

Anàlisi Tècnic-Econòmic de la implementació de l'hidrogen com a combustible en el transport per carretera

Alumne: Oriol Hurtado Moncunill

Director: Carlos Sánchez Díaz

Curs: 2017-2018

Índex

- ▶ Objecte d'estudi
- ▶ Què és l'hidrogen i d'on l'obtenim
- ▶ Energies renovables
- ▶ Emmagatzematge
- ▶ Piles de combustible
- ▶ Situació actual del petroli
- ▶ Preu i impostos del petroli
- ▶ Estudi econòmic
- ▶ Implementació de l'estudi

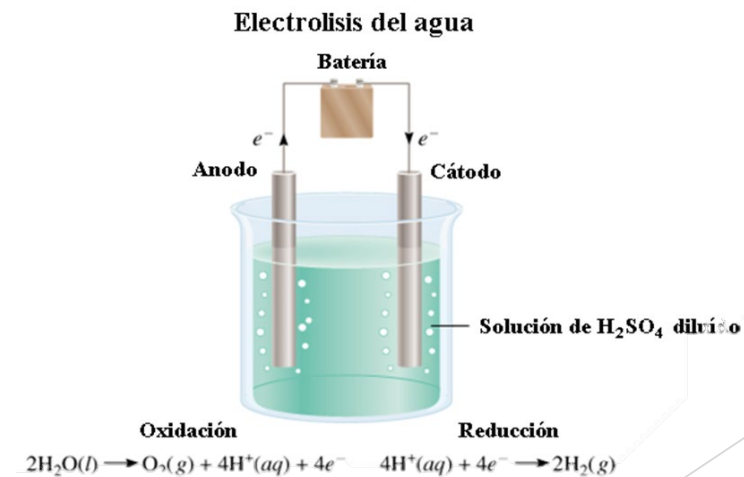
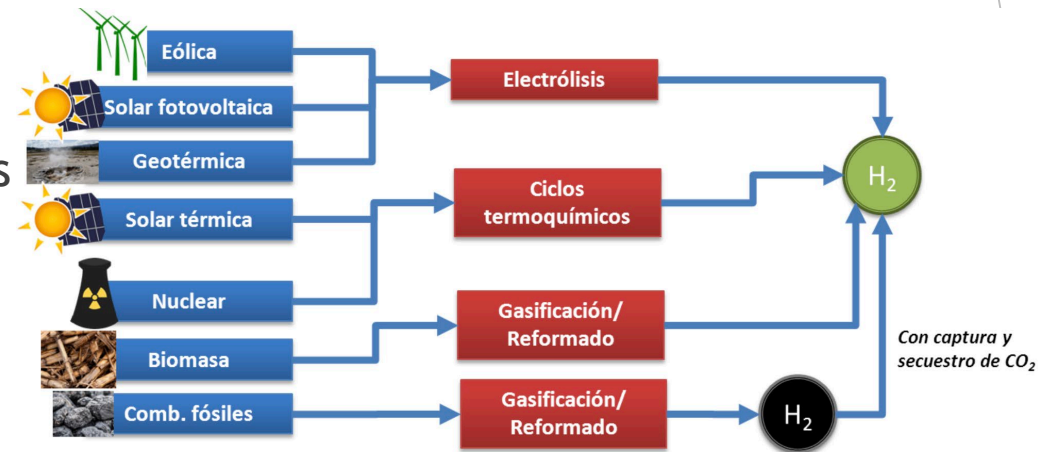
Objecte d'estudi

- ▶ Viabilitat econòmica i tècnica d'utilitzar l'hidrogen com a combustible
- ▶ Producció de l'hidrogen sigui sense hidrocarburs, sense contaminació
- ▶ Viabilitat de la construcció d'infraestructures per subministrar hidrogen

- ▶ Què és l'hidrogen i quines són les seves propietats
- ▶ Com produïm l'hidrogen i quines energies renovables podem utilitzar
- ▶ Emmagatzematge de l'hidrogen
- ▶ Piles de combustible existents en el mercat
- ▶ Situació actual del petroli
- ▶ Estudi econòmic-tècnic de l'hidrogen com a combustible
- ▶ Estudi de la construcció d'infraestructures per subministrar l'hidrogen

Què és l'hidrogen i d'on l'obtenim

- ▶ Un dels elements més abundants, però sempre lligat a altres elements
- ▶ Combinació més freqüent amb el carboni C (H_2O , CH_4 , NH_3)
- ▶ Avui l'obtenció prové el 90% de fonts d'energia fòssils (GN i Petroli)
- ▶ Existeixen 3 mètodes per obtenir-lo



Energies renovables

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

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

Fuente	CO ₂	NOX	SO ₂	PARTÍCULAS SOLIDAS EN SUSPENSIÓN	CO	HIDRO-CARBUR OS	RESIDUOS NUCLEARES	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

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

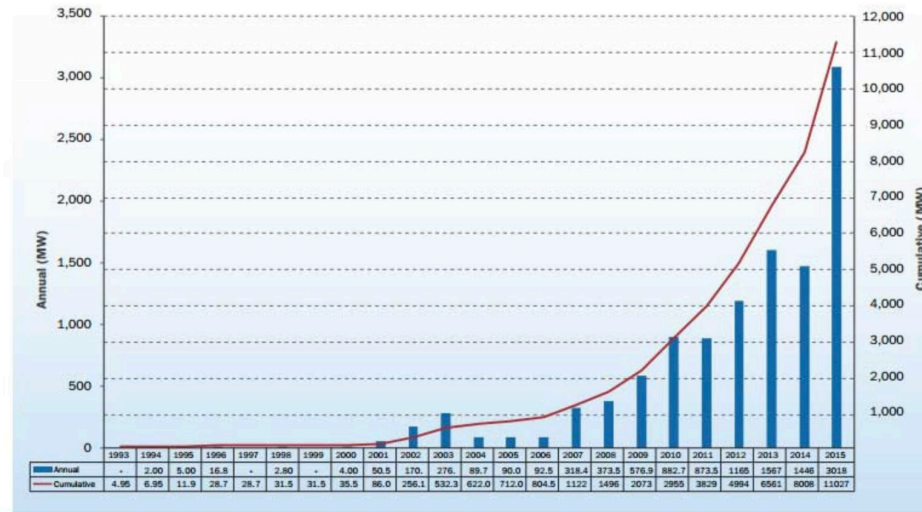
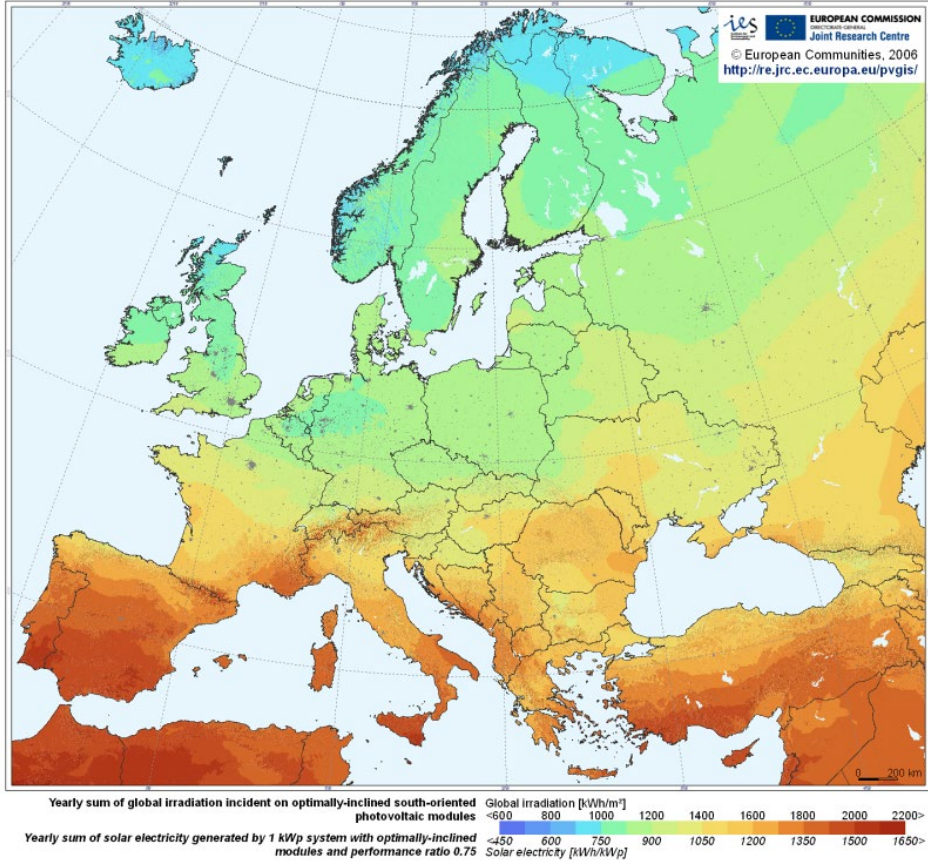


TABLE 3: NUMBER OF WIND FARMS WITH GRID-CONNECTED TURBINES, NO. OF TURBINES CONNECTED AND NO. OF MW FULLY CONNECTED TO THE GRID AT THE END OF 2015 PER COUNTRY.

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

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries

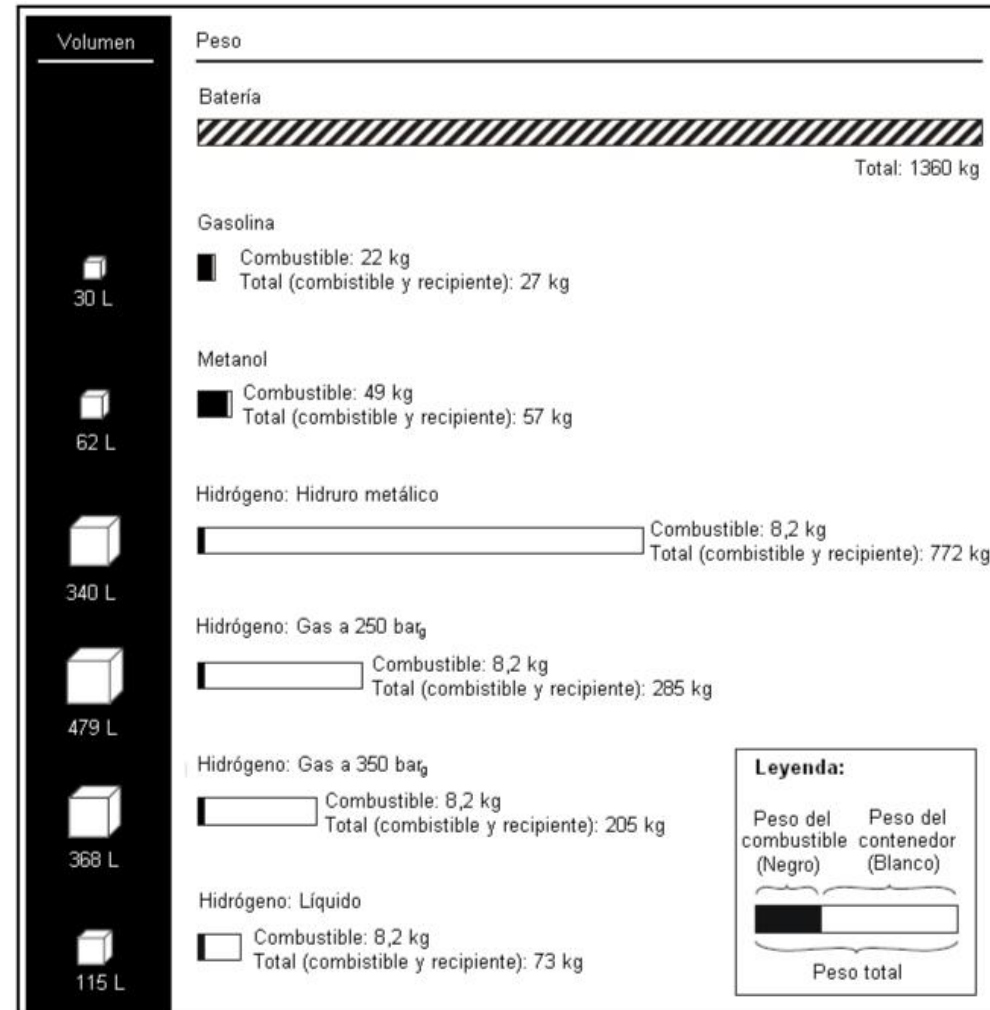


Potencia FV acumulada por habitante en 2014 (Wp/habitante)

Alemania	474,1
Italia	303,5
Bélgica	277,2
Grecia	236,8
Luxemburgo	200,1
Rep. Checa	196,1
Bulgaria	140,8
Malta	127,5
Eslovenia	124,2
Eslovaquia	109,0
Dinamarca	106,9
España	102,9
Austria	90,6
Francia	87,6
Reino Unido	81,3
Chipre	75,5
Holanda	65,4
Rumanía	64,8
Portugal	40,2
Lituania	23,1
Suecia	8,2
Croacia	8,1
Hungría	3,9
Finlandia	1,9
Letonia	0,8
Polonia	0,6
Irlanda	0,2
Estonia	0,1
Unión Europea	171,5

Emmagatzematge

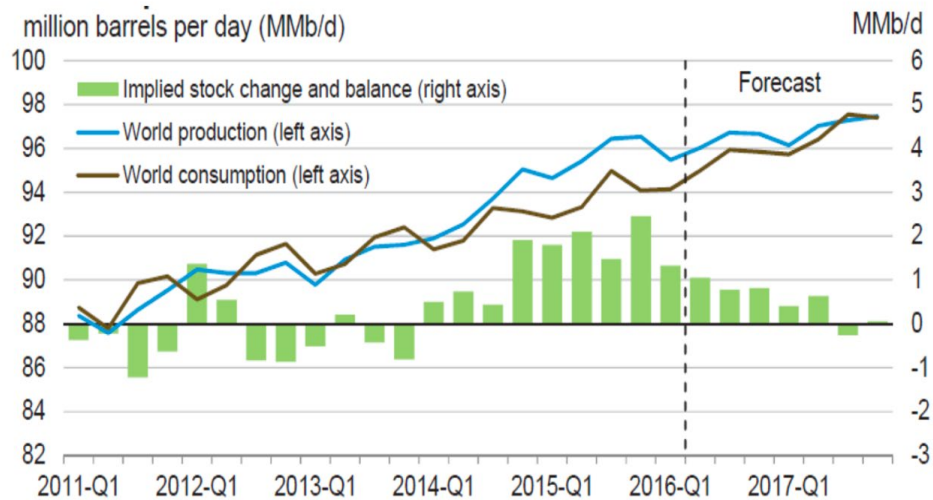
- ▶ Gas a alta pressió
- ▶ Líquid a temperatures criogèniques



Piles de combustible

	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.

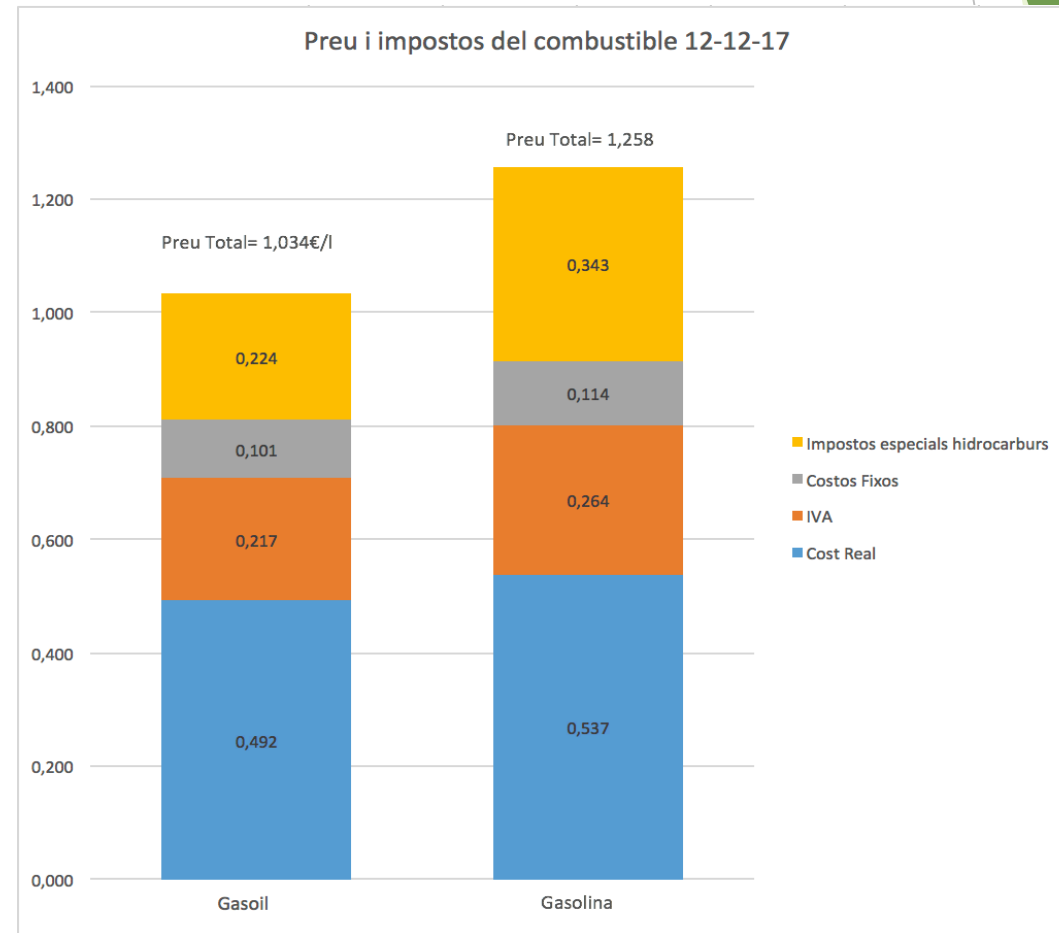
Situació actual del petroli



	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

- Preu i impostos del petroli

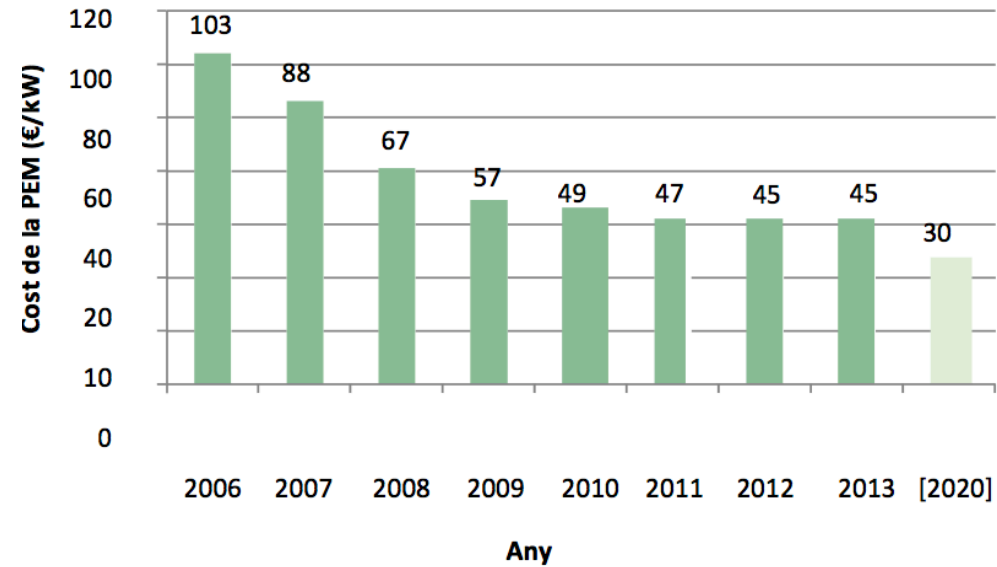
- ▶ Real Decret 1165/1995, 7 de juliol, por el que se aprueba el Reglamento de los Impuestos Especiales.
- ▶ Llei 38/1992, 28 de desembre, de Impuestos Especiales
- ▶ Llei 34/2007, 15 de novembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
- ▶ Llei 24/2001, 27 de desembre, de Medidas Fiscales,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



Estudi econòmic

- Pila de combustible

	1000 unitats (€)	10000 unitats (€)	500000 unitats (€)
Placa bipolar	1495	337	311
Elèctrode (inclòs platí)	7520	2160	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	9631€	2639€	1304€
Cost per kW	107,01€/kW	29,32€/kW	14,48€/kW



- Hidrogeneres

	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



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

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

Capacita (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





Vehicle d'hidrogen



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

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

	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€

Implementació de l'estudi

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

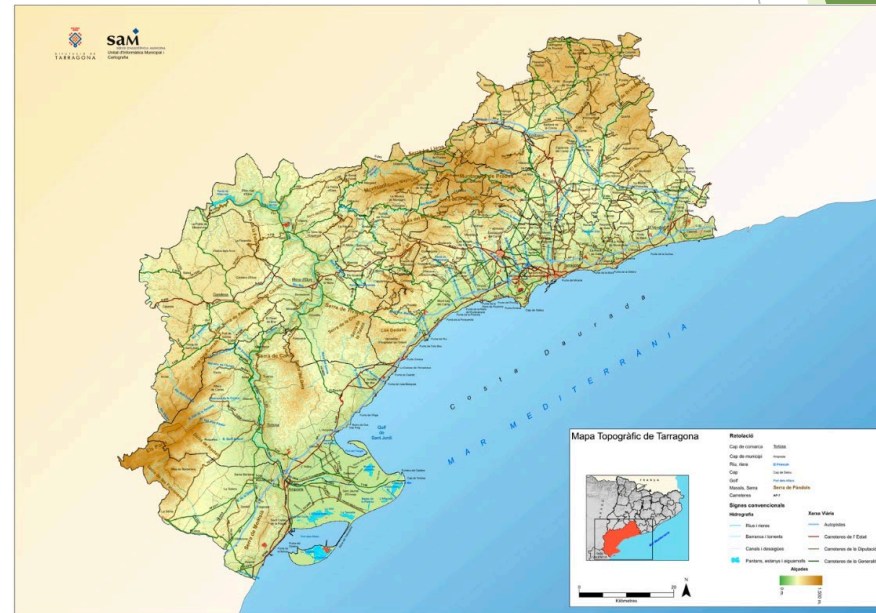
Font: Direcció General de Tràfic.

(1) Motocicletes, motocarros i cotxes de discapacitats.

(2) Camions i furgonetes.

(3) Inclou remolcs i semiremolcs.

(p) Dades provisionals.



Total de cotxes hidrogen 2,5% (75%)

7269 cotxes

Capacitat de les hidrogeneres

30 cotxes/dia

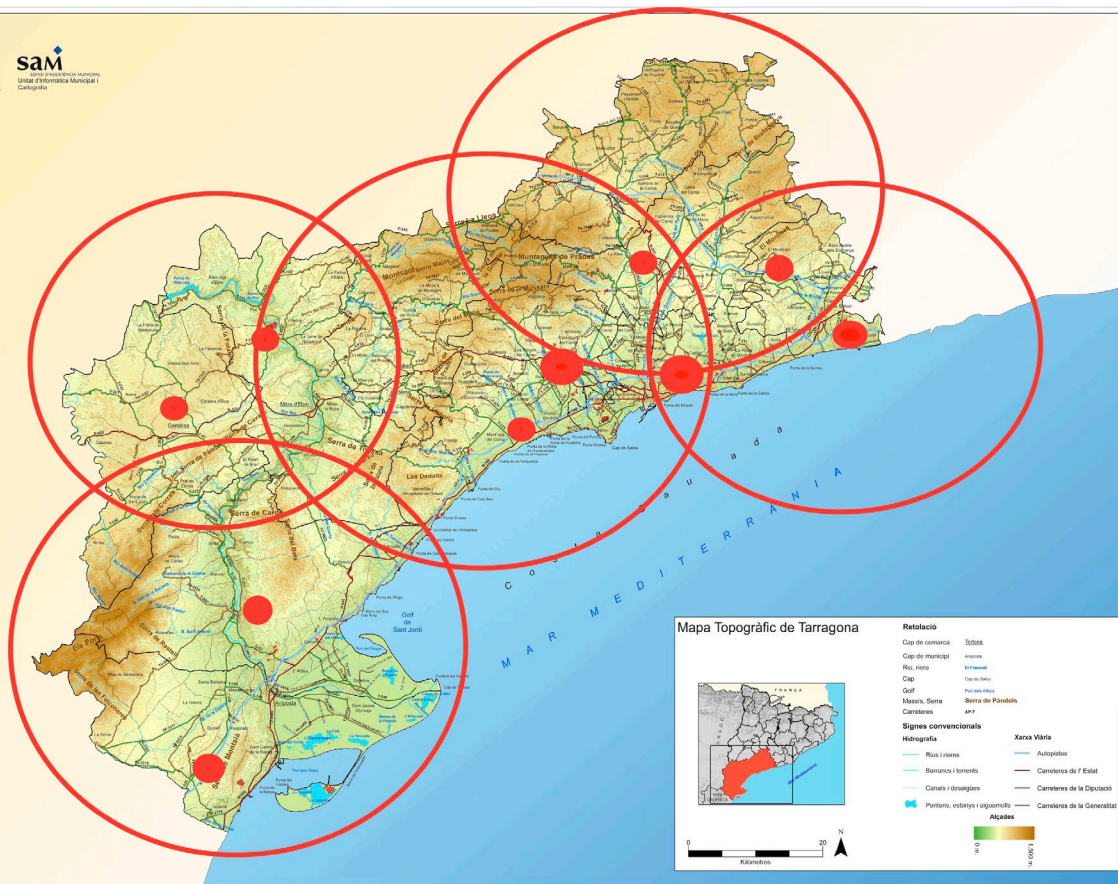
Hidrogeneres necessàries

243 hidrogeneres

Total de kg H₂ necessaris¹

47248,5 kg/H₂

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



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

Ciutat	Hidrogeners (sortidors)	Capacitat de cotxes/dia
Tarragona	75	2250
Reus	50	1500
Cambrils - Salou	26	780
Ulldesona	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	7269

- Cost d'instal·lar les hidrogeneres

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

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

- Cost de la producció d'hidrogen

COMPOSICIÓ DE RENOVABLES EN EL SECTOR ELÈCTRIC

% del total



	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

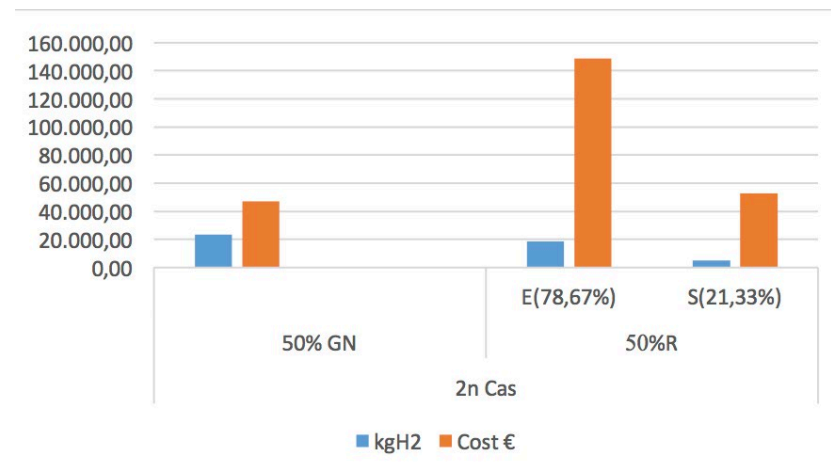
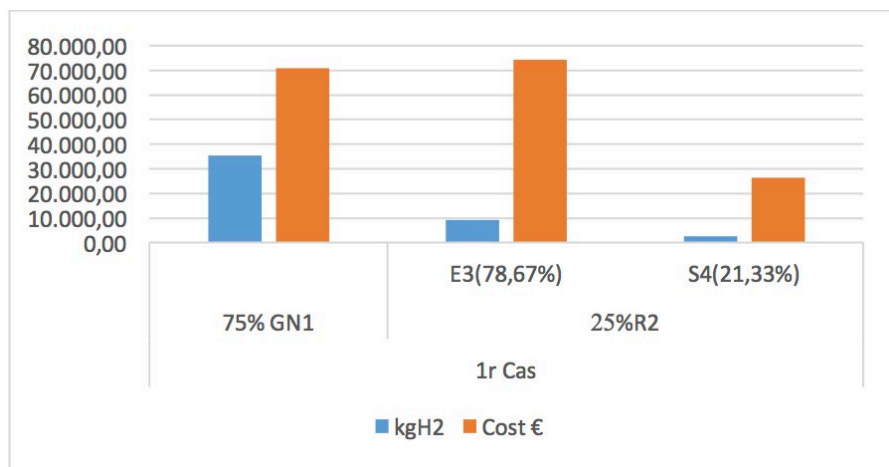
	1r Cas			2n Cas		
Tecnologia	75% GN ¹	25%R ²		50% GN	50%R	
		E ³ (78,67%)	S ⁴ (21,33%)		E(78,67%)	S(21,33%)
kgH2	35.436,4	9.292,6	2.519,5	23.624,3	18.585,2	5.039
Cost €	70.872,8	74.340,8	26.454,8	47.248,6	148.681,6	52.909,5
Cost Total €	171.668,4			248.839,7		

¹GN, Gas Natural

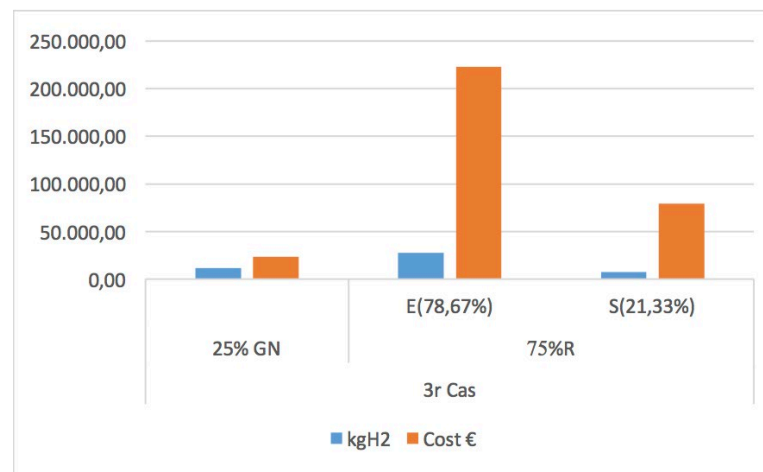
³E, energia eòlica

²R, Energies renovables

⁴S, energia solar



	3r Cas		
Tecnologia	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		



Tecnologia	100% GN ¹	75% GN	50% GN	25% GN	0% GN
Total €	94497	171668,4	248839,7	326011	403183,3

“

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)