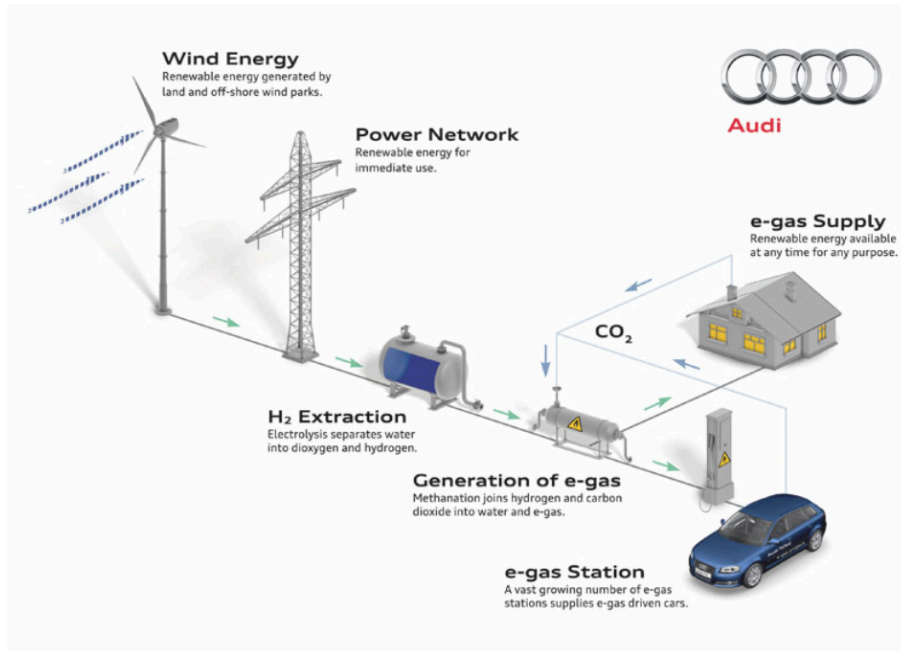
Gràfic 3. Construccions de parcs eòlics al mar a Europa 1993 – 2015 (en MW)



Gràfic 4. Principals països productors d'energia eòlica

- Producció d'hidrogen a través del vent

A Espanya resideix des de principis de 2008 la primera planta experimental de creació i emmagatzematge d'hidrogen a partir de l'energia eòlica. Està ubicada a Galícia, al parc de Sotavent i forma part d'un pla en el qual participen Gas Natural, la Xunta de Galícia i la fundació Sotavent de Galícia. La intenció de la planta és aprendre la idoneïtat de l'hidrogen com a mitjà d'emmagatzematge d'energia en forma gasosa i per tan quan l'energia eòlica a Sotavent és més de l'electricitat prevista, aquesta planta emmagatzema l'electricitat per produir hidrogen, no obstant quan la demanda elèctrica es major i no la podem aconseguir per el vent s'utilitza aquest hidrogen produït per generar energia elèctrica. A Espanya i concretament a l'illa de Gran Canària, a l'octubre del 2007 es va crear dues plantes experimentals de l'Institut Tecnològic de Canàries (ITC), a Pou Esquerra, que van servir per saber si era viable tècnica i econòmicament la creació industrial d'hidrogen a partir d'energies alternatives.



Gràfic 5. Obtenció d'hidrogen per energia eòlica amb connexió a la xarxa domèstica (Audi)

La fàbrica de cotxes coneguda Audi esta investigant en crear uns prototips d'obtenció d'energia eòlica amb connexió a la xarxa domèstica i la creació de hidrogen i així crear un circuit de xarxa i domèstic completament renovable i per tant també poder tenir una connexió de hidrogenera a partir d'aquest hidrogen que es subministra a la xarxa.

3.2.- Energia solar fotovoltaica

La producció directa d'electricitat a partir de la llum es coneix amb el nom d'efecte fotovoltaic. L'existència d'aquest fenomen va ser descobert pel físic Antoine Becquerel, l'any 1839. Per crear aquest efecte es necessari un material que absorbeixi la llum del Sol i pugui transformar l'energia solar en energia elèctrica, així doncs aquests material és l'anomenat cèl·lules fotovoltaiques.

Funcionament de les centrals solars fotovoltaiques.

- Una cèl·lula fotovoltaica exclusivament pot generar electricitat quan es compleixen tres condicions:
- S'han de poder modificar la quantitat de càrregues positives i negatives.
- S'han de crear càrregues que permetin la generació d'un corrent.
- És necessari que s'estableixi una diferència de potencial o un camp elèctric.

D'entrada la primera circumstancia l'aconsegüim afegint a un semiconductor pur una quantitat petita d'àtoms contaminants, anomenats dopats, on aquests són capaços de cedir o agafar electrons.

En segon lloc necessitem exposar la cèl·lula fotovoltaica a una radiació lluminosa per aprofitar l'energia dels fotons. Si tenim una energia molt ajustada el fotó cedeix energia a un electró de la banda de valència i ho fa passar a la banda de conducció, saltant la banda prohibida. En tot aquest procediment sorgeix un forat a la banda de valència, científicament es una fuga de càrrega negativa i per tant es un lloc carregat positivament, això es causa de l'absència de l'electró que ha anat a la banda de conducció, per acabar tot aquest procés genera una corrent elèctric per clausurar el circuit.

Finalment, per poder aconseguir la tercera condició, podem obtenir una diferència de potencial ajuntant dos semiconductors que tenen una densitat de càrregues negatives o positives diferent, al tenir aquestes càrregues negatives i positives originen d'una manera natural un camp elèctric entre les dues zones de la unió. Un terminal constituït per aquesta unió rep el nom de cèl·lula solar (o cèl·lula fotovoltaica). Quan la cèl·lula reben els fotons d'una emissió lluminosa, les càrregues positives i negatives creades s'allunyen per culpa del camp elèctric i apareix un corrent elèctric.

- Beneficis de l'energia solar fotovoltaica

El gran potencial de la radiació solar queda reflectida amb una sola dada: per crear mitjançant sistemes solars fotovoltaics tota l'electricitat que la humanitat va consumir l'any 2015 (uns 32 bilions de kWh), es necessitaria una superfície de 320.000 km² (suposant una mitjana de generació solar de 100 kWh/m²·any), que comparada amb la superfície terrestre del nostre planeta, 132 milions de km², representa un 0,242% d'ella. No obstant, utilitzaríem tota la superfície de la terra per generar energia. Cosa que a la practica és impossible.

L'explotació de l'energia solar per a la creació d'electricitat ajuda a la sostenibilitat del sistema energètic, i evita que es generi electricitat a partir de combustibles fòssils no renovables (reduint les emissions de gasos associats a aquests) i també de les grans contaminants centrals nuclears. L'energia solar fotovoltaica distribuïda no necessita tenir un lloc addicional, ja que es pot col·locar en teulades o integrar-la en edificis.

Atenent a l'àmbit soci-econòmic, sabem que l'energia solar fotovoltaica possibilita la reducció de la dependència energètica exterior, que en el cas d'Espanya aconseguix el 85%, augmentant així la seguretat en els subministraments. Si fem referència als aspectes econòmics i socials, l'energia solar fotovoltaica ens ajuda a baixar la taxa de dependència dels combustibles (que a Espanya és actualment d'un 85%).

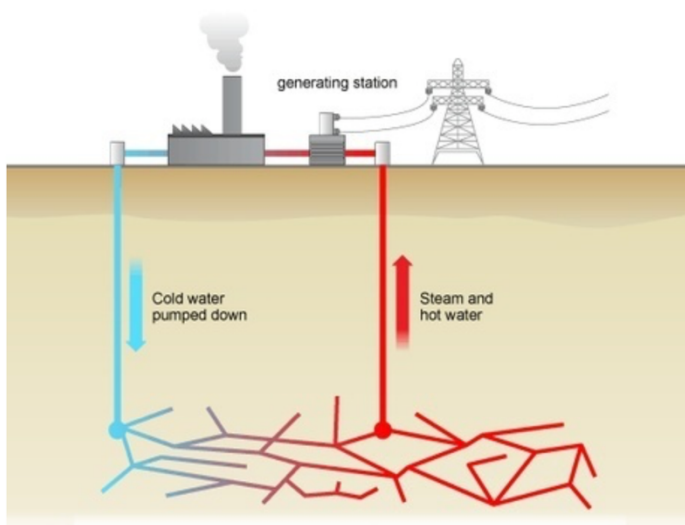
3.3- Energia geotèrmica

L'energia geotèrmica s'obté amb l'aprofitament de la calor natural de l'interior de la terra, on aquesta calor és la que es transfereix a través dels cossos de roca calenta per conducció i convecció, on se susciten processos d'interacció de fluids i roques, donant origen als sistemes geotèrmics.

El potencial de producció d'energia geotèrmica (60 mW/m^2) és bastant inferior a la del sol (340 W/m^2 , aproximadament), però aquesta energia creix, en algunes zones geogràfica, a 200 mW/m^2 i crea un dipòsit de calor en els aqüífers que pot ser explotat industrialment on el ritme aprofitament és sempre superior a la contribució del flux de calor.

- Fonts d'energia geotèrmica

Els jaciments secs no necessiten aigua per generar energia geotèrmica perquè és un tipus de producció artificial. Primer es necessita trobar a no molta profunditat un jaç de roca calenta seca, però amb elevada temperatura on aquestes situacions poden donar-se per causa de la cissura d'alguna capa de magma interior i quedant les pedres superiors exposades al calor.

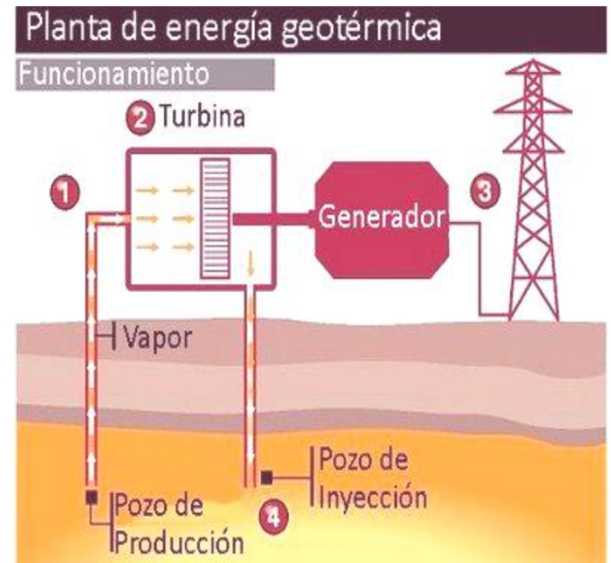


Una vegada trobat el jaç de roca calenta, es fa una excavació fins a trobar-lo. Després per l'extrem oposat es fa una segona excavació fins a trobar la roca calenta. Llavors el procediment d'obtenció es introduir aigua freda per un dels forats i al contactar amb la roca calenta aquesta aigua es transforma ràpidament en vapor d'aigua que sortirà a gran pressió per el forat oposat que havíem creat.

Gràfic 6. Funcionament de l'energia geotèrmica

D'aquest procediment creem electricitat a través d'aquesta pressió generada que ens surt del forat i utilitzant generadors per poder alimentar ciutats. Tot això requereix d'una gran inversió a on a Califòrnia ja la utilitzen i a la Toscana (Itàlia) esta molt emprada.

Aquest procediment fa que sigui possible la creació d'electricitat en jaciments on la temperatura es inferior, on podem destacar que aquets mètodes el fluid geotèrmic transporta la seva calor a través d'un bescanviador a un fluid secundari, després es converteix en vapor que acciona la turbina i genera electricitat.



Gràfic 7. Planta d'energia geotèrmica

3.4.- Energia mareomotriu

Podem dir amb total certesa que al mar és el lloc del món on insereix una quantitat d'energia solar més gran. Dins d'aquesta energia solar la podem distingir en moltes diferents, la que ens proporcionen els corrents marins, tota la biomassa marina que existeix, les onades que són impulsades a través del vent i sense oblidar-nos de les mareas. Per tant els recursos que ens ofereix el mar són molts, infinits, però nosaltres ens centrarem en l'energia que creem a partir de les mareas (mareomotriu) i la marea-tèrmica, la que s'aprofita de la diferència de temperatures de l'aigua (entre la superfície i el fons marí).

Els dispositius que necessitem per captar l'energia provinent de les onades han de ser capaços de obtenir l'energia potencial i cinètica inicial i transformar-la en energia elèctrica. Tot aquest procediment té algunes restriccions tècniques i també per molts problemes ambientals que em de tenir molt en compte alhora de construir una central d'aquest tipus.

Entre les quals es poden marcar:

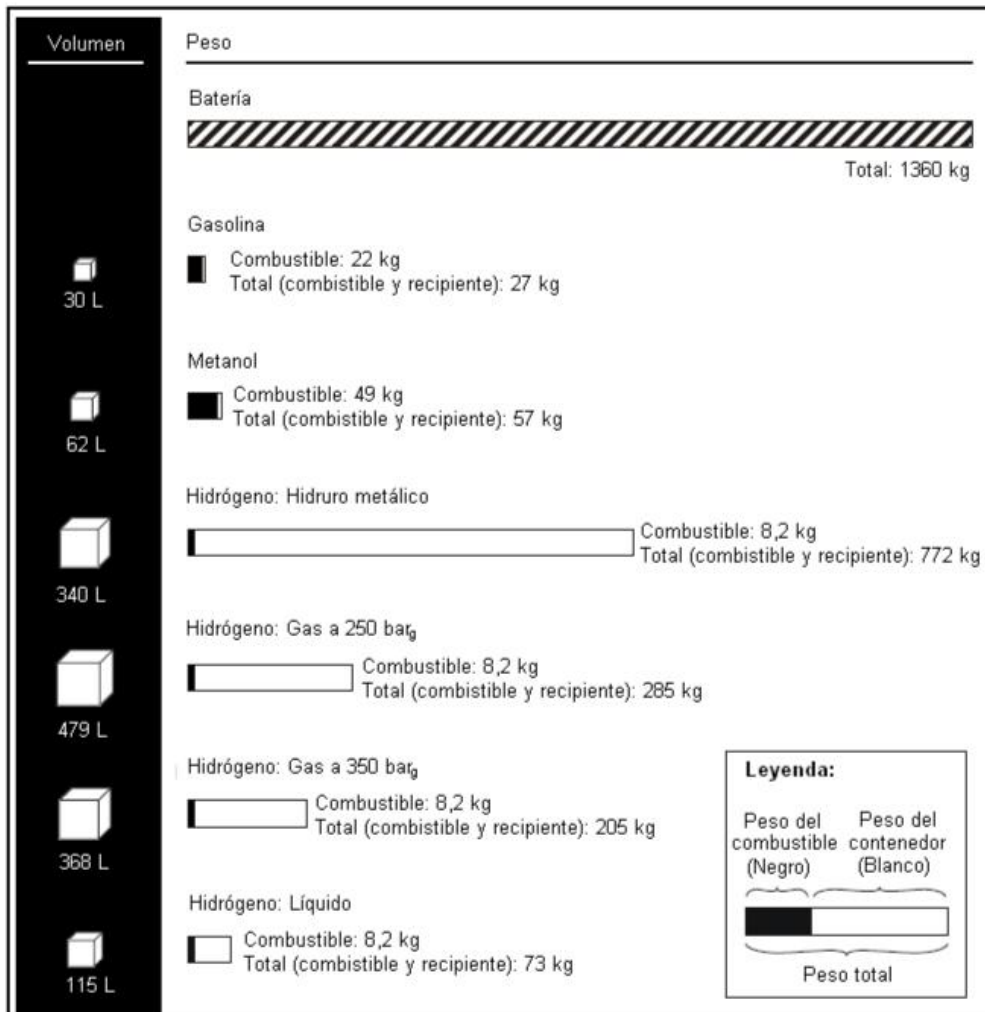
- L'alteració en l'amplitud, fase i adreça de les ones; això dificulta l'obtenció de la màxima eficiència de l'aparell en tot el rang de freqüències d'alt rendiment.
- La gran estructura necessària en el cas de condicions climàtiques extremes, com a huracans, poden superar a la càrrega mitjana de construcció en més de 100 vegades

4.- Emmagatzematge i transport d'hidrogen

Com abans hem explicat l'hidrogen té una densitat molt baixa, en estat gasos com en estat líquid, i convé subratllar que en un mateix volum de diferents combustibles, el volum d'hidrogen serà el que contingui menys energia que en tots els altres combustibles. Conseqüentment hauréu d'augmentar la grandària de volum que necessitarem de combustible d'hidrogen per una mateixa quantitat d'energia, és per això que la magnitud relativa del tanc haurà de ser molt major per poder resoldre els requisits tècnics que ens trobem per ser capaços de tenir un vehicle competitiu amb comparació a totes les altres fonts d'energia que poden existir. Per tant hem de tenir en compte que sempre tindrem un gran pes en els tancs d'hidrogen i per això totes les investigacions estan intentant reduir aquest volum d'alguna manera ja que si no solucionem aquest problema alhora de competitivitat els altres combustibles seran més eficaços en el pes del propi vehicle.

Els científics han solucionat aquestes raons tècniques de dues maneres:

- Emmagatzemar hidrogen com a gas a alta pressió
- Emmagatzemar-lo com a líquid a temperatures criogèniques.



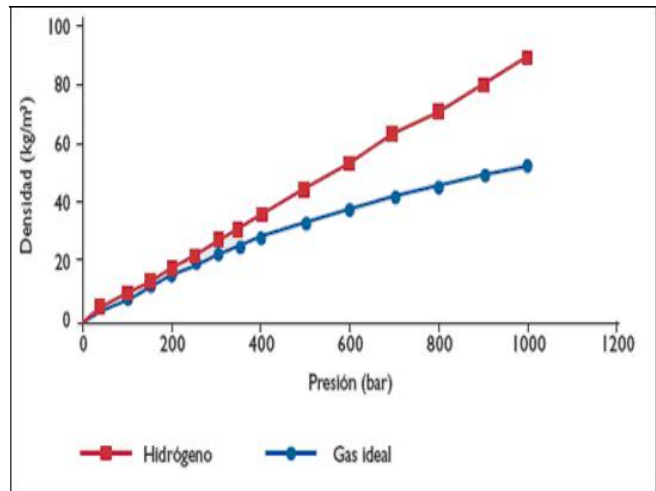
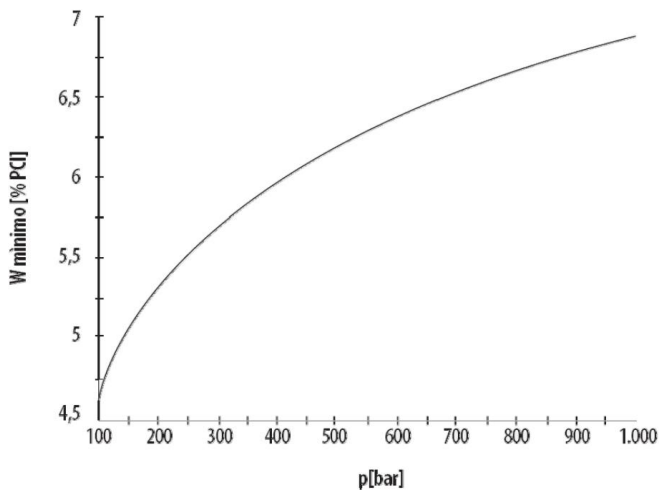
Gràfic 8. Volum de l'hidrogen dependent de la pressió sotmesa

- Hidrogen a alta pressió

Emmagatzemar l'hidrogen a alta pressió a hores d'ara és el sistema més utilitzat, senzill i més desenvolupat per tots els grups d'investigació. Com tots els gasos, l'hidrogen es pot comprimir per reduir el seu volum específic, per l'hidrogen es treballa a unes pressions de 200 a 700 bars.

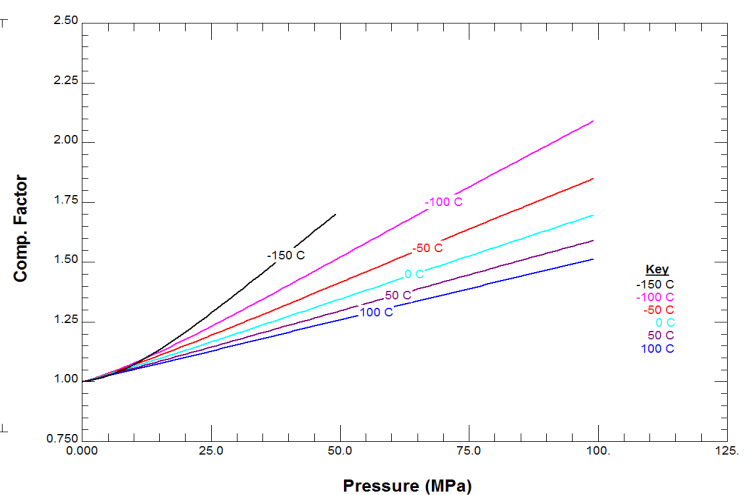
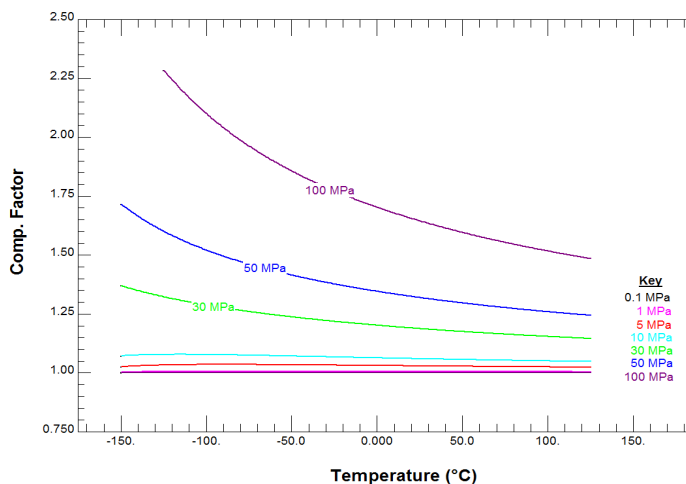
En el gràfic 8 podem veure quina energia necessitem per comprimir l'hidrogen quan aquest el guardem a un tanc a una certa pressió donada.

Tanmateix, el 5,3%, en gràfica, teòric per a aconseguir 200 bar es converteixen en la realitat en una mica menys del 10%, també podem veure com la corba no és perfecta, és a dir, sempre serà més eficient si treballem a altes pressions. També podem observar que el mínim cost per arribar als 700 bar és de 6,5%, és a saber, només un 22% més que per aconseguir 200 bar, tot i augmentar la pressió 3,5 vegades, cosa que fa difícils i molt costos poder arribar a una compressió molt alta d'aquest hidrogen. On aquest punt serà una part principal per poder crear els tancs de combustible d'hidrogen per a vehicles domèstics, turismes, i un dels punts on serà necessari tenir en compte alhora de ser competitius amb altres combustibles, ja que aquest cost afegit només per tenir una proporció més gran de combustibles farà que el nostre vehicle d'hidrogen no sigui tant competitiu alhora de comparar preus.



Gràfic 9. Energia respecte pressió de l'hidrogen

Gràfic 10. Densitat de l'hidrogen respecte la pressió



Gràfic 11. Factor de compressió de l'hidrogen respecte la temperatura i la pressió

En el gràfic 10 que trobem a la part superior que ens indica el canvi de densitat que té l'hidrogen a partir de la pressió que l'hi és aportada i tot en relació a diferents temperatures. En concret podem observar com la relació densitat-pressió no ens constant, o sigui, que cada cop que augmentem més la pressió de l'hidrogen la densitat augmenta menys. Això fa que en cert punt ens interressi pujar molt la densitat per així tenir una densitat més estable.

- Hidrogen líquid

Els sistemes de magatzematge d'hidrogen en estat líquid, sempre parlant de temperatures criogèniques, ja que sinó és quasi bé impossible tenir hidrogen líquid, ens solucionen una gran part de problemes tècnics que teníem amb el pes i el volum que em exposat amb els sistemes d'emmagatzematge de gas a alta pressió.

Quant refredem l'hidrogen per convertir-lo en líquid el que estem fent en la realitat és augmentar la seva densitat, com em vist en el gràfic anterior, i per tant aconseguirem que el transport del combustible pugui ser més senzill.

L'hidrogen líquid només el podem emmagatzemar si ens trobem a les condicions que estem per baix de la seu punt d'ebullició normal, -253°C , o a prop de pressió ambiental en un tant súper aïllant de doble paret (Dewar). Tots els tancs d'hidrogen estan formats per aquest aïllament en que diverses capes de buit estan separades per capes de fibres. Amb això aconseguim que l'hidrogen pugui estar en estat líquid fins a un temps de 10 dies abans que sigui necessari expulsar-lo, ja que l'hidrogen guardat molts dies comença a crear pèrdues, aquestes pèrdues van del 1% al 2% diària de la seva capacitat total.

Tots els tancs utilitzats en vehicles tenen una barreja bifàsica d'hidrogen que el que fa és que manté el nostre combustible entre una pressió de 3 i 10 bars. Sí no poguéssim tenir aquest rang de pressions, el que fem és que quan tenim una pressió més baixa anem vaporitzant l'hidrogen per mitja d'una resistència elèctrica o també anem deixant que es creï un intercanvi de calor amb l'exterior, al contrari, si aquesta pressió és més elevada que els 10 bars, anem expulsant l'hidrogen en estat gasos.

Aquest procés de convertir un gas en un líquid, anomenat liqüefacció i que és molt complex, és necessària molta energia, en el cas de l'hidrogen he pogut trobar en molts estudis que ens parlen entre un 30%-40% de tot el contingut energètic que existeix en l'hidrogen liquat. Fent una recerca només hem pogut trobar vint llocs, centres d'investigació, en el tot el món on es practiqui aquest procediment de les quals quatre tenen seu a Europa: dos a Alemanya, una a Holanda i una a França.

Per totes aquestes raons de pèrdues tenim que l'hidrogen no el podem guardar en estat líquid indefinidament perquè encara que tots els tancs estiguin aïllats sempre existeix una certa quantitat de calor de l'ambient que es transfereix a l'interior, cal recordar que estem parlant

de temperatures més baixes de -253°C . Aquesta calor que se'ns transfereix a l'interior del tanc produeix una vaporització de l'hidrogen i per tan la pressió del combustible es veu augmentada a mesura que aquest es va vaporitzant. Aquestes temperatures tan baixes també creen molts problemes tècnics amb els materials dels tancs, com la fragilitats d'aquets materials utilitzats, la contracció d'aquets o també existeix la possibilitat que l'oxigen de l'aire es congeli, i també una gran preocupació és que en cas d'accident si aquest tanc es trenca i surt l'hidrogen de l'interior aquest hidrogen s'expandirà ràpidament amb contacte amb l'aire de l'ambient.

Per raons tecnològiques tots els tancs d'hidrogen immòbils, estacionaris, són esfèrics ja que aquesta geometria ens ofereix una àrea superficial més petit en un mateix volum donat així doncs aconseguirem que el tanc tingui una àrea menor per realitzar el canvi de calor. Però tots el fabricants de tancs per vehicles estan fabricant a partir de formes geomètriques cilíndriques per així fer màxim el volum intern i no els hi preocupa tan l'intercanvi tèrmic que es pugui produir amb l'exterior.

Per tant podem fer una comparativa entre els dos emmagatzematges explicats anteriorment.

- L'emmagatzematge gasós és necessari utilitzar molt altes pressions per tant hem de construir sistemes a 700 bars, necessitant 6,5 vegades més volum i 5,5 vegades més en pes que un sistema de gasolina i l'ocupació de pressions majors no ens aportarà millores significatives.
- L'emmagatzematge en líquid suposa temperatures criogèniques i un gran cost energètic en el procés de líquüefacció. El sistema d'emmagatzematge necessita 3,7 vegades més en pes i 3,8 vegades més en volum que un de gasolina.
- El cost dels sistemes d'emmagatzematge d'hidrogen és molt elevat, sobretot gasós, per la necessitat d'utilitzar materials com a fibres de vidre o de carboni.

5.- Piles de combustible

En aquest punt volem fer una breu síntesis de les piles de combustibles existents i la que nosaltres escollirem per el nostre vehicle tenint en compte que ara ja tots els vehicles d'hidrogen venen amb la mateixa pila, tot i això volem fer un breu resum de totes les piles que podem trobar i les diferències que existeixen entre elles.

En el punt que hem explicat tot sobre l'hidrogen i en el que expliquem l'obtenció de l'hidrogen ja em explicat clarament com es fa tot aquest procediment i també que em de tenir amb compte per poder generar hidrogen. Així doncs ens disposarem a explicar les diferències entre el tipus de piles de combustible i les seves característiques, on a partir d'això es pot escollir millor una sèrie de necessitats tècniques o també preveure on algunes piles ens podrien donar problemes.

Si fem una recerca sobre els tipus de piles podrem trobar moltíssims tipus de classificacions tot i que nosaltres emprarem la més utilitzada, la que ens relaciona els reactius que hem de fer servir, els catalitzadors corresponents i la seva temperatura de funcionament (Freno Barbir, Pem Fuels Cells, 2013).

A la taula 4, hem fet un recopilatori sobre totes les piles, podem veure com destaquem la temperatura a la qual treballa la pila, el combustible emprat en la pila, les potències en que es pot treballar, alguns avantatges i alguns inconvenients, entre d'altres.

La pila més utilitzada per totes les cases de cotxes i la que es fa servir més per crear els cotxes i tota la automoció amb d'hidrogen és la pila polimèrica PEMFC, anomenada pila de membrana d'intercanvi de protons. Aquesta pila és molt simple i per això resulta de gran interès per la construcció de vehicles. A la taula 4 podem veure que aquesta pila pot treballar a baixes temperatures, també veiem el seu rang de potències en la que pot treballar on aquestes potències ens són de gran interès per el món de l'automoció. Com hem explicat a l'apartat d'avantatges, aquesta pila de combustible té una arrencada rapida i aquestes propietat fan que alhora d'engegar el cotxe no ens ocasionen cap problema i sigui més senzill que no totes les altres piles de combustible, per tot això aquesta pila és l'escollida per tots els fabricants de cotxes ja que és la que ens aportarà més aprofitament i la que serà més funcional per el tema en que necessitem aquesta pila.

	AFC (alcalines)	PEFC (polimèriques)	PAFC (àcid fosfòric)	MCFC (Carbonats fosos)	SOFC (òxids sòlids)
Electròlit	30-55% KOH	Membrana polimèrica (Nafion®)	H ₃ PO ₄ concentrat	Carbonats fosos (Li, Na, K)	ZrO ₂ o Y ₂ O ₃
Temperatura de treball	90-100°C	50-100°C	150-200°C	600-700°C	700-1000°C
Elèctrodes	Metall o Pt sobre carbó	Pt sobre carbó	Pt sobre carbó	Ànode: Ni-Cr Càtode: NiO	Ànode: Ni/YSZ Càtode: La _{1-x} Sr _x MnO ₃ /YSZ
Combustible	H ₂	H ₂ o CH ₃ OH	H ₂	H ₂ +CO (syngas)	H ₂ +CO (syngas)
Oxidant	O ₂ o aire	O ₂ o aire	O ₂ o aire	CO ₂ +O ₂ o CO ₂ +aire	O ₂ o aire
Ions que es transfereixen	OH ⁻	H ⁺	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻
Rang de potències	5-150kW	5-250kW	50kW-11MW	100kW-2MW	100-250kW
Aplicacions	Militars, espacials	Transport, equips portàtils	Generació d'electricitat	Generació d'electricitat	Generació d'electricitat
Avantatges	Reacció ràpida catòdica que millora les seves prestacions.	Baixa temperatura, arrancada ràpida, electròlit sòlid, poca corrosió i fugues.	Té una eficiència d'un 87% amb cogeneració de calor i electricitat. Es pot utilitzar H ₂ impur.	Eficiència alta per a la gran temperatura de treball. Catalitzadors més barats que el platí.	Electròlit sòlid que redueix l'aparició de corrosió i fugues. Es poden utilitzar combustibles diferents al H ₂ pur.
Inconvenients	Necessita que s'elimini el CO ₂ de l'aire i del combustible, sinó s'enverina.	Baixa temperatura d'utilització: catalitzadors cars (Pt). Combustible H ₂ pur.	Catalitzador car de Pt, corrent i potència baixa, pes i mida elevats.	Les temperatures elevades fa que augmenti la corrosió.	Les temperatures elevades fa que es puguin trencar components com les juntes.

Taula 4. Resum de les piles de combustible a partir de l'electròlit que fan servir (Morlanés, 2015)

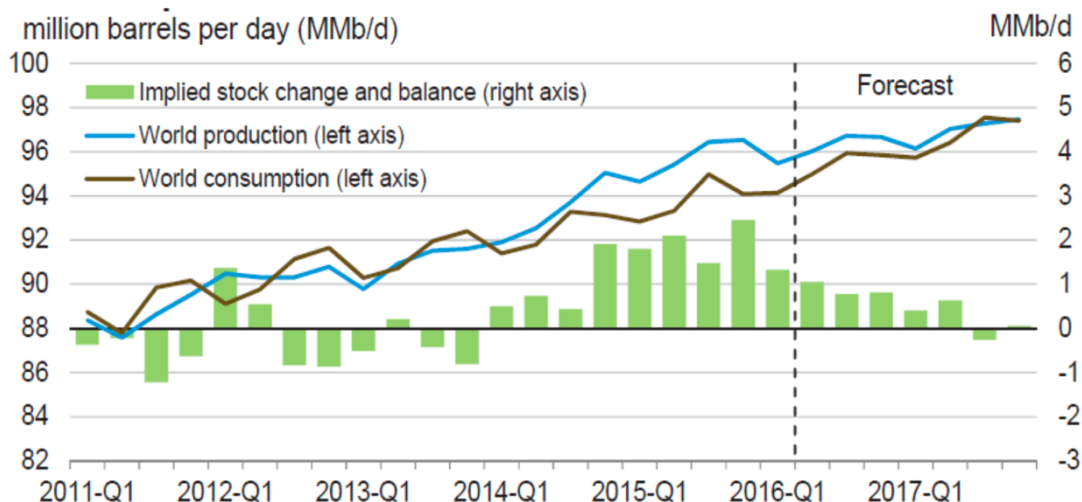
6.- Situació actual del petroli

El mercat del petroli es molt inestable, té pujades i baixades contínuament, per això molts organismes internacionals han volgut estudiar i poder preveure que passarà i sobretot que està passant ara mateix amb el món del petroli.

International Energy Agency (IEA), i també l'organisme consultor en energies (OCDE), han posat de manifest en els seus informes que una gran previsió sobre l'evolució de l'oferta i la demanda en el petroli que consumim no han estat basades en estimacions correctes.

Molts analistes creuen que la caiguda del preu del petroli pot haver arribat al seu màxim, on el juny del 2014 va començar aquesta caiguda i va situar el preu del barril de Brent als 112 dòlars i al gener del 2017 va arribar fins l'extrem de baixar per sota els 28 dòlars. Aquesta barbaritat, expliquen els analistes, que ja no pot anar més enllà, si que en el seu favor el preu del petroli pot minvar però no pot arribar mai a caure per sota els 20 dòlars ja que preveuen que podria haver-hi una gran crisi energètica on els mateixos productors limitessin les vendes del barril per així poder pujar un altre cop el preu del petroli, i així anar jugant amb aquest preu.

Cal recordar que per poder entendre l'evolució dels preus del petroli deixant de banda les parts fonamental del comerç com són la balança entre oferta i demanda, també s'ha de tenir molt present el factor especulatiu, que actua amplificant significativament els efectes de qualsevol canvi real en el balanç de la oferta i la demanda. És sabut que el món consumeix uns 90 milions de barrils de petroli diaris, on d'aquest tan sols una tercera part, 30 milions de barrils, són utilitzats per els països productors, és a dir, tan sols aquesta tercera part són objecte de transaccions comercials internacionals reals, comerç físic. Al voltant de tot aquest comerç físic existeix el comerç especulatiu que els experts situen al voltant de com a mínim deu vegades superior al comerç físic, on tota aquesta especulació és la que de veritat posa els preus del barril que pagaran els compradors físics i que són els que veiem a les pantalles de les borses d'arreu del món.



Gràfic 12. Balanç entre consum de combustibles i producció (EIA, Short-Term Energy, May 2016)

U.S. Energy Information Administration | Short-Term Energy Outlook - May 2016

	2015				2016				2017				Year		
	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th	2015	2016	2017
Crude Oil (dollars per barrel)															
West Texas Intermediate Spot Average	48.48	57.85	46.55	41.94	33.35	41.59	42.00	44.02	46.37	48.03	51.32	56.94	48.67	40.32	50.65
Brent Spot Average	53.91	61.65	50.43	43.55	33.89	41.86	42.00	44.02	46.37	48.03	51.32	56.94	52.32	40.52	50.65

Gràfic 13. Variació del cru en els diferents trimestres (dòlars per barril)

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
World Demand	94.4	95.6	96.9	98.2	99.3	100.5	101.6
Non-OPEC Supply	57.7	57.1	57.0	57.6	58.3	58.9	59.7
OPEC Crude*	32.0	32.8	33.0	33.0	33.2	33.5	33.6
OPEC NGLS etc	6.7	6.9	7.0	7.1	7.1	7.1	7.2
Total World Supply*	96.4	96.7	97.0	97.8	98.7	99.5	100.5
Implied Stock Change	2.0	1.1	0.1	-0.4	-0.7	-1.0	-1.1

Gràfic 14. Especulació entre Oferta i demanda en milions de barrils per dia (U.S. Energy)

Com podem observar a la gràfica 12, la Administració d'Informació Energètica (EIA) suposava que en el segon trimestre del 2016 els stocks generals siguin una mica superiors a la demanda que existeix, però cada vegada més es va aproximant més la oferta i la demanda fins al punt de que les dos siguin iguals i fins i tot que tota la demanda superi a la oferta generada i així creant un dèficit molt gran de combustible necessari per tota la necessitat real que existeix. Així doncs la EIA suposa que en pocs anys la demanda serà molt superior a la oferta i per la seva contraprestació això afectarà molt a les especulació i al preu que pagaran els consumidors.

Com podem veure a la gràfica 13 és la variació del preu del barril en cru en els diferents anys on te una estabilitat general però es veu com va minvant progressivament fins uns 30 a 60 dòlars el barril. En realitat és una fluctuació bastant gran en comparació al poc temps que esta canviant, és a dir, en menys de dos dies pot pujar el mateix producte el preu.

En la gràfica 14, podem veure les previsions que fan la EIA sobre l'oferta i la demanda que existirà en els pròxims anys, fins a arribar a l'extrem que la demanda superarà a la oferta un 1,1%. Això repercutirà als preus que els consumidors pagaran però també a que cada cop més la gent es pensarà en comprar un vehicle de combustible fòssils o optaran per algun altre vehicle on no tingui una previsió tant negativa. La gran desavantatge que té el petroli envers a altres combustibles, com poden ser els renovables, és la que el petroli té data de caducitat. Amb això volem dir que al final algun dia s'acabarà tot el petroli que tenim i això repercutirà a molt gran escala a un dèficit energètic molt gran i a un augment dels preus del petroli. Ara mateix tots els combustibles a partir d'energies verdes poden ser més cares, però com tots els estudis indiquen el preu del petroli anirà pujant mica en mica, i això farà que els combustibles renovables cada cop siguin més competitius contra els combustibles fòssil per el que fa al preu del combustible.

6.1.- Preu i impostos que se l'hi apliquen

Nosaltres ens centrarem en el preu que hi pugui haver a Espanya i així d'aquesta manera poder trobar el preu que existeix en un litre de petroli i saber quin percentatge del preu és només impostos. Ja que aquest percentatge d'impostos, impostos derivats a partir de la contaminació, a un combustible renovable, com es el cas de l'hidrogen, no se li aplicarien. Altrament dit que el preu del combustible d'hidrogen podria ser més competitiu ja que no li afecten tots els impostos derivats de la contaminació ja que nosaltres ens disposem a fer un combustible completament net de contaminació. El que pretenem es trobar realment tot el que paguem de més només per el fet de contaminar. Això a l'estat espanyol es bastant complicat ja que inclou moltes lleis i molts punts on no hi ha informació.

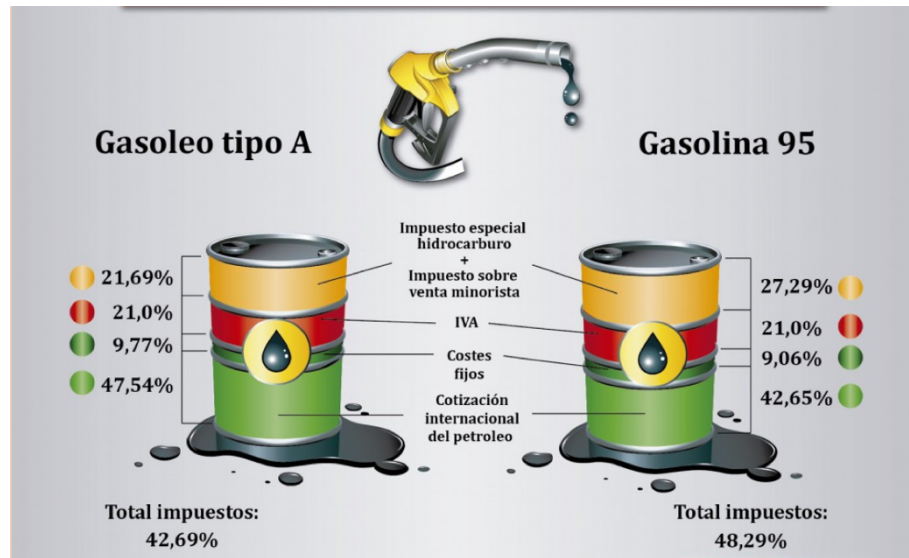
A Espanya a l'any 2008 va entrar en vigor un nou impost de matriculació que vinculava les emissions de CO2 que generava el cotxe que ens compràvem i la quantitat d'impostos que havíem de pagar per aquestes contaminacions que generàriem amb el cotxe nou, sense

contar la cilindrada del cotxe, i si aquest vehicle té unes emissions inferior a les de 120gCO₂/kg no té cap cost de matriculació. En termes generals és un impost que has de pagar abans de utilitzar el cotxe per les futures generació de contaminació que causaràs, sense contar si utilitzaràs molt o poc el vehicle. Si ens posem en el nostre cas podem dir que aquest impost de matriculació que pagues a partir de les emissions de CO₂ que el teu vehicle generarà són totalment zero, nul·les completament, ja que el nostre cotxe d'hidrogen no generarà res, això és un punt a favor del nostre vehicle ja que encara que el preu del vehicle d'hidrogen sigui més alt el preu total que pagarem no haurem de sumar-li cap cost extra d'impostos de matriculació. Aquests impostos són que si el teu vehicle genera unes emissions superior a 200g/kg pagues un 14,75% més d'impostos, entre 120-160g/kg s'ha de tributar un 4,75% i de 160-200g/kg un 9,75%.

EL preu de la gasolina es un càlcul complex, ja que intervenen molts factors com el cost internacional del petroli, els impostos estatals que ens apliquen, com el IVA, i tot això fa que Espanya sigui un dels països amb un combustibles més car, només a Dinamarca el preu es més elevat. El preu del petroli el podem saber a partir de sumar el cost dels carburants abans d'aplicar-lis els impostos i després els impostos que cada un té. Primer hem de detallar els costos que té abans d'aplicar-li impostos.

Primer de tot em de saber que el preu que costa extreure un barril de cru al món varia depenent de la zona geogràfica on l'estiguem extraient i de la procedència de on vingui aquest combustible. A Espanya el 16,7% de petroli que ens arriba és de Nigèria. El preu que arriba de Nigèria es veurà afectat a partir de les circumstàncies d'aquell país, cosa que fa que siguin molts diferents de Aràbia Saudí o d'algun altre país exportador de petroli. Aquestes circumstàncies però no afectaran directament al preu final que nosaltres podem trobar a les gasolineres igual que quan veiem a les televisions que el barril de Brent ha baixat de preu nosaltres no notem aquesta baixada de preus a la gasolinera. Per posar un exemple, una baixada del preu del barril d'un 25% nosaltres com a consumidors només notarem una baixada del 10% del preu. En definitiva, el preu que veiem del gasoil o de la gasolina, només un 57,31% en el gasoil i un 51,71% en la gasolina, corresponent a preu que val aquest combustible. En altres paraules, el preu real del combustible es la meitat del preu que paguem tota l'altre meitat són impostos, en el cas del gasoil paguem un 42,69% en impostos i en la gasolina un 48,29% del total.

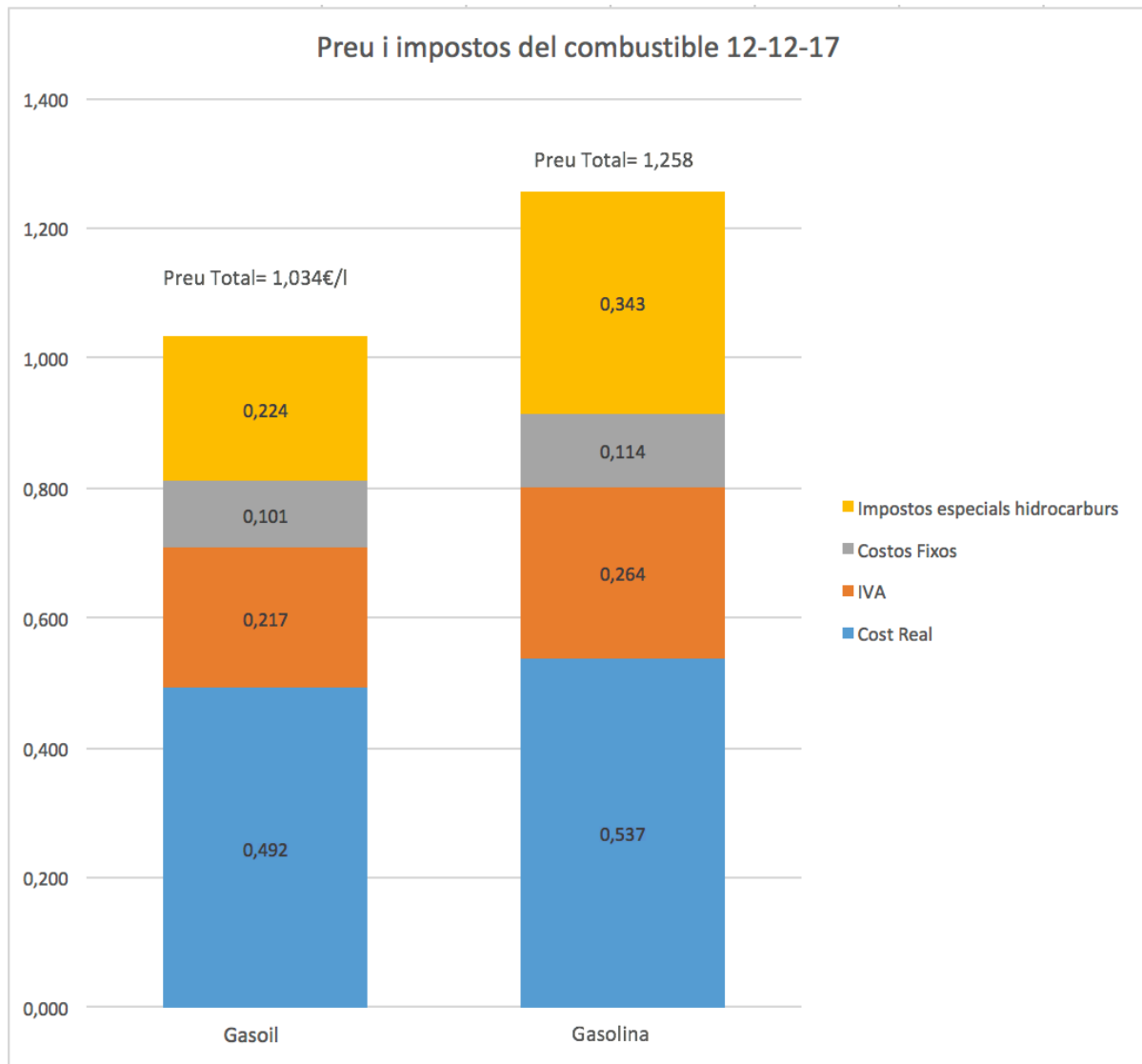
La part dels impostos són fàcils de calcular ja que d'aquest 42,69 i 48,29 un 21% és el IVA, també tenim una part d'impostos especials de hidrocarburs, impostos especials sobre la venda a minoristes, que depèn de les CCAA, en que això fa que algunes CCAA el preu del combustible pugui ser més car o més barat. Així que tenim un total de 21,69% i 27,29% d'impostos que paguem per contaminar. Aquest preu en el nostre combustible no l'hauriem de pagar, és a dir, tindríem un preu de combustible que no l'hi haurem de sumar el 21,69% o el 27,29% de impostos de contaminació.



Gràfic 15. Percentatges d'impostos de la gasolina i del dièsel

Tota aquesta informació està relacionada a partir de les lleis espanyoles existents en el BOE:

1. Real Decret 1165/1995, 7 de juliol, por el que se aprueba el Reglamento de los Impuestos Especiales.
2. Llei 38/1992, 28 de desembre, de Impuestos Especiales
3. Llei 34/2007, 15 de novembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
4. Llei 24/2001, 27 de desembre, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social.



Gràfic 16. Preu i impostos del combustible a dia 12-12-2017

Com podem veure en el gràfic 16, el preu del combustible el dia 12 de Desembre del 2017 era per el gasoil de 1,034€/l i per la gasolina de 1,258€/l, on d'aquest preu si volem saber amb exactitud el que vam pagar per cada cosa, és a dir, com hem explicat en el paràgraf anterior els impostos, els costos i el preu real del combustible s'obtenen els resultats següents. Per un litre de gasoil on paguem més de 1€, 1,034€/l, el preu real del combustible es 0,492€, concretament aquest preu és el que s'hauria de pagar si el combustible no tingues els impostos i si no tinguéssim intermediaris. Així doncs al nostre combustible que ens interessa, el hidrogen, podem competir amb el preu de la gasolina i del gasoil traient-li tots aquets impostos de contaminació com són els impostos especials dels hidrocarburs i tots aquells impostos que venen donats per la UE on s'han de complir uns estàndards de no contaminació, com hem explicat amb anterioritat.

7.- Estudi econòmic

A la societat d'avui en dia aquest punt és de gran interès ja que s'han formulat moltes hipòtesis i s'han dit moltes coses del cotxe d'hidrogen, s'hi serà el recanvi de la gasolina, s'hi es quedarà en res, si només és una moda i que no servirà o simplement moltes preguntes que la gent es fa que no confien en això. També molts científic i grups de recerca estan investigant sobre el efecte que pot generar l'economia de l'hidrogen i també la introducció de l'energia de l'hidrogen en moltes ciutats com és el cas de l'Europa del nord.

Nosaltres hem investigat, hem buscat i contrastat tota la informació que hem pogut per poder generar un informe i poder saber el preu real de l'hidrogen, tot i ser molt complicat perquè el preu de les energies es difícil de saber. Em buscat en molts estudis de la Unió Europea, Cordis, i també gràcies a les cases de vehicles com pot ser Audi o Mercedes-Benz, que també tenen els seus estudis, hem pogut desenvolupar tot sabent els informes del vehicles i agafant de partida que els informes que ens donen de cada vehicle d'hidrogen que venen són certs. Aquest estudi que em fet incloem la producció de l'hidrogen i el cost que em calculat de construir hidrogenares, el cost de una pila de combustible amb els seus components i el cost total que pot ocasionar un vehicle.

7.1.- Cost d'una pila de combustible

El que costa una pila de combustible canvia molt segons el fabricant i segons les especificacions tècniques que aquesta té. Tots els preus son en dòlars (\$), ja que em pogut trobar estudis a Europa i fabricants dins de Europa que utilitzin l'euro per poder comparar i saber els preus utilitzarem. El preu d'una pila de combustible esta al volant de 91-290€/kW, aquest preu es bastant elevat si fem la comparació amb tots els altres sistemes d'obtenció d'energia de vehicles i els motors de combustió, segons U.S. Drive amb un informe al 2013 ens diu que perquè una pila de combustible pugui ser competitiva amb un motor de combustió aquesta hauria de poder arribar a un preu de uns 20-29€/kW i així competir de tu a tu amb els motors de combustió. Nosaltres trobem que aquesta afirmació no és del tot correcte, en una part si que pot tenir raó, si només ens fixem amb la part de preu i de potència està clar que els preus de les piles de combustible són molts elevats per la quantitat de potència que ens donen, però per l'altre part una pila de combustible i tot el que envolta un motor és el que s'ha de tenir amb compte, ja nosaltres a part de presentar els preus de la pila de combustible també hem presentat el preu del combustible, que és un factor molt important ha tenir amb compte. Així doncs tenim que el motor de combustió és molt més competitiu que les piles de combustible en el cas de potència generada i preu que els fabricants ens donen. L'empresa U.S. Drive i l'organització governamental European Fuel Cells and Hydrogen juntament amb moltes empreses de automoció BMW AG, Ford, Nissan, companyies de gas com Air Liquide, companyies de fabricació de vehicles com Powertech, i molts d'altres, van desenvolupar un informe al 2014 sobre el preu d'una pila de combustible

de 90kW i amb el seus components i el cost del muntatge de cada part, es raonable que en una fabricació en cadena i amb una fabricació de moltes unitats de vehicles aquests preu es redueix. Per tant nosaltres volem sintetitzar les diferències que existeixen sobre la producció d'aquestes piles.

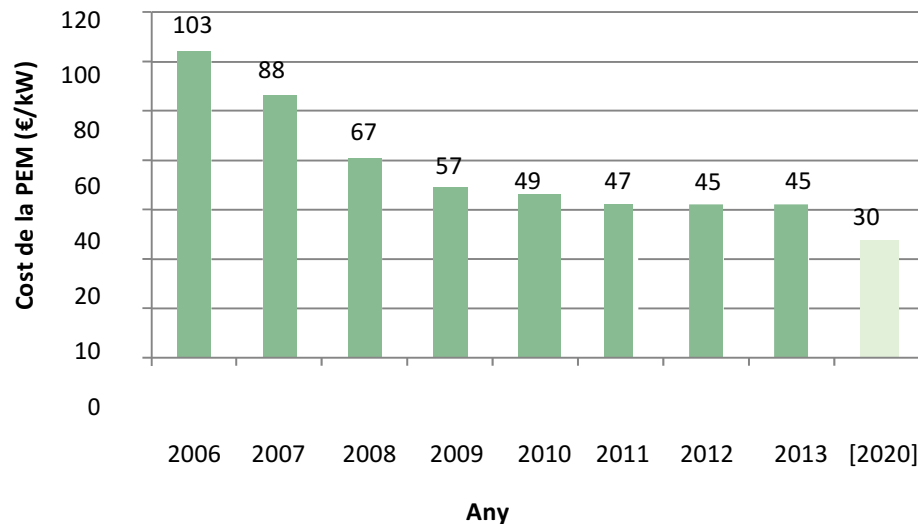
	1000 unitats (€)	10.000 unitats (€)	500.000 unitats (€)
Placa bipolar	1.495	337	311
Elèctrode (inclòs platí)	7.520	2.160	905
Juntes	268	19	15
Placa externa	80	22	13
Col·lector de corrent	37	8	3
Banda de compressió	7	6	3
Fabricació	39	7	4
Muntatge	58	40	27
Condicionament	127	40	23
Cost	9.631€	2.639€	1.304€
Cost per kW	107,01€/kW	29,32€/kW	14,48€/kW

Taula 5. Cost de Fabricació d'una pila de combustible de 90kW en euros

Com es pot observar en la taula 5 que per una pila de 90kW de potència, si volem fabricar 1000 unitats en una cadena de producció obtenim un cost de 9.631€/pila, realment és un cost molt elevat per un motor de un cotxe ja que tot el preu del vehicle és solament el motor, la pila. Podem veure com comentàvem abans que si la producció en sèrie es fa molt gran, és a dir, es fabriquen moltes més unitats de piles de combustible, aquest preu va disminuït fins a arribar a un punt on ja podríem començar a parlar de competitivitat amb els motors de combustió, fent una extrapolaració, per a les 500.000 unitats podríem arribar a ajustar el preu fins a uns 1304€ per cada pila i a un preu de 14,48€/kW, un preu absolutament competitiu i millor que alguns motors de combustió i tot. Així doncs podem observar que ja en aquets moments les piles de combustible són molt rentables i poden ser utilitzades per els fabricants de automòbils, fins el punt de arribar a una producció en cadena a l'abast només dels cotxes de combustió interna de petroli.

En els últims anys el preu de les PEM i la seva producció ha anat disminuint considerablement perquè l'objectiu de tots els fabricants i dels mateixos creadors de piles és arribar a l'objectiu de 20€/kW per així entrar dins el món de l'automoció. Tot aquest abaratiment dels costos de

producció i també el cost de la pila ha sigut gràcies a baixar els costos dels materials, ja que ara ja no s'utilitza tant de platí com al principi de començar a investigar amb piles de combustible i també a que a mesura que van passant els anys les millores són notables i també la investigació amb les piles fan que les membranes cada cop siguin millors i això crea una pila de combustible més competitiva i més econòmica amb comparació al principi.

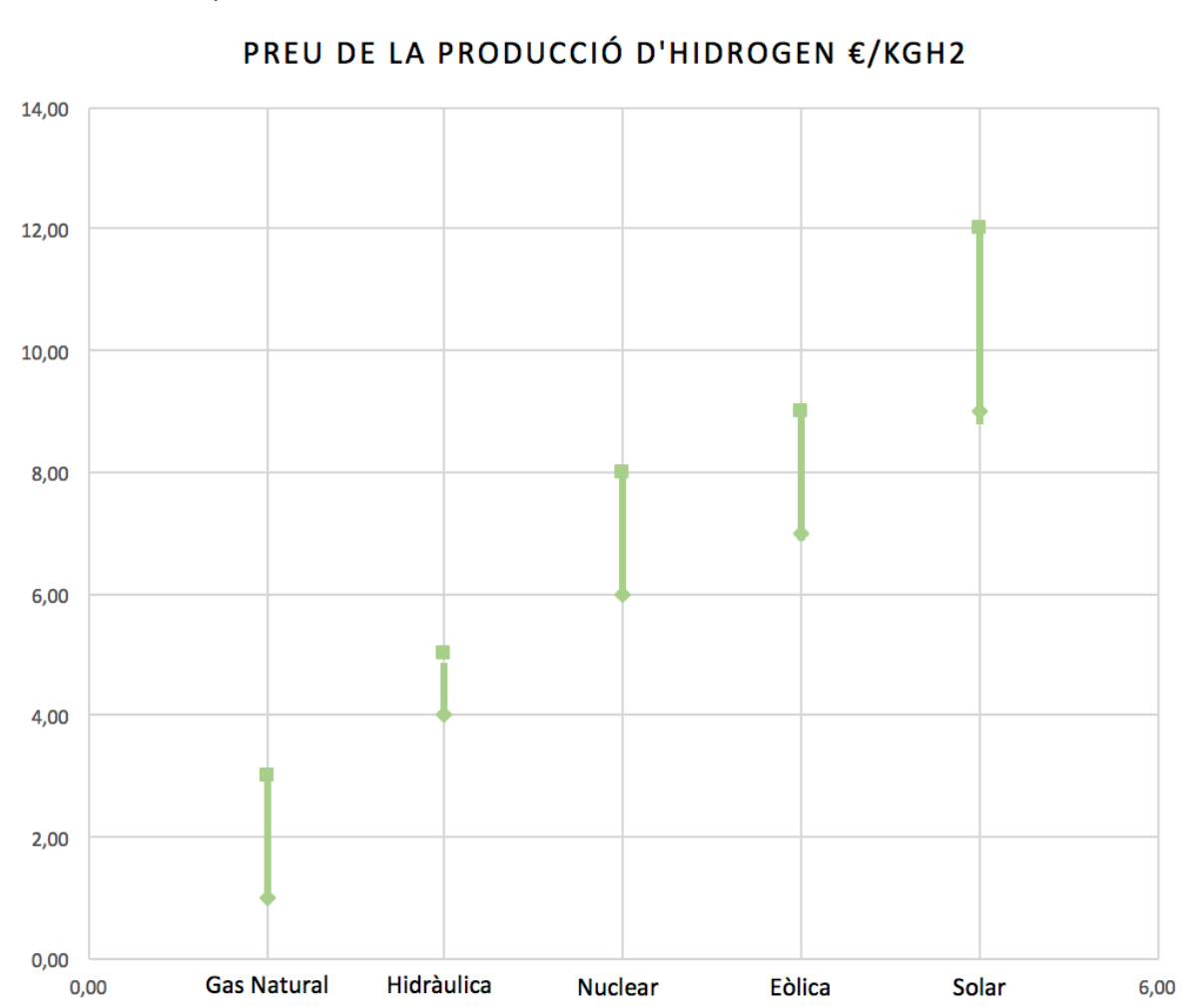


Gràfic 17. Cost de les PEM(€/kW) per 500000 unitats en un any, U.S.Drive

7.2.- Hidrogeneres i el preu de l'hidrogen

Com ens passava en el cas de les piles de combustible on depenent del fabricant podia variar el preu de la pila, en el cas del procés d'obtenció de l'hidrogen també varia el seu preu final. Per el que fa al 2009 el preu de l'hidrogen a partir de l'obtenció a través de reformat catalític del gas natural estava al voltant dels 3-4€/kgH₂, estem parlant d'hidrogen obtingut a partir de hidrocarburs on aquets contaminen. Com hem dit en tot el treball el que nosaltres volem obtenir és hidrogen absolutament per energies renovables, que en aquest cas el preu de l'hidrogen sempre serà més elevat que els que podem comparar obtingut a partir de hidrocarburs. Si seguim amb l'exemple anterior, hem dit que el que es genera a l'estació de servei era entre 3-4€ i el que es produïa fora, que s'havia de transportar, tenia un cos de 5-7€/kgH₂ (Chevron). Així doncs podem afirmar que per transportar l'hidrogen a una estació de servei aquest farà que el seu preu augmenti uns 2€/kgH₂. D'aquesta manera podem prendre una referència del que ens costaria el transport i així poder-li aplicar al nostre treball i encara que sigui obtingut a partir de hidrocarburs el transport seria el mateix, l'hidrogen es transporta igual sigui de on sigui la seva procedència. Doncs podem estar segur i afirmar que el cost del transport encariria el nostre hidrogen obtingut a partir d'energies verdes al voltant de 2€/kgH₂.

A Europa ja existeixen estudis que hem pogut trobar a partir de Cordis, concretament hem pogut trobar els estudis de H2Moves Scandinavia, HYDROSOL-3D i HyUnder on entre els tres informes hem pogut trobar de manera molt detalladament els preus de l'hidrogen obtinguts a partir de energies renovables. En aquest informació ens diu que l'hidrogen obtingut a partir d'energia electrolíticament amb energia eòlica volta els 6,5-8,5€/kgH₂ i l'hidrogen obtingut a partir d'energia solar entre 8,5-10€/kgH₂. D'aquesta manera podem veure com l'hidrogen a partir de renovables s'encareix considerablement amb comparació amb els preus del combustibles a partir de petroli. Amb aquets preus ja hem tingut amb compte que el preu de l'hidrogen esta absent d'impostos de contaminació per així poder aprofundir més i que sigui de manera més exacte el preu final. Però tot i això encara no estan al igual que els combustibles que necessiten els motors de combustió.



Gràfic 18. Preu de la producció d'hidrogen €/kgH₂

Els preus de l'hidrogen obtingut a partir d'energies no renovables com hem dit abans aquest preu es redueix de les energies renovables i també es pot observar que com més desenvolupada és la tecnologia per obtenir aquest hidrogen és més econòmic, de tal manera que podríem considerar que aquest hidrogen que ara obtenim a partir de renovables en un

futur no molt lluny, uns 5-10anys, la tecnologia estarà més desenvolupada en el sentit que els costos s'hauran rebaixat i tindrem una repercussió en el cost de l'hidrogen on aquest serà molt més baix. A la gràfica 18, podem veure dels preus de l'hidrogen a partir de la seva tecnologia d'obtenció.

Podem veure que amb aquest cost de la gràfica anterior canvia respecte els preus que nosaltres havíem comentat amb anterioritat perquè convé recalcar que amb aquesta gràfica no hi ha sumats els preus dels impostos, com l'IVA que dependrà de cada país on ens trobem, en que després les hidrogeneres hauran de sumar al preu i així crear el preu final que nosaltres trobarem a les estacions de serveis. Amb tot el que hem pogut saber les hidrogeneres tenen un preu variant a Europa que no està molt distant dels 8,75€/kg (Hit-2-Corridors, 2017) i a partir de la pagina web de Fuel Prices d'Estats Units, on es pot observar que gairebé totes les hidrogeneres estan situades a la costa oest, em pogut saber el preu amb dòlars que venen l'hidrogen al consumidor, aquets preu varia segons l'obtenció de l'hidrogen i també els preus estan amb Galons, la seva unitat per mesurar líquids. Així doncs em fet una recopilació de les hidrogeneres existents a Estats Units per poder veure com son aquestes hidrogeneres, ja que als Estats Units estan més avançats hi ha més hidrogeneres, em fet aquest recull a partir de comparar la pressió d'emmagatzemar l'hidrogen, la capacitat de cotxes que poden atendre en un dia, el preu del combustible i també de la manera com obtenen l'hidrogen, i així poder comparar els preus que existeixen i els preus que podem tenir a Europa. Per fer aquesta taula hem passat els Galons a kgH₂ que és la nostra mesura per poder saber amb claredat el volum corresponent, a partir de la densitat de l'hidrogen a 70MPa i temperatura ambient la correlació de l'hidrogen és de 0'0389-0'0416kgH₂/L on després detallarem al Annex els càlculs de les conversions de \$/Gal a €/kg.

Hidrogenera	Origen de l'hidrogen	Pressió de subministrament (Bar)	Capacitat (cotxes/dia)	Preu (€/kgH ₂)
Fountain Valley	Metà EDAR	300-700	25-30	41,91
Newport Beach	Reformat de Gas Natural	300-700	25-30	20,95
West LA	Electrolitzador	300	3-5	81,88
Emeryville	Electrolitzador 100% energia solar	300-700	>20	15,19
1000 Palms SunLine	Reformat de gas natural	300	25-30	40€ dipòsit ple ¹

¹Independentment del volum del dipòsit però solen estar entre 3-4kgH₂

Taula 6. Exemple d'hidrogeneres (FuelPrices)

Un factor molt important al moment de tenir el preu final de l'hidrogen amb una estació de servei és que aquestes estacions a més a més del preu de l'hidrogen que em vist amb

anterioritat veiem com ara als Estats Units s'encareix molt més, això es degut a que les hidrogeneres a més a més del preu de l'hidrogen, els impostos, també apliquen un carrega més que es el corresponent a la instal·lació de la hidrogenera, el servei i altres costos de la pròpia estació de servei per aquesta raó aquest preu es veu augmentat en aquesta gràfica del preu que calculàvem abans segons la tecnologia d'obtenció de l'hidrogen. En un punt on aquesta tecnologia ja sigui molt més utilitzada hi existeixin moltes més hidrogeneres, les empreses encarregades de les estacions de serveis ja podran ajustar més el preu que correspon i cada cop serà més real i podrem obtenir uns preus més baixos, però convé subratllar que això no passarà fins que aquesta tecnologia sigui totalment desenvolupada i emprada.

Alhora de crear una hidrogenera tots els projectes existents parlen de primer de tot introduir bombes d'hidrogen a les gasolineres actuals i així totes les gasolineres que ja existeixen podrien donar el servei de reposar hidrogen. Altrament això és complicat per la inversió que suposa afegir totes aquestes bombes i fins hi tot s'havia parlat de que el govern de cada país financés o dones una part de recursos per poder fer aquesta inversió, ja que tots els països Europeus s'han posat d'acord a tenir un servei mínim d'hidrogeneres per el 2020 on Espanya no hi arribarà. No obstant això, a hores d'ara és gairebé impossible, ja per culpa de la crisi, o per culpa d'una planificació dolenta, o simplement perquè no s'ha volgut fer i les empreses que treballen amb reposat de carburant tampoc els interessa invertir aquesta quantitat de diners amb una tecnologia que encara no esta al mercat. El *The Energy Evolution Report* presentat per la NHA (*National Hydrogen Assosiation*), el 2009 i després al 2016 van calcular que es necessitarien uns 7mil milions d'euros per afegir 7000 bombes per poder proveir les estacions existents en els pròxims 10 anys. Aquesta inversió es va calcular que podria generar un dèficit que deien que era possible cobrir de forma de capital de risc privat o d'incentius del govern i així per l'any 2023 els ingressos que generessin les hidrogeneres ja serien bastants per cobrir tota la inversió que haurien fet. Com hem explicat abans si tenim amb compte que hi haurà una major producció de cotxes i cada cop la tecnologia de l'hidrogen s'estandarditzarà més podem afirmar que cada cop més el mercat posarà a lloc l'hidrogen fins a arribar a poder competir amb el petroli, per tant també com més cotxes hi hagi a les carreteres més demanda hi haurà d'hidrogen i més creació d'hidrogeneres per la qual cosa les empreses corresponents ja invertirien els diners per poder donar a l'abast per tota la demanda de vehicles. No obstant això és del cert que la primera inversió és la més complicada i la que genera més desconfiança i fins que els governs, en aquest cas l'Espanyol, no doni subvencions i vulgui incentivar això aquí al nostre país aquesta tecnologia estarà estancada. També s'ha de tenir en compte les empreses de transport que haurien de fer una inversió per poder donar servei a totes les estacions o també com amb alguns països com Bèlgica que ja han instal·lat gasoductes per el transport de hidrogen i així poder arribar a tots els llocs directament per els conductes.

Capacitat (kg/dia)	Cost Hidrogenera (€)	
	1 instal·lació	1000 instal·lacions
100	610.000	474.000
500	1.355.000	1.070.000
1500	2.562.000	2.200.000

Taula 7. Cost d'instal·lació de diferents hidrogeneres (National Hydrogen Agency)

A partir dels projectes dels Estats Units de *Hydrogen Energy Storage* del 27/10/2015 fet per *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) i del llibre *Compendium of Hydrogen Energy: Hydrogen Use, Safety and the Hydrogen Economy*, hem pogut crear dues taules, la taula 7, consta de calcular el cost d'una instal·lació d'una hidrogenera i també em fet nosaltres l'extrapolació en que si en construïm moltes el preu es reduiria significativament, i també com és lògic dependent de la capacitat que tingui de subministra combustible als cotxes el preu variarà significativament, a més a més la taula 7, ens hem centrat en una sola estació de servei i desglossar-la en els preus que costaria cada components que necessitem i també depenen de la capacitat que tingui l'estació.

	Electròlisi de l'aigua (€)		
	64 kg/dia	214 kg/dia	640 kg/dia
Equip producció d'hidrogen	217.000	580.000	1.523.000
Emmagatzematge	106.000	218.000	425.000
Dispensadors	56.000	111.000	168.000
Equips compressió	102.000	200.000	336.000
Construcció	75.000	100.000	125.000
Contingències	48.000	112.000	246.000
Inversió TOTAL	604.000	1.321.000	2.823.000

Taula 8. Cost de la inversió addicional a una hidrogenera que produeix hidrogen

Així doncs podem concloure que aquets són els preus d'inversió de les hidrogeneres, els preus que ens costaria construir una estació de servei des de zero i els equips corresponents el cost que tindrien i com podem veure és un preu bastant elevat per una tecnologia que encara els fabricants de cotxes no estan desenvolupant suficient. També hem de dir que tots aquets apartats de l'hidrogen encara són necessàries moltes més investigacions i per la part de l'estat

espanyol també faltes lleis i moltes regulacions per poder construir, ja que ha sigut impossible trobar alguna informació sobre hidrogeneres o algun cost específic d'una hidrogenera. I també volia fer la comparativa amb el cost que produeix construir una gasolinera a Espanya i tot el necessari en tema de lleis i que farien falta, no hi ha informació del cost total de una gasolinera ja que tenen un monopoli l'estat amb les companyies de petroli com pot ser Repsol. Hagués sigut molt interessant poder fer una comparativa entre les dues estacions ja que si ara construïm una gasolinera des de zero el preu que costaria també seria elevat tot i que segurament el equip que necessita una gasolinera ja estan més desenvolupats i tenen un preus més baixos que els equips necessaris per poder fer una hidrogenera.

7.3.- Vehicle d'hidrogen

En aquest apartat estudiarem un cotxe d'hidrogen del mercat per així poder saber els preus d'aquets i poder comparar i saber si es viable econòmicament. A la convenció del saló de l'automòbil de Frankfurt del 2017 l'empresa alemanya Mercedes-Benz va presentar un nou model de cotxe, més ben dit, una modificació d'un model nou de cotxe que han tingut molt d'èxit en els últims anys, aquets es el SUV de Mercedes que ara disposarà d'un model amb pila de combustible d'hidrogen on va anunciar la marca que sortirà al mercat a finals del 2019. El model és el *Mercedes Benz Glc F Cell*, que es compon de un motor elèctric també i d'hidrogen. Les seves especificacions es mostren a la taula 9:

Sortida motor elèctric	100kW
Parell màxim del motor	350Nm
Sortida pila de combustible	147kW (200CV)
Capacitat de la bateria	13,8kWh
Velocitat màxima	160km/h
Acceleració de 0 a 100km/h	10,2 segons
Autonomia (49km amb bateria)	437km (486km)
Consum	0.97kg H ₂ /100km
Capacitat tanc d'hidrogen	2 dipòsits 4,4kg/H ₂ a 700bar
Omplir el dipòsit	2 minuts
Emissions de CO ₂	0.0g/km
Capacitat d'arrencada en fred	Fins a -30°C

Taula 9. Característiques del Mercedes GLA Fuel Cell (Mercedes-Benz)

Aquest vehicle com hem dit està compost per una pila de combustible, un paquet de bateries ió-Li, un motor elèctric i dos tancs d'hidrogen de 700bars cada un. El preu no ha sortit encara, només s'ha presentat al saló de l'automòbil i per tant no l'hem tingut amb compte alhora de poder fer la anàlisi de la viabilitat econòmica, però podem assegurar que serà el cotxe més

innovador i més nou amb la tecnologia d'hidrogen. Cal remarcar que aquesta empresa aposta per la tecnologia de vehicles d'hidrogen perquè al seu país, Alemanya, l'empresa Daimler té previst crear més de 400 estacions de servei d'hidrogen per el qual allí podria tenir molta sortida un cotxe d'aquest tipus i cal recordar que si aquesta empresa tan important veu una important sortida al mercat és qüestió que aquestes tecnologies són les del futur i per tant l'estudi econòmic que nosaltres podem fer és que és viable.

Com aquets vehicles que fabrica i fabricarà l'empresa contenen també bateries, em volgut calcular el preu final del vehicle tenint amb compte aquestes bateries, aquets preus que calculem són aproximacions ja que no podem saber del cert perquè no surt detalladament cada part del vehicle i el preu que costa, però nosaltres em volgut sintetitzar el preu del vehicle i també hem volgut fer una extrapolació a fabricar més unitats com si fos una cadena fabricació pròpiament dita. Així doncs els components del cotxe, sense tenir amb compte la part de carrosseria i muntatge, ja que això seria igual a tots els model siguin d'hidrogen o de petroli, són;

	Preu 1.000unitats (€)	Preu 500.000 unitats (€)
Pila combustible	11.727	1.611
Cost bateria de ió-Li	700-850	700-850
Preu motor elèctric	3.000-5.000	3.000-5.000
Preu Total	15.427-17.577	5.311-7.461

Taula 10. Cost de fabricació d'una pila de combustible (U.S. Drive)

Combustible	Potència kW (CV)	Par motor (Nm)	Velocitat màxima (km/h)	Acceleració (0-100km/h)	Consum	Emissions CO ₂ (g/km)	Preu de venda final(€)
Gasolina	90 (122)	200	190	8,9	5,5-5,7 L/100km	127-134	26.525
Gasoil	80 (109)	260	190	11,3	3,7-4,3 L/100km	98-107	28.850
Hidrogen	100 (136)	290	170	11,4	0.97 kgH ₂ /100km	0	48.000

Taula 11. Comparativa amb el model més senzill de Mercedes Benz Classe A i el model de Mercedes d'hidrogen Classe B F-Cell)

Com podem observar els preus del vehicle d'hidrogen és molt més elevat que els vehicles més senzills de la mateixa marca i per poder comparar entre els dos models de motors podem

veure que el vehicle d'hidrogen a hores d'ara esta un 45% més car amb el cas de la gasolina i un 39% més car en el cas del dièsel, també hem de tenir amb compte el cost del manteniment del vehicle i el preu del combustible que s'ha d'utilitzar ja que el preu de la gasolina és més cara que el del gasoil i per gent que utilitza el vehicle molt sovint i fa molts quilometres sempre escullen comprar-se el cotxe de gasoil perquè encara que sigui més car al final els hi surt més econòmic amb tot el que s'estalvien de combustible. I en efecte aquest és el cas del hidrogen, es cap a on nosaltres apostaríem que ens surt millor al final dels anys, ja que encara que el preu del vehicle sigui molt més car i també el preu del combustible com hem vist en apartats anteriors és més car i ha un element que juga un paper imprescindible que és el consum de combustible. El consum del cotxe d'hidrogen és molt petit i fins a extrems de menys de 1kgH₂ per 100km i això fa que puguem jugar més amb la viabilitat i amb el preu ja que al final dels anys si els preus cada cop es van ajustant més podrem veure com el cotxe d'hidrogen ens surt més rentable.

	Consum	Preu Espanya	Preu omplir dipòsit per 400km
Gasolina	5,7 L/100km	1,258€/L	28,68€
Gasoil	4,3 L/100km	1,034€/L	17,78€
Hidrogen	0,97kg H ₂ /100km	9€/kg	34,92€

Taula 12. Preu per omplir un dipòsit amb els diferents combustibles

Com podem veure amb la taula anterior on hem agafat els consums i els preus dels combustibles que volem comparar ens fixem que ara mateix el preu del hidrogen és molt car. I hem de ressaltar que el preu d'hidrogen a Espanya hem agafat la mitjana dels preus que hem pogut trobar als projectes europeus i que em fet servir havans en el cas de les hidrogeneres ja que no tenim constància del preu que podria costar a un usuari qualsevol el preu del hidrogen a una estació de servei. Però tot i això podem observar que el preu del combustible d'hidrogen s'encareix un 50,91% respecte el del combustible més econòmic que és el de gasoil.

En darrer terme hem de dir que l'hidrogen és una tecnologia que encara no esta prou implementada i els preus no són certificats ni fixes i això és una dada a tenir amb compte perquè encara que no sigui implementada podem pensar i com hem vist abans que com més implementada està més ajustats són els preus així que realment si s'implementa aquesta tecnologia i cada cop hi ha més estacions de servei per reposar hidrogen podem arribar a pensar que aquest preu baixi, i si ens fixem amb el consum del vehicle per una mica que el preu del kg d'hidrogen baixi al tenir un consum tan baix farà que el nostre dipòsit l'omplim amb molt menys diners, en tot cas els resultats són molt esperançador i la viabilitat econòmica sembla ser molt rentable.

8.- Implementació de l'estudi

Després de veure en els capítols anteriors tot referent d'aquesta tecnologia i després d'analitzar econòmicament els costos de les hidrogeneres, dels vehicles i del consum dels vehicles ara proposarem una xarxa d'infraestructures d'estacions de servei d'hidrogen. Per fer aquest estudi agafarem una regió coneguda la província de Tarragona, ja que soc de Tarragona i hem conec més les xarxes de carreteres d'aquest territori i també puc decidir amb més precisió a on col·locar alguna estació de servei depenent de les infraestructures del voltant i de la demanda de cotxes existents en aquest territori.

Primer de tot haurem de desenvolupar un full de ruta sobre l'aplicació d'aquesta xarxa de infraestructures corresponents al transport, on el desenvolupament d'aquesta xarxa pugui centrar-se en la màxima utilització de les estacions de servei d'hidrogen i amb una distribució geogràfica intel·ligent, amb l'objectiu, d'aconseguir un negoci econòmic viable. Per poder fer tot això ens ajudarem dels projectes que ja existeixen d'alemanya, H2-Mobility Germany i de H2-Mobility Belgium, i també tindrem present que a la regió de Tarragona una de les infraestructures principals i a on hi ha més empreses dedicades al transport és al Corredor Mediterrani i per aquest motiu també centraré especial atenció en poder crear un Corredor Mediterrani d'hidrogen.

8.1.- Introducció

Segons dades de l'Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT) i de la Direcció General de Tràfic (DGT), a la província de Tarragona tenim un total de 617732 automòbils dels quals un 62,75% són turismes, 387735. Com a tots els apartats anterior hem parlat de vehicles i d'aquets vehicles en especial atenció als turismes per aquesta raó aquets són per els quals plantejaré l'anàlisi inicial i després ja podrem fer una extrapolació a més vehicles. Amb les dues taules la 13 i 14, podem veure que les dues fonts ens indiquen que tenim 387735 cotxes al territori de Tarragona, on tampoc no tots van omplir el dipòsit al mateix dia i tampoc tothom no es mou amb cotxe encara que el tingui. A la segona taula aquestes dues fonts podem trobar la xarxa de carreteres existents a la província de Tarragona, on ens indiquen que hi ha un total de 2807,6km de carreteres.

Parc d'automòbils, 2016 (p)
Per tipus. Províncies

	Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona	Catalunya	Espanya	% Cat./Esp.
Turismes	2.437.180	392.868	218.488	387.735	3.436.271	22.876.830	15,0
Autobusos	6.086	1.116	503	1.116	8.821	61.838	14,3
Motocicletes (1)	598.837	86.312	29.402	68.013	782.564	3.211.474	24,4
Camions (2)	493.881	112.843	63.475	100.253	770.452	4.879.480	15,8
Tractors industrials	15.250	3.362	4.370	3.650	26.632	207.889	12,8
Ciclomotors	177.451	44.845	18.238	38.704	279.238	1.987.470	14,0
Altres (3)	93.240	17.929	17.422	18.261	146.852	869.009	16,9
Total	3.821.925	659.275	351.898	617.732	5.450.830	34.093.990	16,0

Font: Direcció General de Tràfic.

(1) Motocicletes, motocarros i cotxes de discapacitats.

(2) Camions i furgonetes.

(3) Inclou remolcs i semiremolcs.

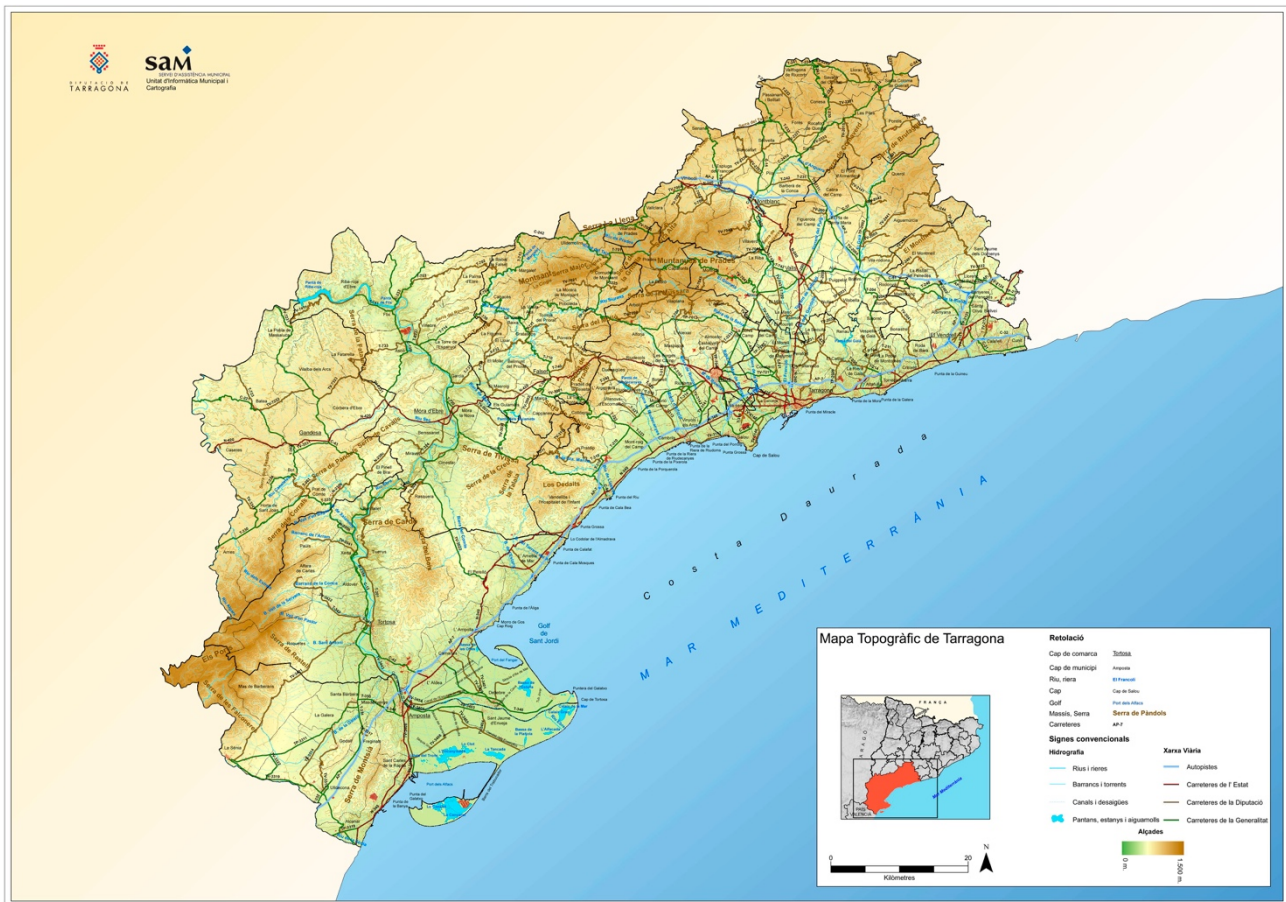
(p) Dades provisionals.

Taula 13. Parc d'automòbils de Catalunya (IDESCAT)

Xarxa viària, 2016 Per tipus de via. Províncies					
	Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona	Catalunya
Generalitat	2.080,7	1.239,1	1.556,7	1.131,4	6.007,9
autopistes de peatge (1)	159,4	0,0	0,0	10,6	170,0
autopistes lliures i autovies	287,9	90,0	28,4	23,1	429,3
carreteres de calçada doble	54,2	21,8	0,0	22,5	98,5
carreteres de calçada única	1.579,2	1.127,3	1.528,3	1.075,2	5.310,0
Estat	306,8	442,0	529,2	583,1	1.861,2
autopistes de peatge	111,8	99,8	60,6	190,0	462,2
autopistes lliures i autovies	142,5	38,4	116,2	88,7	385,9
carreteres de calçada doble	2,5	0,0	10,3	14,2	27,0
carreteres de calçada única	50,0	303,8	342,1	290,2	986,1
Diputacions	1.575,0	783,2	817,9	1.093,1	4.269,2
autopistes lliures i autovies	0,0	2,6	0,0	7,4	10,0
carreteres de calçada única	1.575,0	780,6	817,9	1.085,7	4.259,2
Total	3.962,5	2.464,4	2.903,8	2.807,6	12.138,4
autopistes de peatge	271,3	99,8	60,6	200,5	632,2
autopistes lliures i autovies	430,4	128,4	144,6	111,8	815,2
carreteres de calçada doble	56,7	24,4	10,3	44,1	135,6
carreteres de calçada única	3.204,2	2.211,8	2.688,3	2.451,1	10.555,4

Unitats: Quilòmetres.
Font: Departament de Territori i Sostenibilitat.
(1) S'hi inclouen les carreteres que són de peatge o depenen de les concessionàries.

Taula 14. Quilòmetres de carreteres a Catalunya (IDESCAT)



Gràfic 19. Mapa topogràfic de la província de Tarragona

Ara més detalladament anirem veient les provisions que nosaltres indiquem i com s'hauria de fer la xarxa de carreteres. Com hem parlat a l'apartat anterior i com hem pogut trobar totes les hidrogeneres existents només tenen capacitat per subministrar de 25-30 cotxes al dia, nosaltres escollirem la xifra favorable perquè aquets estudis són de l'any passat i en poc temps la tecnologia avança i molt probablement cada cop vagi a més. Així doncs escollirem que les hidrogeneres que instal·lem tinguin capacitat per 30 cotxes al dia, i també farem una previsió que de tots els cotxes existents al territori de Tarragona un 2,5% seran d'hidrogen i per tant serà necessari que vagi a les nostres estacions de servei, un total de 9693 cotxes. On d'aquest total considerarem unes previsions del 75% de cotxes per hidrogeneres ja que no existeix mai que en un dia el 100% dels cotxes vagin a omplir el dipòsit o agafin el cotxe, considerem, 7269 cotxes. Cal recordar que a l'apartat on parlàvem del vehicles d'hidrogen aquets només tenien una autonomia de 437km, per tant escollirem punts on les hidrogeneres no es separin més de 400km entre elles per així assegurar-nos que podem reposar l'hidrogen necessari per seguir amb el trajecte.

Total de cotxes hidrogen 2,5% (75%)	7.269 cotxes
Capacitat de les hidrogeneres	30 cotxes/dia
Hidrogeneres necessàries	243 hidrogeneres
Total de kg H ₂ necessaris ¹	47.248,5 kg/H ₂

¹Considerem que un cotxe pot omplir el dipòsit amb 6,5kg/H₂

Taula 15. Infraestructures per un 2,5% de cotxes d'hidrogen i previsions del 75%

Volem proposar una xarxa de infraestructures de com s'hauria d'organitzar el territori de Catalunya per poder tenir aquestes hidrogeneres i dels punts principals, distanciat cada un 400km entre ells, a on hauríem d'instal·lar aquest conjunt d'hidrogeneres. Per això la província de Tarragona ens va molt bé perquè no ens hem de preocupar per els 400km de distància que hi ha ja que els punts més distanciat entre ells són de Cunit a Ulldecona que són un total de 149km, per preocupar-nos d'aquesta limitació de l'autonomia dels quilometres hauríem de fer l'estudi a tota la península ibèrica o a un conjunts de comunitats autònomes on les distàncies es farien més grans.

Com em comentat abans agafarem els punts més necessitats d'estacions de serveis i ens centrarem amb el Corredor Mediterrani i el camp de Tarragona on hi ha un gran percentatge de totes les indústries de Tarragona. Però sense oblidar-nos de les altres parts del territori on també hi col·locarem hidrogeneres. Nosaltres hem considerat dividir el territori de Tarragona en cinc grans parts on el centre és la ciutat de Tarragona. Aquetes divisions seran cada 50km i així veure com s'enllacen totes les hidrogeneres i poder veure amb claredat com tot el territori queda proveït hi així poder tenir una xarxa d'hidrogeneres suficients per poder donar cabuda a la nostra previsió del 2,5% (amb un proveïment del 75% del total en un dia), de cotxes d'hidrogen del total que existeixen a la província. D'aquets 50km que te cada divisió també la centrarem amb deteniment a la ciutat de Tarragona on aquesta serà el nostre epicentre d'hidrogeneres i a on dedicarem més pes ja que hi ha una densitat de població molt en comparació tots els altres llocs. També l'altre densitat més gran que hi ha de població en aquesta zona és a la ciutat de Reus on també hi existeix un gran nombre d'indústries importants de Catalunya i a on també centrarem moltes hidrogeneres per així no haver d'anar fins a Tarragona a reposar hidrogen. Nosaltres hem previst fer una xarxa com indica a la taula 16:

Ciutat	Hidrogeneres (sortidors)	Capacitat de cotxes/dia
Tarragona	75	2.250
Reus	50	1.500
Cambrils - Salou	26	780
Ulldecona	25	750
Calafell	15	450
Valls - Montblanc	15	450
La bisbal del Penedès	15	450
Tortosa	6	180
Gandesa	6	180
Ascó	10	300
Total	243	7.269

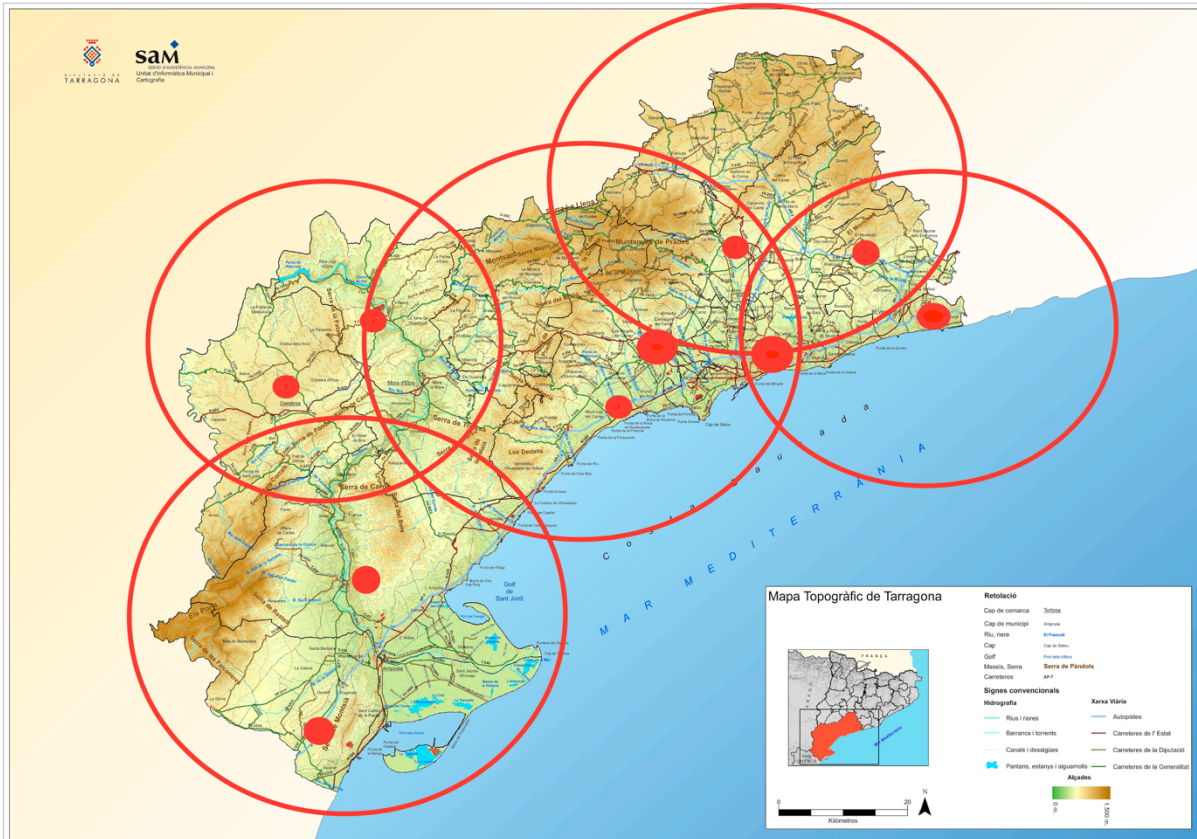
Taula 16. Distribució d'hidrogeneres al territori de Tarragona

Amb aquest recull de llocs a on instal·laríem les estacions de servei podem remarcar els diferents punts d'interès en la xarxa de carreteres:

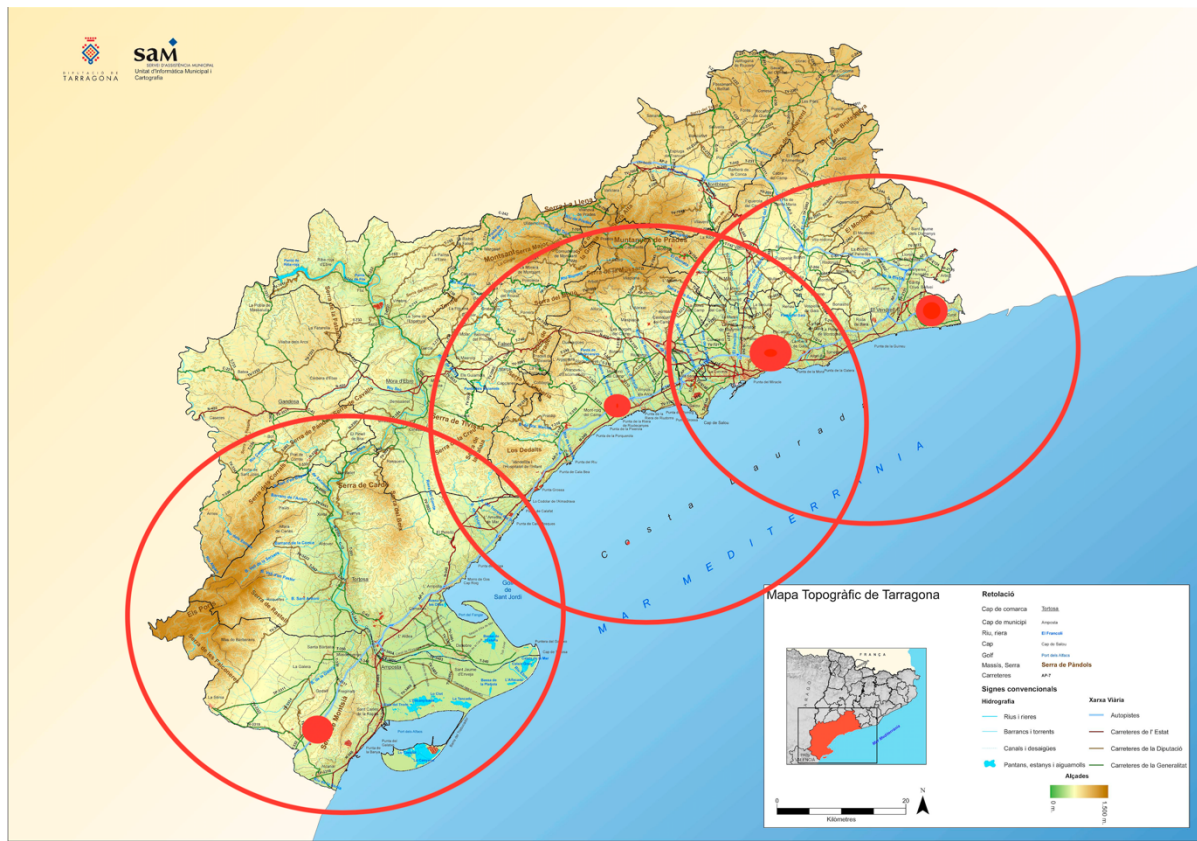
- Corredor Mediterrani:
 - Tarragona
 - Cambrils – Salou
 - Ulldecona
 - Calafell
- Comunicació Barcelona – Madrid
 - La Bisbal del Penedès
 - Valls-Montblanc
- Ciutats importants a nivell indústria i densitat de població
 - Reus
 - Ascó
 - Tortosa
 - Gandesa

Així doncs amb aquesta divisió del territori amb cinc zones, 50km entre elles, podem ressaltar aquestes tres grans xarxes on la més important el Corredor Mediterrani, després l'enllaç que vindria de França i va cap al centre de la península, on l'hem anomenat Barcelona-Madrid i per últim les grans ciutats del territori que ens quedarien i no podríem deixar sense subministrament encapçalada per Reus ja que és la més important que ens quedaria i com hem dit que té la segona densitat de població més gran del territori que analitzem. Em de

remarcar que la hidrogena formada per el Corredor Mediterrani, Cambrils-Salou, no seria necessària ja que amb la de Tarragona com està a 20km es podria anar allí, però creiem que es necessària ja que a l'estiu aquestes dues poblacions són les que reben més turisme de tot Tarragona i fins i tot de les poblacions més turístiques d'Espanya ja per turistes estrangers o per els mateixos espanyols que van a la platja, així que considerem necessària aquest parc d'hidrogenes en aquest punt estratègic per poder subministrar correctament a l'estiu tot l'hidrogen necessari.



Gràfic 20. Emplaçament de les hidrogenes a la província de Tarragona



Gràfic 21. Emplaçament de les hidrogeneres al Corredor Mediterrani

8.2.- Anàlisi Econòmic

Per poder crear tota aquesta xarxa de infraestructures es necessari un anàlisi econòmic al qual farem a partir de tot el parlat en els punts anteriors a aquest treball. Agafarem de partida que una hidrogenera subministra a 30 cotxes al dia i com hem vist al punt del vehicle d'hidrogen el cotxe que sortirà nou podrà omplir el dipòsit fins a 8,8kg/H₂, però això serà un cotxe d'alta gama, ara considerarem una mitjana entre tots els cotxes que esta entre 5-8kg/H₂ per dipòsit, i per tan agafarem de mitjana que un cotxe pot omplir el dipòsit 6,5kg/H₂. De tal manera necessitarem hidrogeneres que puguin tenir una capacitat de 500kg/dia com em vist amb anterioritat el preu que era necessari per crear aquesta instal·lació.

Hidrogeneres 500kg/dia	243
Cost instal·lació (€)	1.283.750
Total (€)	311.951.250

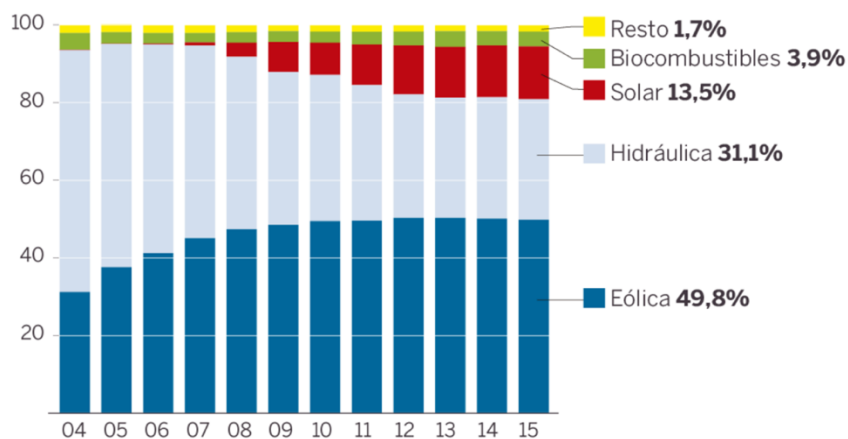
Taula 17. Cost de la instal·lació de les hidrogeneres

Aquest és el cost que hauríem de pagar per poder crear la xarxa de hidrogeneres en total més de 311 milions d'euros, només d'instal·lació de l'hidrogenera. Aquestes hidrogeneres com

hem vist estan proveïdes de 500kgH₂/dia, però considerarem com hem vist abans que necessitem un total de 47248,5kg/H₂ al dia, els necessaris per els cotxes que hem previst, i per tant tindriem amb compte varies maneres de fer l'anàlisi econòmic; primer que les hidrogeneres generessin a partir de electròlisis de l'aigua els quilograms necessaris per subministrar a tots els cotxes en un dia, o que les estacions generessin només 64kg/H₂ i ens proveïssin el necessari de quilograms H₂ a través de transport d'altres llocs a partir d'energies renovables com l'energia eòlica o l'energia fotovoltaica, o que el total es generés a partir de renovables i després es transportes. Cal recordar que en el primer car serà necessària una inversió extra perquè les hidrogeneres puguin crear hidrogen a través de la electròlisis de l'aigua, ja que només em calculat el cost de d'instal·lació de l'hidrogenera com si tot vingués per transport.

COMPOSICIÓN DE RENOVABLES EN EL SECTOR ELÉCTRICO

% del total



Gràfic 22. Composició de les energies renovables al sector elèctric

A Espanya sabem que hi ha un 13,5% del total de les elèctriques que és energia solar i un 49,8% que és energia eòlica. Això fa que si tenim un 100% de l'hidrogen que ens arriba a través de l'energia elèctrica de les dues, tenim un total de 78,67% que ens vindria a través d'energia eòlica i un 21,33% que ens arribaria de l'energia fotovoltaica i per tant calcularem els kgH₂ que creem a partir del percentatge que cada energia ens dona.

	Solar (21,33%)	Eòlica (78,67%)	Gas Natural (100%)
kgH ₂	10.078,1	37.170,4	47.248,5
€/kgH ₂	9-12 (10,5)*	7-9 (8)*	1-3 (2)*
€/kWh	0,04-0,07 (0,055)*	0,035-0,11 (0,073)*	0,043-0,051 (0,047)
Total €	105.820,1	297.363,2	94.497

* Agafem els preus mitjos per calcular el total

Taula 18. Cost de la producció d'hidrogen amb les diferents energies

Així doncs podem veure que el cost per generar tots els kgH₂ necessaris per proveir els vehicles de Tarragona si només fos a partir de renovables seria de 403.183,3€/dia. En canvi veiem que si la mateixa estació li arribés l'hidrogen a partir del reformat de gas natural el preu seria molt més baix d'uns 94497€/dia, on aquets diners serien el que haurien d'invertir les companyies d'electricitat per poder proveir i crear l'hidrogen. Però convé recordar que l'hidrogen que prové del gas natural té molt hidrocarburs i per tant genera molta contaminació i justament això era el que no volíem generar tot i ser el més econòmic no ens serveix.

Per poder generar i tenir els quilograms necessaris diaris hauríem de tenir una instal·lació d'hidrogenera que produís un total de 194,43kg/dia i per tant com havíem calculat anteriorment agafarem una hidrogenera que ens pugui produir 214kg/dia. Per tant hauríem de preveure una inversió extra a l'hidrogenera que tindria una amortització al cap de 20anys.

Hidrogeneres	243
Inversió per 214 kg/dia	1.321.000
Total	321.003.000
Amortització en 20 anys	16.050.150/any

Taula 19. Cost de la inversió addicional per hidrogeneres que generen hidrogen per electròlisis

Per tant veiem com la inversió a fer és molt gran, però tenint en compte els preus de venda de l'hidrogen venen depenent de l'energia que nosaltres utilitzarem per crear aquest hidrogen i nosaltres volem agafar energies renovables, doncs per això aquest preu de venda al consumidor vindrà depenent del cost d'aquesta energia. Així doncs poder crear l'energia a l'estació de servei la inversió inicial es molt gran ja que aquesta inversió per crear hidrogen se li ha de sumar la instal·lació de les hidrogeneres un total de 632954250€, uns 633milions d'euros.

Per poder donar més sentit al nostre treball farem unes hipòtesis dels preus que ens costaria implementar les tecnologies. Com hem vist el preu del gas natural és molt més baix amb comparació a les altres dues energies renovables, però el que ens interessa justament és que tot sigui renovable. Així doncs proposarem tres escenaris més de menys desfavorables a nivell mediambiental al més favorable, i calcularem l'impacte econòmic que suposaria crear aquesta energia en aquest moment. El primer cas com hem vist es el de 100% de electricitat vingui del gas natural, el segon cas seria que un 75%vingues del gas natural i un 25% de les renovables, després un 50% cadascuna i per últim que un 25% sigues subministrat per gas natural i un 75% per renovables, i el compararem amb que generéssim el 100% amb renovables com hem calculat anteriorment.

Tecnologia	1r Cas			2n Cas		
	75% GN ¹	25%R ²		50% GN	50%R	
		E ³ (78,67%)	S ⁴ (21,33%)		E(78,67%)	S(21,33%)
kgH2	35.436,4	9.292,6	2.519,5	23.624,3	18.585,2	5.039
Cost €	70.872,8	74.340,8	26.454,8	47.248,6	148.681,6	52.909,5
Cost Total €	171.668,4			248.839,7		

¹GN, Gas Natural

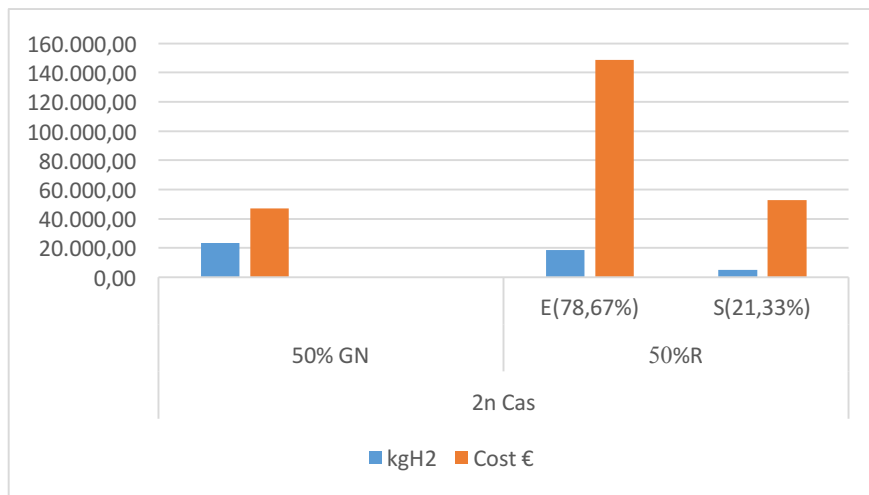
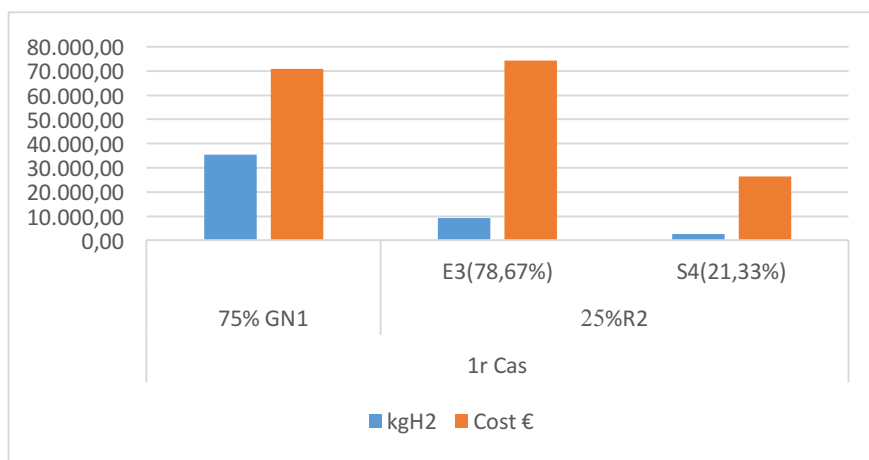
³E, energia eòlica

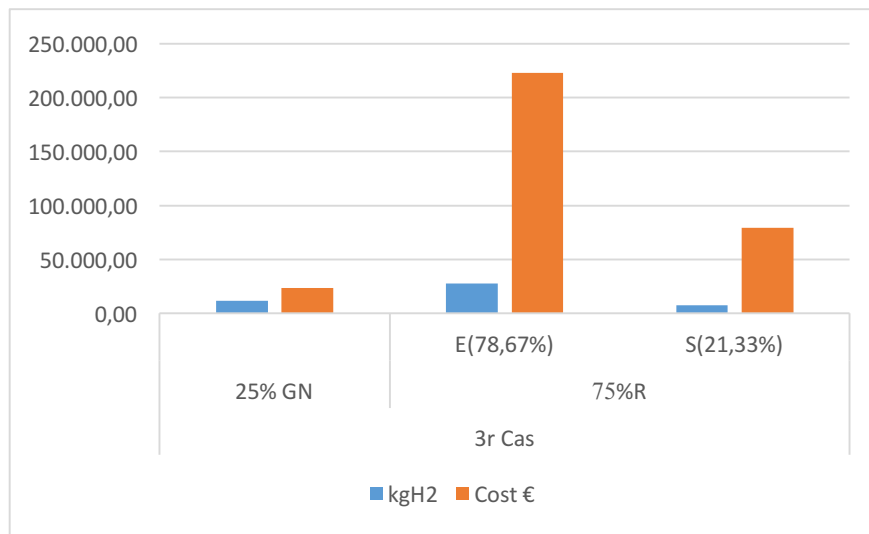
²R, Energies renovables

⁴S, energia solar

Tecnologia	3r Cas		
	25% GN	75%R	
		E(78,67%)	S(21,33%)
kgH2	11.812,2	27.877,8	7.558,5
Cost €	23.624,3	223.022,4	79.364,3
Cost Total €	326.011		

Taula 20. Cost de la producció d'hidrogen dependent el percentatge que tenim de cada energia





Com podem veure en la taula 20, el preu va augmentant considerablement a partir de anar utilitzant més percentatge d'energies renovables per produir la electricitat necessària per formar l'hidrogen, es sap que nosaltres el que volem és generar zero emissions de contaminants al medi ambient per tant la opció que escolliríem és la que tindríem un 100% d'energies renovables tot i saber que això econòmicament és el més complicat. També remarcar que tota l'energia que prové del gas natural és energia que té hidrocarburs, és a dir, que és contaminant, per això el que ens convindria més seria tenir el percentatge més petit d'energia que provingués del gas natural. I a part gràcies a tenir la nostra producció d'electricitat ja no dependríem de importar energia d'altres lloc, igual que Europa és un dels principals importadors d'energies, i així nosaltres no necessitaríem tenir aquesta dependència d'energia perquè utilitzaríem els nostres propis recursos.

Tecnologia	100% GN ¹	75% GN	50% GN	25% GN	0% GN
Total €	94.497	171.668,4	248.839,7	326.011	403.183,3

Taula 21. Cost de producció de l'hidrogen variant el percentatge d'energia de gas natural per 47.448,5kgH₂

9.- Conclusions

Després d'haver analitzat tots els aspectes que envolten l'hidrogen com a nou combustible terrestre, passant per una breu explicació sobre l'hidrogen, les seves propietats, la manera d'obtenir l'hidrogen fins a arribar al desenvolupament de la subministració d'aquest hidrogen als usuaris dels vehicles i sense oblidar-nos l'aspecte econòmic que suposaria la creació de totes aquestes infraestructures i la inversió necessària de les elèctriques per poder produir aquest hidrogen tot des de el punt de mínima contaminació en tota la creació del combustible, contaminació zero, podem arribar a les següents conclusions.

En primer lloc veiem que el model de cotxe d'hidrogen és un gran projecte a mig i llarg termini ja que tots els projectes van cada cop a millors resultats i el desenvolupament de la tecnologia avança molt i fa que cada cop els preus es puguin anar ajustant fins arribar a ser competitius amb els preus dels combustibles fòssils. També és una gran inversió ja que aquest model de vehicle no produeix contaminació i si fem que la manera de generar el combustible tampoc tingui contaminació arribaríem a un hipotètic cas on totes les empreses poden somiar que és el de tenir unes infraestructures i uns automòbils que no contaminen i bàsicament ens trauríem un problema del damunt en que la contaminació de les ciutats ja no seria causada per els automòbils.

En segon lloc podem veure com aquesta tecnologia ve molt marcada per les energies necessàries per crear l'hidrogen i depenent de la tecnologia que utilitzem els preus són molt fluctuants. És lògic que per començar a produir podríem agafar el preu més econòmic ja que notaríem una millora en la contaminació, i aquest preu seria formar hidrogen a partir de gas natural. Però no ens podem quedar aquí, cada cop hauríem d'anar agafant menys percentatge del gas natural i substituir-lo per energies renovables. A l'anàlisi econòmic que hem realitzat podem veure les diferències per optar per una tecnologia o una altre, i com és lògic per començar amb el 100% d'energia renovable seria una inversió massa gran, creiem que el s'hauria de fer es cada cop anar substituint el gas natural per les renovables.

En conclusió, tot i que ens trobem davant d'un projecte evidentment beneficiós pel conjunt de la població a nivell mundial, és cert que hi ha una manca de conscienciació respecte a la viabilitat real i futura d'utilitzar hidrogen com a combustible terrestre en comptes d'utilitzar els combustibles fòssils com a únic recurs al món de l'automobilística com s'està utilitzant avui en dia.

Encara que aquesta manca de conscienciació existeix, amb aquest treball hem aconseguit demostrar que no és només una aposta de futur sinó la solució a la sostenibilitat i a la no contaminació, que és tan important actualment per el conjunt de la població.

Bibliografía

1. ANGELO BASILE and T.NEJAT VEZIROGLU, *Compendium of Hydrogen Energy*, London: Woodhead Publishing, 2016
2. Auto Bild, *El Mercedes GLC tendrá variante fuel cell en 2017*. Consultat el 4 gener 2017
<<https://www.autobild.es/noticias/mercedes-glc-fuel-cell-273389>>
3. AUTOCAR, *Mercedes-benz GLC Fuel Cell to enter production following Frankfurt debut*. Consultat el 2 gener 2018.
<<https://www.autocar.co.uk/car-news/motor-shows-frankfurt-motor-show/mercedes-benz-glc-fuel-cell-enter-production-following>>
4. CORDIS, *Capacidad de los árboles de Navidad para mejorar las tecnologías de recarga de hidrogeno*. Consultat el 22 desembre 2017
<http://cordis.europa.eu/news/rcn/122221_es.html>
5. CORDIS, *European Commission*. Consultat el 27 desembre 2017
<http://cordis.europa.eu/docs/results/256/256653/final1ssh2s_final_report_v4_3_publicable_summary>
6. CORDIS, *Hidrogeno como posible opción para el almacenamiento de energia*. Consultat el 22 desembre 2017
<http://cordis.europa.eu/result/rcn/151251_es.html>
7. CORDIS, *Importaciones de hidrogeno procedente del extranjero*. Consultat el 22 desembre 2017
<http://cordis.europa.eu/news/rcn/28135_es.html>
8. CORDIS, *Mayor confianza en la Seguridad de las piles de combustible de hidrogeno*. Consultat el 22 desembre 2017
<http://cordis.europa.eu/news/rcn/122218_es.html>
9. CORDIS, *Sol y agua para producir hidrogeno*. Consultat el 22 desembre 2017
<http://www.cordis.europa.eu/result/rcn/92760_es.html>

10. Declaración de la renta, *Impuestos especiales*. Consultat el 23 desembre 2017
<<http://www.bolsamania.com/declaracion-impuestos-renta/impuestos-especiales/>>
11. Diario Motor, *Honda presenta su nueva estación solar de hidrogeno*. Consultat el 23 novembre 2017
<<https://www.diariomotor.com/2010/01/29/honda-presenta-su-nueva-estacion-solar-de-hidrogeno/>>
12. DT, *Digital Trends ES*. Consultat el 12 octubre 2017
<<https://es.digitaltrends.com/autos/mercedes-fuel-cell-frankfurt/>>
13. EC EUROPA, *Comisión Europea Estado de la Unión*. Consultat el 19 novembre 2017
<<https://ec.europa.eu/inea/en/ten-t/ten-t-projects/projects-by-country/multi-country/2013-eu-92077-s>>
14. EHA, *European Hydrogen and Fuel Cell Association*. Consultat el 2 gener 2018
<<http://www.h2euro.org>>
15. El Confidencial, *Un sistema espanyol que potencia las renovables y genera hidrogeno a presión*. Consultat el 24 desembre 2017
<https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2013-12-12/un-sistema-espanol-que-potencia-las-renovables-y-genera-hidrogeno-a-presion_65330/>
16. España, Ley Orgánica 37/1992, de 28 de diciembre, del Impuesto sobre el Valor Añadido. *Boletín Oficial del Estado*, 23 de desembre
<http://noticias.juridicas.com/base_datos/Fiscal/l37-1992.t5.html#a78>
17. España, Ley Orgánica 38/1992, de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales. *Boletín Oficial del Estado*, 23 de desembre 2017
<<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1992-28741>>
18. España, Ley Orgánica 24/2001, de 27 de diciembre, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social. *Boletín Oficial del Estado*, 23 de desembre
<<https://www.boe.es/boe/dias/2001/12/31/pdfs/A50493-50619.pdf>>
19. España, Ley Orgánica 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. *Boletín Oficial del Estado*, 23 de desembre
<<http://www.boe.es/boe/dias/2007/11/16/pdfs/A46962-46987.pdf>>



20. España, Real Decreto 1/1993, de 24 de septiembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley del Impuesto sobre Transmisiones Patrimoniales y Actos Jurídicos Documentados. *Boletín Oficial del Estado*, 23 de diciembre 2017
<<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1995-18266>>
21. España, Real Decreto 1165/1995, de 7 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Impuestos Especiales. *Boletín Oficial del Estado*, 23 de diciembre <2017
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1995-18266>>
22. EUR-LEX, *EUR-Lex Acces to European Union Law*. Consultat el 17 octubre 2017
<<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=LEGISSUM:l28186>>
23. FCH, *Fuel Cells and Hydrogen*. Consultat el 4 desembre 2017
<<http://www.fch.europa.eu>>
24. FORNYBAR, *En informasjonsressurs for fremtidens energisystemer*. Consultat el 29 desembre 2017
<<http://www.fornybar.no/prosjekteksempler/andre-teknologier/hydrogenveien-hynor/hydrogenveien-hynor>>
25. FRANO BARBIR (2013), *PEM Fuel Cells Theory and Practice*, London: Elsevier Inc
26. H2ME, *Hydrogen Mobility Europe*. Consultat el 17 octubre 2017
<<http://h2me.eu>>
27. H2Mobility, *Netinform*. Consultat el 2 gener 2018
<<https://www.netinform.net/h2/H2Mobility/Default.aspx>>
28. H2 MOBILITY BELGIUM, *Hydrogen Refuelling Infrastructure Belgium*, december 2015.
Consultat el 4 gener 2018
<<http://hit-2-corridors.eu/wp-content/uploads/2015/01/NIP-Belgium.pdf>>
29. H2Moves. *Hydrogen for moves*. Consultat el 2 novembre 2017
<<http://h2moves.eu/intro.html>>
30. H2STATIONS, *Ihr Mehrwert Service Portal*. Consultat el 12 desembre 2017
<<https://www.netinform.de/H2/H2Stations/Default.aspx>>

31. H2TOOLS, *Hydrogen Analysis Resource Center*. Consultat el 29 setembre 2017
<<https://h2tools.org/hyarc>>
32. HA, *Fundación para el desarrollo de las nuevas tecnologías del hidrogeno en Aragón*. Consultat el 2 gener 2018
<<http://hidrogenoaragon.org/en/projects/>>
33. HES, *Hydrogen Europe*. Consultat el 15 octubre 2017
<<http://hydrogeneurope.eu>>
34. HIT, *Hydrogen Infrastructure for Transport*. Consultat el 25 novembre 2017
<http://www.h2euro.org/wp-content/uploads/2014/10/HIT_SIP_Art-1_081014_final.pdf>
35. HIT-2-CORRIDORS, *Circumstances of the national plan for hydrogenization of road transport in*, November 2015. Consultat el 4 gener 2018
<<http://hit-2-corridors.eu/wp-content/uploads/2015/01/NIP-Poland.pdf>>
36. HIT-2-CORRIDORS, *Hit-2-Corridors*. Consultat el 4 gener 2018
<<http://hit-2-corridors.eu>>
37. HIT-2-CORRIDORS, *Hydrogen Infrastructure for Transport*, 9 December 2015, Brussels. Consultat el 4 gener 2018
<<http://www.hyer.eu/wp-content/uploads/2016/04/1.-Geert-Schaap-project-manager.pdf>>
38. HIT-2-CORRIDORS, *Pētījums Par Ūdeņraža Transporta Degvielas Uzpildes Infrastruktūras Ieviešānu Rīgas Reģionā*. Consultat el 4 gener 2018
<<http://hit-2-corridors.eu/wp-content/uploads/2015/01/Reginal-Plan-Riga.pdf>>
39. Honda Dreams, *La apuesta de Honda por la revolución energética*. Consultat el 11 desembre 2017
<<http://www.hondadreams.es/2015/12/11/hidrogeno-la-apuesta-de-honda-por-la-revolucion-energetica/>>
40. IES, *Instituto de Energía Solar*. Consultat el 3 gener 2018
<http://www.ies.upm.es/sfs/IES/IES-UPM/Portada/2017_01_17%20datos%20fotovoltaica%20en%20España.pdf>

41. Ingeniería Química, *Evaluación de los métodos de producción de hidrogeno*. Consultat el 15 novembre 2017
<<http://www.ingenieriaquimica.net/articulos/300-evaluacion-de-los-metodos-de-produccion-de-hidrogeno-a-partir-de-biomasa>>
42. ITM POWER, *Utility scale energy storage*. Consultat el 28 desembre 2017
<<http://www.itm-power.com>>
43. JAMES LARMINE & ANDREW DICKS 2013, *Fuel Cell Systems Explained*, London: Woodhead Publishing, 2013
44. Josua Eichman, *Economic Assessment o Hydrogen*. Consultat el 12 octubre 2017
<<https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/65856.pdf>>
45. Josua Eichman, *Hydrogen Energy Storage*. Consultat el 12 octubre 2017
<<https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/65386.pdf>>
46. LBTS, *Ludwing Bölkow Systemtechnik*. Consultat el 23 novembre 2017
<<http://www.lbst.de/>>
47. Martínez, R. Nuevos materiales para conversión y almacenamiento de energía: un paso hacia la economía del hidrógeno. *Tesi Doctoral*. *Universitat Autònoma de Madrid*, 2012
48. Mercedes Benz, *Modelo GLA*. Consultat el 3 novembre 2017
<https://www.mercedes-benz.es/passengercars/mercedes-benz-cars/models/glc/glc-suv/explore.html?csref=_sem_google_adw:GLC_model&ef_id=WINcCQAABDM3aRFC:20180108115449:s>
49. Mercedes Benz, *Tipo de vehiculos F-Cell*. Consultat el 3 novembre 2017
<<https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/vehicules/passenger-cars/glc/the-new-glc-f-cell/>>
50. MHPD, *Mobility with Hydrogen for Postal Delivery*. Consultat el 2 desembre 2017
<<http://mobyproject.eu/>>
51. Motor Pasión, *Chevrolet Colorado*. Consultat el 28 setembre 2017
<<https://www.motorpasion.com/chevrolet/chevrolet-colorado-zh2>>

52. Motor Pasión, *Mercedes-Benz GLC F-Cell*. Consultat el 23 desembre 2017.
<<https://www.motorpasion.com/mercedes/mercedes-benz-glc-f-cell-2018>>
53. NREL, *Biogas and Hydrogen Systems Assessment*. Consultat el 5 gener 2018
<<https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/63596.pdf>>
54. NREL, H2USA Modeling Overview Webinar. Consultat el 5 gener 2018
<<https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/64307.pdf>>
55. NREL, Hydrogen Financial Analysis Scenario Tool (H2FAST). Consultat el 5 gener 2018
<<https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/64138.pdf>>
56. NREL, Hydrogen Infrastructure. Consultat el 5 gener 2018
<<https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/61966.pdf>>
57. NREL, *Resource Assessment for Hydrogen Production*. Consultat el 5 gener 2017
<<https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/55626.pdf>>
58. Plant Physiology, *Plantphysiol*. Consultat el 29 setembre 2017
<<http://www.plantphysiol.org/content/163/3/1142>>
59. PLUG POWER, *Plug Power ProGen Fuel Cells*. Consultat el 2 gener 2017
<<http://www.plugpower.com/products/>>
60. Riis, T., Sandrock, G., Ulleberg, O., & Vie, P. J. (2006). *Hydrogen storage R&D: Priorities and gaps*.
61. Ruiz-Morales, J., Peña-Martinez, J., Marrero-Lopez, D., Perez-Coll, D., Nuñez-Coello, P. Ballesteros-Perez, B. (2006). Pilas de combustible. *Anales Real Sociedad Española de la Química*, 102 (3), 22-30.
62. SHHP, *Scandinavian Hydrogen Highway Partnership*. Consultat el 1 gener 2017
<<http://www.scandinavianhydrogen.org/>>
63. The Economist, *Fuel Prices*. Consultat el 1 gener 2018
<https://www.economist.com/blogs/dailychart/2011/02/fuel_prices>
64. The National Hydrogen Association. (2009). *The Energy Evolution: an analysis of alternative vehicles and fuels to 2100*.



65. US DRIVE, *Fuel Cell Technical Team Roadmap, June 2013*. Consultat el 22 de desembre 2017
<https://energy.gov/sites/prod/files/2014/02/f8/fctt_roadmap_june2013.pdf>
66. VATGAS, *Vätgas Sverige*. Consultat el 25 setembre 2017
<<http://www.vatgas.se/>>
67. Winter, C.-J. Into the hydrogen energy economy-milestones.
International Journal of Hydrogen Energy, 2005 , 30, 681-685.
68. Zhang, J. *PEM Fuel Cell Electrocatalysts and Catalyst Layers: Fundamentals and Applications*, 2008

Annex

Annex 1

Conversions que han sigut necessàries per calcular el preu de venda de les hidrogeneres americanes de \$/Gal per passar a \$/kg. S'ha utilitzat la densitat de l'hidrogen a 700bar i temperatura ambient, aquesta densitat és de 0,042kg/L

- Estació Fountain Valley: **8\$/Gal**

$$\frac{8\$}{\text{Gal}} \times \frac{1\text{Gal}}{3,79\text{L}} \times \frac{1\text{L}}{0,042\text{kgH}_2} = 50,25\$/\text{kgH}_2$$

- Estació Newport Beach: **4\$/Gal**

$$\frac{4\$}{\text{Gal}} \times \frac{1\text{Gal}}{3,79\text{L}} \times \frac{1\text{L}}{0,042\text{kgH}_2} = 25,12\$/\text{kgH}_2$$

- Estació West LA: **5,47\$/Gal**

$$\frac{15,47\$}{\text{Gal}} \times \frac{1\text{Gal}}{3,79\text{L}} \times \frac{1\text{L}}{0,042\text{kgH}_2} = 97,18\$/\text{kgH}_2$$

- Estació Emeryville: **2,90\$/Gal**

$$\frac{2,9\$}{\text{Gal}} \times \frac{1\text{Gal}}{3,79\text{L}} \times \frac{1\text{L}}{0,042\text{kgH}_2} = 18,22\$/\text{kgH}_2$$

Annex 2

Projectes de vehicles Fuel Cell fets per empreses de l'automoció. (Breakthrough Technologies Institute, 2014)

Les caselles amb el símbol (-) és que les dades no estan disponibles.

Casa	Model	Tipus	Combustible	Autonomia (km)	Potència (kW)	Fabricant de la pila	Any de fabricació
Chrysler Mercedes	Necar4	FC	H ₂ líquid	450	75	Ballard	1999
	Necar5	FC	Metanol	480	75	Ballard	2000
	F-Cell	FC	H ₂ comprimit	150	85	Ballard	2002
	Class A	FC	H ₂ comprimit	480	200	Ballard	2009
	Class B	FC	H ₂ comprimit	385	90	AFCC	2009
General Motors	FC EV1	FC	Metanol de reformat	480	-	GM	1998
	Precept	FC	H ₂ líquid	800	100	GM	2000
	HydroGen4	FC	H ₂ comprimit	320	73	GM	2008
Toyota	FCHV-3	FC	H ₂ líquid	300	90	Toyota	2001
	FCHV-4	FC	H ₂ comprimit	250	90	Toyota	2001
	FCHV-5	FC i combustió	H ₂ comprimit i gasolina	500	90	Toyota	2003
	FCV-R concept	FC i bateria	H ₂ comprimit	700	100	Toyota	2013
Honda	FCX-V1	FC i bateria	H ₂ líquid	177	60	Honda	1999
	FCX	FC	H ₂ comprimit	355	85	Honda	2002
	FCEV Concept	FC	H ₂ comprimit	480	100	Honda	2013

Casa	Model	Tipus	Combustible	Autonomia (km)	Potència (kW)	Fabricant de la pila	Any de fabricació
Hyundai	Santa Fe SUV	FC	H ₂ comprimit	400	75	UTC Fuel cells	2000
	Tucson	FC i bateria	H ₂ comprimit	300	80	UTC Fuel Cells	2004
	Intrado	FC i bateria	H ₂ comprimit	600	-	Hyundai	2014
Audi	A2	FC i Bateria híbrida	H ₂ comprimit	220	66	Audi	2004
	Q5 HFC	FC i Bateria híbrida	H ₂ comprimit	-	98	Audi	2010
BMW	Sèries 7	Combustió interna i pila auxiliar	Gasolina i H ₂ líquid	300	5	-	2000
	Sèrie 1	FC i Bateria híbrida	H ₂ comprimit	-	5	-	2009
Fiat	Seicento	FC i Bateria híbrida	H ₂ comprimit	-	7	Fiat	2001
	Panda	FC	H ₂ comprimit	200	60	Fiat	2003
	Seicento	FC i Bateria híbrida	H ₂ comprimit	140	7	Fiat	2007
Ford	Sedan P2000 HFC	FC	H ₂ comprimit	160	75	Ford Motor Company	1999
	Focus FCV	FC	H ₂ comprimit	160	85	Ford Motor Company	2000
	Advanced Focus FCV	FC i Bateria híbrida	H ₂ comprimit	290	85	Ford Motor Company	2002
Mazda	Demio	FC i bateria híbrida	Hidrogen en forma de metalhidrur	140	-	Mazda	1997

Premacy FC-EV	FC	Metanol	-	85	Mazda	2001
------------------	----	---------	---	----	-------	------

Casa	Model	Tipus	Combustible	Autonomia (km)	Potència (kW)	Fabricant de la pila	Any de fabricació
Mitsubishi	Spaceliner	FC i Bateria híbrida	Metanol	-	40	-	2001
	Grand FCV	FC i Bateria híbrida	H ₂ comprimit	150	68	Daimler- Ballard	2003
Peugeot	Peugeot Hydro-Gen	FC i Bateria híbrida	H ₂ Comprimit	300	30	-	2001
	H ₂ Origin delivery van	FC i Bateria híbrida	H ₂ Comprimit	300	10	-	2008
Renault	Laguna wagon	FC i Bateria híbrida	H ₂ líquid	400	30	Nuvera	1997
	Scenic FCV H ₂	FC i Bateria híbrida	-	240	90	Nissan	2008
Volkswagen	HyMotion 2	FC	H ₂ líquid	350	75	Ballard	2000
	HyPower	FC i capacitors híbrids	H ₂ comprimit	150	40	Paul Scherrer Institute	2002



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño