

“Todos los científicos coinciden en observar que el clima está cambiando en todos los rincones del planeta a una escala sin precedentes. Algunos de esos cambios serán irreversibles por miles y cientos de miles de años. Solo una acción enérgica y duradera en la reducción de gases de efecto invernadero puede limitar su alcance”

Organizació de les Nacions Unides.

VEHÍCLES IMPULSATS PER ENERGIES ALTERNATIVES



ABSTRACT

Los combustibles fósiles cubren, a día de hoy, muchas de las necesidades humanas esenciales. Se ha demostrado, sin embargo, que esto no puede seguir demasiado tiempo así, de lo contrario los problemas medioambientales llevarán al planeta a un punto de no retorno. Por suerte, los sistemas de energía han evolucionado y ya se están buscando alternativas a los hidrocarburos. Este trabajo es una apuesta de futuro, que trata de aportar una alternativa sostenible a los sistemas de transporte actuales. Es importante desvincularse de la movilidad a través de los combustibles fósiles, para poder ver un futuro emergente impulsado por energías alternativas en nuestros vehículos. En este trabajo se han estudiado tres posibles vectores energéticos: el hidrógeno, la energía solar y el biogás.

Pero, ¿podemos confiar en estas energías? ¿son realmente aplicables al transporte? Por último, se han realizado tres prototipos de vehículos funcionales e impulsados por dichas energías, para acabar de corroborar su potencial y para impulsar un mundo comprometido con el medio ambiente.

Nowadays, fossil fuels cover many of the essential human needs. However, it has been shown that this cannot go on for too long, otherwise environmental problems will bring the planet to a point of no return. Fortunately, energy systems have evolved and alternatives to hydrocarbons are already being sought. This work is a bet on the future, which tries to provide a sustainable alternative to current mobility systems. It is important to disassociate ourselves from fossil fuel mobility in order to be able to see an evolving future powered by alternative energies in our vehicles. In this work, three possible energy vectors have been studied: hydrogen, solar energy and biogas.

However, can we trust these energies, and are they actually applicable to transport? Finally, three prototypes of functional vehicles powered by these energies have been created to confirm their potential, as well as to promote a world committed to the environment.

Índex

1. INTRODUCCIÓ	8
2. CANVI CLIMÀTIC.....	10
2.1. EFECTE HIVERNACLE I ESCALFAMENT GLOBAL	10
2.2. QUÈ ÉS EL CANVI CLIMÀTIC?.....	10
2.3. QUÈ EL PROVOCA?	10
2.3.1. CAUSES EXTERNES	11
2.3.2. CAUSES INTERNES.....	11
2.3.3. CAUSES ANTROPOGÈNIQUES.....	11
2.4. EFECTES.....	12
2.5. CONTAMINACIÓ I PETJADA ECOLÒGICA.....	12
3. DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE	15
3.1. MOVILITAT EN LA CIUTAT	16
3.2. ÚS ACTUAL DEL VEHICLE.....	16
3.2.1. HIPÒTESI INICIAL	17
3.2.2. RESULTATS DE LA INVESTIGACIÓ.....	17
4. HISTÒRIA DEL VEHICLE	19
4.1. CONTEXT HISTÒRIC.....	19
4.2. ANTECEDENTS DE L'AUTOMÒBIL	20
4.3. ORIGEN	20
4.3.1. ETAPA DE VAPOR.....	21
4.3.2. ETAPA DE PETROLI	21
4.3.3. ETAPA ELÈCTRICA	22
5. COMBUSTIBLES FÒSSILS	23
5.1. QUÈ SÓN?	23
5.2. ORIGEN	24
5.3. QUINS SÓN ELS COMBUSTIBLES FÒSSILS?.....	25
5.3.1. CARBÓ MINERAL O CARBÓ DE COC	25
5.3.2. GAS NATURAL.....	27
5.3.3. EL PETROLI.....	30
6. NOVES ENERGIES RESPECTUOSES AMB EL MEDI AMBIENT	33
6.1. QUINES SÓN I PER QUÈ HAN SORGIT?	33
6.2. BIOGÀS.....	34
6.2.1. HISTÒRIA DEL BIOGÀS.....	34
6.2.2. ORIGEN.....	35
6.2.3. PROPIETATS.....	35
6.2.4. OBTENCIÓ	36

6.2.5. APLICACIONS	36
6.3. ENERGIA SOLAR.....	37
6.3.1. ORIGEN I PROPIETATS.....	37
6.3.2. OBTENCIÓ I APLICACIÓ	37
6.4. L'HIDRÒGEN VERD.....	39
6.4.1. INTRODUCCIÓ.....	39
6.4.2. PRINCIPALS APLICACIONS DE L'HIDROGEN.....	39
6.4.3. PROCEDIMENTS ACTUALS PER A L'OBTENCIÓ D'HIDROGEN	40
6.4.4. ALTERNATIVES PER A LA PRODUCCIÓ D'HIDROGEN EN EL FUTUR	41
6.4.5. TIPUS D'HIDROGEN.....	41
7. MEMÒRIA TÈCNICA DEL COTXE D'HIDROGEN.....	44
7.1. DESCRIPCIÓ I ANÁLISI DEL PROBLEMA	44
7.2. RECERCA D'INFORMACIÓ	44
7.2.1. ESTUDI DE LA PILA DE COMBUSTIBLE.....	44
7.3. EXECUCIÓ I PLA DE TREBALL	53
7.3.1. DISSENY PREVI.....	53
7.3.2. MEMÒRIA DESCRIPTIVA.....	54
7.3.3. PLÀNOLS.....	58
7.3.4. PRESUPOST.....	59
7.3.5. CONSTRUCCIÓ	60
7.3.6. INCONVENIENTS A L'HORA DE FER FUNCIONAR LA PILA DE COMBUSTIBLE	63
7.4. RESULTATS	64
7.5. AVALUACIÓ	65
7.6. PROPOSTES DE MILLORA	66
8. MEMORIA TÈCNICA DEL PROJECTE DEL COTXE DE BIOGÀS	67
8.1. DESCRIPCIÓ I ANÁLISI DEL PROBLEMA	67
8.2. OBTENCIÓ DEL BIOGÀS.....	68
8.2.1. RECERCA D'INFORMACIÓ.....	68
8.2.2. EXECUCIÓ I PLA DE TREBALL	80
8.3. COTXE DE BIOGÀS	85
8.3.1. RECERCA D'INFORMACIÓ.....	85
8.3.2. EXECUCIÓ I PLA DE TREBALL	87
8.3.3. INCONVENIENTS I LIMITACIONS.....	87
8.4. RESULTAT.....	88
8.5. AVALUACIÓ	88
8.6. PROPOSTES DE MILLORA	89
9. MEMORIA TÈCNICA DEL COTXE SOLAR	90
9.1. DESCRIPCIÓ I ANÁLISI DEL PROBLEMA.....	90

9.2. RECERCA D'INFORMACIÓ	90
9.2.1. QUÈ SÓN LES CÈL·LULES SOLARS	90
9.2.2. L'EFECTE FOTOVOLTAIC	91
9.2.3. PRINCIPALS TIPUS DE CÈL·LULES SOLARS	91
9.2.4. AGRUPACIONS DE CÈL·LULES SOLARS	92
9.2.5. EL COTXE SOLAR I EXEMPLES	92
9.3. EXCECUCIÓ I PLA DE TREBALL	93
9.3.1. DISSENY PREVI	93
9.3.2. MEMÒRIA DESCRIPTIVA.....	93
9.3.3. PLÀNOLS DE LES PECES 3D	95
9.3.4. PRESUPOST.....	97
9.3.5. CONSTRUCCIÓ	97
9.4. RESULTATS	99
9.5. AVALUACIÓ	100
9.6. PROPOSTES DE MILLORA	100
10. CONCLUSIONS GENERALS I VALORACIÓ PERSONAL	101
11. BIBLIOGRAFIA.....	104
11.1. COMBUSTIBLES FÒSSILS	104
11.2. CARBÓ.....	104
11.3. GAS NATURAL	105
11.4. PETROLI.....	105
11.5. HISTÒRIA DE L'AUTOMÒBIL.....	105
11.6. COMBUSTIBLE A L'AUTOMOCIÓ	106
11.7. CANVI CLIMÀTIC	106
11.8. BIOGÀS.....	106
11.9. ENERGIA SOLAR.....	107
11.10. PILA DE COMBUSTIBLE I HIDROGEN VERD	107
11.11. PLA DE TREBALL (PASSOS DEL PROJECTE TECNOLÒGIC)	108
12. ANNEX	109
12.1. ANNEX 1: ENQUESTA SOBRE L'ÚS DEL VEHÍCLE.....	109
12.2. ANNEX 2: PLA DE TREBALL DEL PROJECTE TECNOLÒGIC DEL COTXE D'HIDROGEN	114
12.3. ANNEX 3: PLA DE TREBALL DEL PROJECTE TECNOLÒGIC DEL BIODIGESTOR	117
12.4. ANNEX 4: PLA DE TREBALL DEL PROJECTE TECNOLÒGIC DEL COTXE SOLAR	118
12.5. ANNEX 5: VISITA DE L'INSTITUT CATALÀ D'INVESTIGACIÓ QUÍMICA I QUEDADA AMB JOSEP RAMON GALAN-MASCAROS I LAURA HERNÁNDEZ EGUÍA.	119
12.6. ANNEX 6: RECULL D'ARTICLES RELACIONATS	120

1. INTRODUCCIÓ

Sovint sento dir a la gent que m'envolta: "quin temps més boig", "mai havíem vist res semblant", "la temperatura global continua augmentant", "les inundacions són cada vegada més habituals"... I és cert, darrerament el temps atmosfèric és molt canviant i el canvi climàtic comença a ser una obvietat a la qual hauríem de donar molta més importància.

A nivell global, la lluita contra el canvi climàtic s'ha convertit en una de les principals preocupacions socials i econòmiques. Els bruscos canvis meteorològics, l'aparició de noves malalties, la desaparició de glaceres, la desforestació i la destrucció de biodiversitat són alguns dels problemes que estem afrontant i que justifiquen polítiques mediambientals més serioses i rigoroses. El canvi climàtic està trucant a la porta i és necessària una actuació immediata i consensuada per a evitar que la crisi climàtica derivi en una crisi econòmica i social sense precedents.



Il·lustració 1. Imatges impactats relacionades amb el canvi climàtic. Font: National Geographic

D'altra banda, a les acaballes del mes de febrer de l'any 2022, després de l'esclat de la invasió a Ucraïna el preu del carburant va augmentar en un 34%, anant de 1'40 euros el litre fins arribar als dos euros per litre.

Aquests pensaments em van encaminar a voler investigar amb més profunditat aquests aspectes i realitzar el següent:

- a) Investigació quantitativa, amb uns 1000 participants, per tal de conèixer com algunes persones fan ús del vehicle , la seva preocupació sobre el paper del vehicle al canvi climàtic, l'ús del transport públic i la disposició al canvi a un vehicle sostenible, entre d'altres.
- b) Investigació teòrica sobre el paper del sector del transport en la crisi mediambiental, els combustibles fòssils i noves alternatives als mateixos.
- c) Proposta de tres prototips de vehicles amb característiques similars, que funcionin amb energies alternatives i fer un anàlisi de les seves propietats.

PART TEÒRICA

2. CANVI CLIMÀTIC

El següent apartat dóna una vista general de la situació mediambiental actual del planeta. Per què és necessari buscar nous vectors energètics més sostenibles que els que tenim ara? La resposta és clara, perquè el planeta Terra ho necessita i l'actual model de vida és insostenible pel medi ambient, pel que cal fer una acció a escala global. A continuació es tractaran temes tan interessants com l'efecte hivernacle i l'escalfament global. A més de les conseqüències que comporten, és a dir, el canvi climàtic. S'esmentaran les tres causes principals que el provoquen: causes antropogèniques, causes externes i causes internes. Per finalitzar, es farà referència a un terme molt actual que reflecteix l'impacte mediambiental de les nostres accions, un terme que tracta de conscienciar-nos amb el planeta: la petjada ecològica i la petjada de carboni.

2.1. EFECTE HIVERNACLE I ESCALFAMENT GLOBAL

L'efecte hivernacle és una característica essencial del nostre planeta que ha permès la vida a la Terra durant mil·lennis. L'atmosfera, una fina capa gasosa que embolcalla la Terra, permet que penetri una part de la radiació emesa pel Sol i esclafi el planeta. Aquesta capa conté gasos; principalment diòxid de carboni, que absorbeix una part d'aquesta energia rebuda, mantenint la temperatura del planeta.

Aquests gasos amb capacitat per absorbir la calor es denominen gasos d'efecte hivernacle (GEH). Si aquests gasos augmenten en quantitat, la seva capacitat per retenir la radiació solar incrementa, amb el consegüent augment de la temperatura mitjana del planeta. Aquest increment dels GEH suposa la causa més important de l'escalfament global, del qual deriva el canvi climàtic.

2.2. QUÈ ÉS EL CANVI CLIMÀTIC?

Per entendre què és el canvi climàtic primer cal parlar del clima. El clima és l'estadística del temps atmosfèric. Es mesura en avaluar els patrons de variació en temperatura, humitat, pressió atmosfèrica, vent, precipitació i altres variables meteorològiques en una regió donada sobre períodes llargs de temps. El període habitual per fer la mitjana d'aquestes variables és de trenta anys, segons el defineix l'Organització Meteorològica Mundial.

Per tant, el canvi climàtic és la variació global del clima de la Terra. Des dels inicis del planeta Terra han existit diferents canvis en el clima, però aquests canvis han estat per fets naturals com en el cas dels paràmetres orbitals de la Terra, l'impacte de meteorits o canvis en la circulació oceànica. Actualment, hi ha evidències registrades, que indiquen que hi ha un canvi del clima, però que aquesta vegada l'acció de l'ésser humà n'és la responsable, a causa de la crema d'una gran quantitat de combustibles fòssils i els gasos que aquesta crema produeix.

2.3. QUÈ EL PROVOCA?

El canvi climàtic crea canvis en l'emissió de radiacions solars, en la composició de l'atmosfera, en la disposició dels continents, en els corrents marins i en l'òrbita de la Terra, la qual cosa pot modificar la distribució d'energia i l'equilibri tèrmic, alterant així el clima quan es tracta de processos de llarga durada. Aquestes influències es poden classificar en externes, internes i antropogèniques.

2.3.1. CAUSES EXTERNES

Les causes externes, que també reben el nom de forçaments, normalment actuen de manera sistemàtica sobre el clima, tot i que també n'hi ha d'aleatòries com és el cas dels impactes de meteorits. Es poden destacar les següents:

- Irradiació o intensitat solar: les variacions en el camp magnètic solar i, per tant, en les emissions de vent solar fluctuen periòdicament i són importants, ja que la interacció de l'alta atmosfera terrestre amb les partícules provinents del Sol pot generar reaccions químiques que modifiquen la composició de l'aire i dels núvols així com la formació d'aquestes.
- Variacions orbitals: això provoca que la radiació que rep cada hemisferi oscil·li al llarg del temps, i aquestes variacions provoquen els anomenats períodes glacials i interglacials.
- Impactes de meteorits de grans dimensions: es produeix rarament.

2.3.2. CAUSES INTERNES

En les causes internes es troben una majoria de factors no sistemàtics o caòtics.

- La deriva continental: és un procés summament lent, de manera que la posició dels continents fixa el comportament del clima durant milions d'anys.
- Atmosfera terrestre: l'atmosfera ha anat canviant al llarg del temps i això ha suposat variacions en el clima.
- Els corrents oceànics: els corrents oceànics, o marins, són factors reguladors del clima que actuen com a moderador escalfant o refredant les regions per les quals passen.
- Camp magnètic terrestre: les variacions en el camp magnètic terrestre poden afectar-lo de manera indirecta. Aquests successos influeixen en l'arribada del vent solar a l'atmosfera terrestre.
- Masses de gel: Un augment de la massa gelada incrementa la reflexió de la radiació directa i, per tant, amplifica el refredament. D'altra banda, un planeta sense casquets polars permet una millor circulació dels corrents marins, sobretot a l'hemisferi nord, i disminueix la diferència de temperatura entre l'equador i els Pols.
- Erupcions volcàniques: Els aerosols emesos durant les erupcions volcàniques afecten els balanços de radiació en l'estratosfera, la troposfera i la superfície de la Terra. Aquests aerosols tenen la capacitat de reflectir la llum solar i absorbir tant la radiació d'ona curta com la d'ona llarga. En el primer cas es produeix refredament i en el segon escalfament.

2.3.3. CAUSES ANTROPOGÈNIQUES

Existeix una evidència científica aclaparadora de que els importants canvis climàtics que s'estan produint en l'actualitat es deuen a les conseqüències de la espècie humana habitant la Terra i el seu estil de vida. Encara que les causes naturals abans esmentades poden ajudar a explicar les variacions històriques del clima, aquestes no poden donar compte del dràstic escalfament que la Terra ha experimentat des de la dècada de 1950. El Grup Intergovernamental d'Experts sobre el canvi climàtic, l'IPCC, ha publicat cinc informes que confirmen l'evidència dels canvis en el clima i la correlació directa amb l'activitat humana a causa, fonamentalment, de les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH).

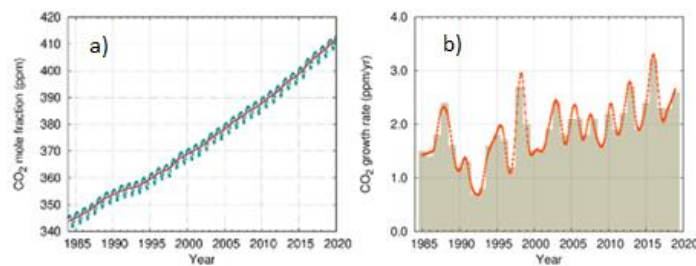
Els científics consideren que un augment de 2 °C respecte a la temperatura de l'era preindustrial és el límit més enllà del qual hi ha un risc molt més gran que es produeixin canvis perillosos i catastròfics per al medi ambient global.

2.4. EFECTES

Des de fa anys, s'ha estat emetent una gran quantitat de gasos d'efecte hivernacle que se n'han anat acumulant a l'atmosfera, procedents principalment de la indústria, els transports i els nostres consums energètics. Els principals GEI són sis: Diòxid de Carboni (CO_2), metà (CH_4), Òxid Nítric (N_2O), hidrofluorcarburs (HFC), perfluorcarburs (PFC), hexafluorur de sofre (SF_6).

Alguns d'aquests gasos tenen un origen natural, encara que la seva producció s'ha vist augmentada per l'activitat humana, mentre que d'altres, agrupats dins dels gasos fluorats són originaris de la indústria. L'origen d'aquests és el següent:

- **Diòxid de carboni (CO_2):** El CO_2 és el GEI antropogènic més abundant en l'atmosfera, i contribueix en aproximadament un 66% al forçament radiatiu¹ ocasionat pels GEI de llarga durada. Principalment, prové de la respiració d'animals, plantes i altres microorganismes. També s'originen d'altres maneres, com per exemple als incendis forestals. No obstant això, l'ésser humà ha incrementat exponencialment les seves emissions a l'atmosfera, principalment, a través de l'ús de combustibles fòssils com a font d'energia.



Il·lustració 2. Gràfics que mostren la mitjana mundial de la fracció molar del CO_2 . La imatge a) mostra la taxa d'augment. La imatge b) mostra l'evolució des de 1984 fins a l'any 2019. Font: OMM

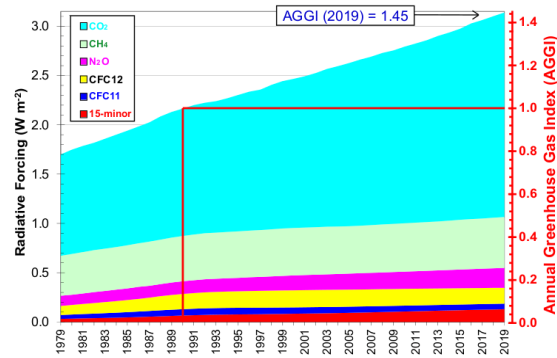
- **Metà (CH_4):** El seu origen natural està principalment en la ramaderia, els aiguamolls i els volcans. No obstant, la seva concentració s'ha vist incrementada per la extracció i ús del gas natural.
- **Òxid Nítric (N_2O):** S'origina de forma natural, en els processos de descomposició de la matèria orgànica o també per la crema de combustibles fòssils.
- **Gasos Fluorats:** Aquests no tenen origen natural. S'utilitzen com a refrigerants, dissolvents, fabricació d'espumes aïllants, aïllants elèctrics agents extintors d'incendis.

2.5. CONTAMINACIÓ I PETJADA ECOLÒGICA

L'ésser humà va començar a generar un gran impacte al medi ambient arran de la revolució industrial, a mitjans del segle XVIII. Des d'aquest moment, l'emissió de GEH ha anat en augment i per motius com aquests es van fundar organitzacions com la Organització Meteorològica Mundial (OMM). L'OMM va informar al seu més recent butlletí sobre l'abundància atmosfèrica i la taxa de variació dels principals GEH de llarga durada (CO_2 , CH_4 i N_2O). El CO_2 , el CH_4 i el N_2O , juntament amb el CFC-12 i el CFC-11, són els responsables d'aproximadament el 96'4% del forçament radiatiu que té lloc al planeta Terra.

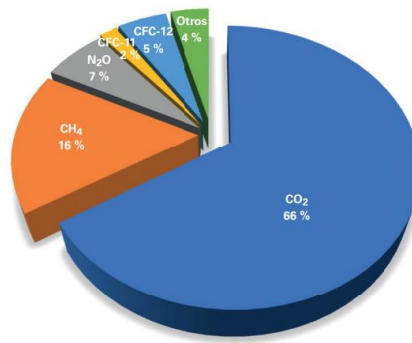
¹ El forçament radiatiu és la diferència entre la insolació (llum solar) absorbida per la Terra i l'energia irradiada de tornada a l'espai. El forçament radiatiu és positiu quan la Terra rep més energia de la llum solar que la que irradia a l'espai. Aquest guany net d'energia causarà escalfament. Per contra, el forçament radiatiu negatiu significa que la Terra perd més energia a l'espai de la qual rep del sol, la qual cosa produeix refredament.

VEHÍCLES IMPULSATS PER ENERGIES ALTERNATIVES



Il·lustració 3. Forçament radiatiu de l'atmosfera a causa dels gasos d'efecte d'hivernacle de llarga durada, respecte de 1750 (època preindustrial). Font: OMM

De tots els gasos d'efecte d'hivernacle de llarga durada fruit de les activitats humanes, el CO₂ és el que més abunda en l'atmosfera, i és el responsable d'aproximadament dos terços del forçament radiatiu. Durant els últims 10 anys, aproximadament un 44% del CO₂ ha romàs en l'atmosfera, mentre que el 23% ha estat absorbit pels oceans, el 29% per la terra i el 4% restant es desconeix.



Il·lustració 4. Contribució dels gasos d'efecte hivernacle més importants al canvi climàtic. Font: OMM

La petjada ecològica és un indicador que mesura les hectàrees globals que requereix l'espècie humana per produir tots els recursos que consumeix i absorbir els residus que genera. És una metodologia que tracta de generar més consciència ambiental, mesurar l'impacte de les activitats humanes, les emissions i els residus sobre el medi ambient. Aquest terme dóna visibilitat a l'espai del planeta Terra que utilitzen els humans de manera directa o indirecta. I és que la globalització actual del consum comporta un gran deteriorament del medi que moltes vegades no es té en compte.

Només disposem d'un planeta i cal recordar que els seus recursos són limitats i necessiten temps per regenerar-se. La velocitat de desenvolupament actual és excessiva i és per això que actualment s'està consumint matèries primeres que no disposarà el planeta del futur. És aquí on recau la importància de la petjada ecològica, ja que marca el camí que no cal seguir.

Com s'ha vist anteriorment, el CO₂ és el gas d'efecte hivernacle més abundant, és per això que existeix una variant de la petjada ecològica coneguda com petjada de carboni. La petjada de carboni mesura l'àrea de bosc que es requereix per absorbir totes les emissions de carboni de l'activitat humana, encara que també es pot mesurar en tones de diòxid de carboni. La petjada de carboni constitueix el 60% de la petjada ecològica. I està directament relacionada amb els altres components de la petjada ecològica: terres de conreu, aigua, pastures, boscos i infraestructures.

VEHÍCLES IMPULSATS PER ENERGIES ALTERNATIVES

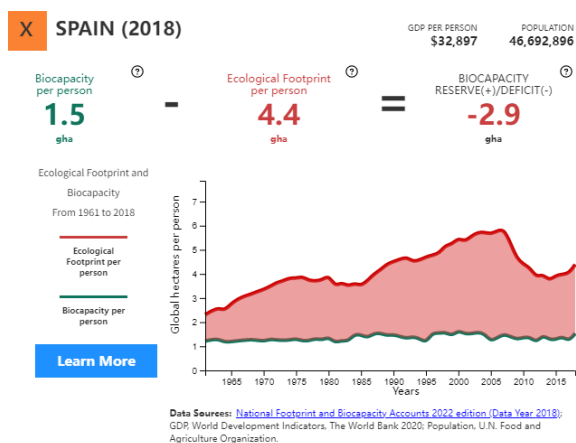
En termes de petjada de carboni, existeix una organització sense ànims lucratiu coneguda com *Global Footprint Network* que aporta unes dades de molta qualitat i molt confiables. *Global Footprint Network* desenvolupa i promou eines per donar visibilitat a la sostenibilitat, incloent la petjada ecològica i la biocapacitat, amb l'objectiu de portar l'emergència ecològica al centre de la presa de decisions.

Avui en dia, més del 80 per cent de la població mundial viu en països que tenen dèficits ecològics, utilitzant més recursos dels que els seus ecosistemes poden regenerar. Tanmateix, és el nostre país un deutor o creditor ecològic? Està Espanya operant en números vermells?

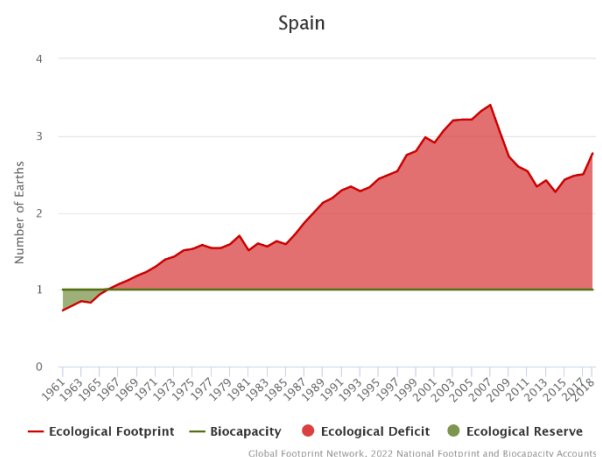
Si s'accedeix al mapa interactiu que inclou la informació ecològica de més de 200 països, es podrà observar el cas d'Espanya de més a prop. A la imatge 5 es mostra una gràfica de la biocapacitat del país en funció de la petjada ecològica per persona.

S'entén per biocapacitat la capacitat dels ecosistemes per a regenerar el que la gent demanda d'aquestes superfícies. La vida competeix per l'espai i la biocapacitat és el terme que representa la capacitat dels ecosistemes per a produir materials biològics utilitzats per les persones i per a absorbir els materials de rebuig generats pels humans. D'altra banda, i com s'ha explicat amb anterioritat, la petjada ecològica seria una mesura que quantifica l'àrea de terra i aigua biològicament productiva que requereix un individu, una població o una activitat per a produir tots els recursos que consumeix i absorbir les deixalles que genera.

D'aquesta manera, la diferència entre quant consumeix Espanya i quant poden renovar els seus ecosistemes, corresponen a un dèficit ecològic de -2.9 gha (hectàrees globals per persona). Aquest dèficit pot estar ocasionat per tres raons: importacions netes, ús de béns comuns globals com les emissions de CO₂ i ús excessiu dels seus propis ecosistemes. Per tant, queda demostrada la urgència ecològica, es gairebé una necessitat tractar de sortir dels números vermells per passar als verds, perquè com mostra la imatge 6, és totalment insostenible que Espanya al 2018 necessités un nombre de 2.77 Terres.



Il·lustració 5. Gràfica de la petjada ecològica per persona vs la biocapacitat d'Espanya, des de 1961 fins l'any 2018. Font: Global Footprint Network.



Il·lustració 6. Petjada ecològica mesurada en quantitat de Terres. Font: Global Footprint Network.

3. DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE

El desenvolupament sostenible consisteix a fer compatibles creixement econòmic, cohesió social i defensa del medi ambient; d'aquesta manera, es garanteix una millor qualitat de vida per a la població actual i futura, sense augmentar l'ús de recursos naturals més enllà de la capacitat de la naturalesa per a proporcionar-los indefinidament.

Gràcies a l'*Informe de Sostenibilitat del Consum a Espanya*, presentat per la Comissió Europea i el Ministeri de Consum, es pot saber de manera rigorosa avui dia, quins són els impactes mediambientals provocats pel consum a Espanya.

A diferència d'altres estudis que només analitzen la petjada ecològica o la petjada interior, per primera vegada s'ha tingut en compte tant les càrregues ambientals associades a les activitats que ocorren dins del territori nacional com aquelles relatives al comerç exterior. La petjada de consum es calcula sobre la base de 16 indicadors d'impacte ambiental lligats a cinc grans àrees: alimentació, mobilitat, habitatge, béns de la llar i electrodomèstics.

Segons aquesta metodologia es pot afirmar que el sector de l'alimentació genera el 52,1% de l'impacte ambiental de la petjada de consum d'Espanya. D'entre les 16 categories d'impactes analitzats, l'alimentació també és el principal vector en una gran majoria d'elles. Aquests elevats impactes associats als aliments es deuen, fonamentalment, al caràcter altament intensiu i industrial que presenta el sistema agropecuari, fortament dependent de l'ús de recursos fòssils, de fertilitzants químics i de grans quantitats d'aigua.

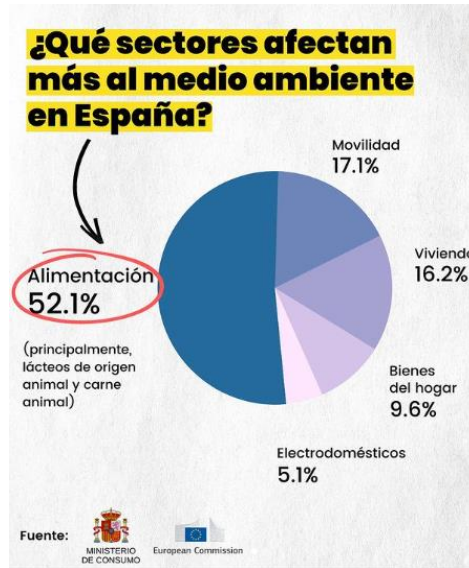
Després de l'alimentació, la segona àrea amb més impacte ambiental és la mobilitat amb un 17,1%, gran part del problema deriva de l'excessiu ús del cotxe privat. S'estima que a Europa el 24% del CO₂ prové del desplaçament de vehicles particulars i camions o vaixells destinats al transport de mercaderies. Esment a part mereix el trànsit aeri, responsable del 2% de les emissions globals de CO₂, que converteix als avions en el mitjà de transport més contaminant del planeta. En un món globalitzat com en el que vivim, el transport de mercaderies i persones no deixa d'augmentar, per la qual cosa és necessari fomentar l'ús de vehicles sostenibles, com els que proposa aquest projecte i a més continuar fomentant un urbanisme sostenible que prioritzi el transport públic a l'abast de tothom. En tercer lloc se situa l'habitatge (16,2%) com a conseqüència del consum de calefacció.

En comparació amb el conjunt de la Unió Europea, la petjada de consum d'Espanya se situa per sobre de la mitjana en l'alimentació (+26,3%) i els electrodomèstics (+4,9%). D'altra banda, el país es troba per sota de la petjada europea en els impactes relatius a l'habitatge (-29%), els béns de la llar (-15,3%) i la mobilitat (-5,5%).

Tornant al sector del transport, s'entén com a sistema de transport sostenible aquell que, d'una banda, permet respondre a les necessitats bàsiques d'accés i desenvolupament d'individus, empreses i societats, amb seguretat i de manera compatible amb la salut humana i el medi ambient. A més de fomentar la igualtat dins de cada generació i entre generacions successives.

En segon lloc, el transport hauria de resultar assequible, operar equitativament i amb eficàcia, oferir una elecció de maneres de transport i donar suport a una economia competitiva, així com el desenvolupament regional equilibrat.

Finalment, s'entén com a transport assequible aquell que limita les emissions i els residus dins de la capacitat del planeta per a absorbir-los, usa energies renovables al ritme de generació i utilitza energies no renovables a les taxes de desenvolupament de substitutius d'energies renovables mentre es minimitza l'impacte sobre l'ús del sòl i la generació de sorolls.



Il·lustració 7. Gràfic que mostra els resultats de l'Informe de Sostenibilitat de consum a Espanya, on es pot veure que com el transport es el segon sector més contaminant al país, darrere de l'alimentació. Font: https://www.instagram.com/p/Cd70o5GojzL/?utm_source=ig_web_copy_link

3.1. MOVILITAT EN LA CIUTAT

Els hàbits actuals de mobilitat a la ciutat es caracteritzen per una expansió urbana contínua i una dependència creixent respecte del cotxe. Això comporta un gran consum d'espai i energia, a més d'uns impactes mediambientals que remarquen la necessitat d'aconseguir un sistema de transport ben concebut que sigui menys dependent dels combustibles fòssils. Per a aconseguir-ho s'han d'habilitar recursos, implantar mesures i canviar tendències. Per això és tan necessària la conscienciació i implicació de tota la societat i la col·laboració entre les diferents administracions per a aconseguir solucions que suposin un canvi revolucionari.

3.2. ÚS ACTUAL DEL VEHICLE

Amb la finalitat principal de justificar la necessitat del treball, s'ha decidit fer un estudi de l'ús que li donen al vehicle els enquestats i el coneixement que es té sobre les energies netes aplicables al transport. En primer lloc, l'enquesta s'inicia amb tres preguntes que tenen l'objectiu de definir el rang d'edat de l'enquestat i el lloc on viu. L'estudi pretén centrar-se en el territori català, més concretament en el Camp de Tarragona. La darrera pregunta introductòria tracta de filar més prim encara, i situar l'enquestat en un poble, una ciutat, una urbanització, un barri, etc. Aquesta pregunta és especialment interessant, doncs l'afluència de tràfic no és la mateixa a una ciutat que a un poble i la disponibilitat de transport públic tampoc.

En segon lloc, a fi de conèixer les característiques de la flota de vehicles dels enquestats, es qüestiona el tipus de transport, la seva antiguitat i el combustible que utilitzen. D'altra banda, per tal de conèixer l'ús que es fa d'aquest es pregunta per la freqüència d'ús i el motiu com pot ser l'ús laboral, recreatiu o la conciliació familiar. Acte seguit l'enquesta obre la porta a la temàtica mediambiental, tot tractant qüestions com si s'utilitza el transport públic, la justificació d'aquest ítem i la preocupació pel paper del vehicle en el canvi climàtic. Per tancar l'enquesta, les preguntes estan dirigides a analitzar el coneixement dels nous vectors energètics i la predisposició al canvi.

3.2.1. HIPÒTESI INICIAL

Donat que l'enquesta es centra en l'ús del vehicle, la meua hipòtesi és que el resultat demostrï que es fa un ús excessiu del transport individual i que això comporta una gran petjada de carboni, que moltes persones desconeixen.

3.2.2. RESULTATS DE LA INVESTIGACIÓ

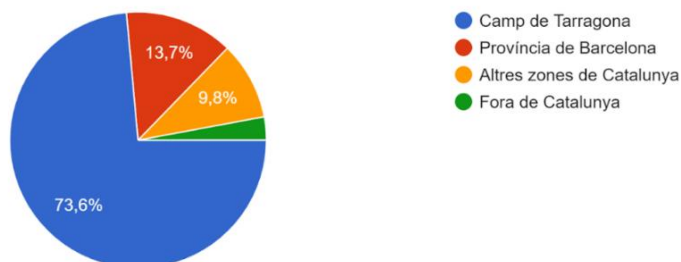
Qualsevol projecte d'investigació, és veu inevitablement determinat per la quantitat de la mostra d'enquestats, doncs aquesta variable definirà estadísticament si es significativa o no.

En aquest cas, la població total faria referència a tots els habitants del Camp de Tarragona. Encara que es van obtenir respostes de fora d'aquest territori, també van ser útils i valorades. Tanmateix es va delimitar la població total al Camp de Tarragona, ja que és on es realitza el següent treball i així es podria ser més precís a l'hora de valorar els resultats.

Considerant que la mostra és de 1089 respostes, es podria afirmar que es poden extrapolar els resultats a la població que representa la mostra i que aquesta és significativa.

Els resultats van mostrar que la major part dels enquestats, concretament un 40'8%, tenien més de 45 anys i un 25,4% entre 18 i 35 anys. Com era d'esperar, l'enquesta va ser resposta, en un 73'6%, per gent que vivia al Camp de Tarragona i majoritàriament de poble.

Concretament a...
1.089 respostes



Il·lustració 8. Font: pròpia

Dels 801 enquestats que resideixen al Tarragonès, el 80'4% no utilitzen el transport públic o amb molt poca freqüència. Entre els motius principals es troben els recorreguts incompatibles, el temps d'espera, la comoditat individual o la falta de freqüència. Això implica un considerable augment de l'ús del vehicle privat. En termes mediambientals, el vehicle privat és clarament més contaminant que els vehicles públics com l'autobús, el tren, el metro, entre d'altres. Per això seria interessant investigar més profundament el per què d'aquest poc ús o cercar vehicles més respectuosos amb el medi.

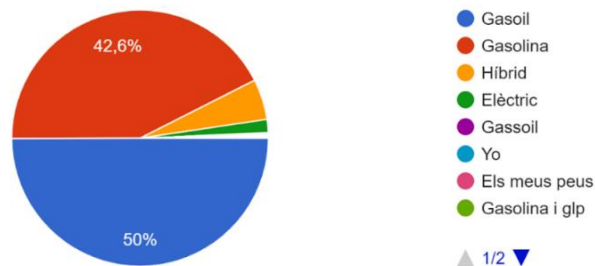
Les generacions futures seran les encarregades d'afrontar les conseqüències del canvi climàtic. Per això podria semblar que els enquestats joves haurien de ser en un principi els més preocupats per la situació climàtica. Tanmateix, gràcies a l'enquesta realitzada, s'aprecia que el grup d'edat més preocupat, en termes mediambientals, són els major de 45 anys amb un 65,09% del total, enfront del 33% de preocupació dels més joves.

VEHÍCLES IMPULSATS PER ENERGIES ALTERNATIVES

Quant als combustibles i l'antiguitat dels vehicles, predominen amb un 96,2% els vehicles propulsats per derivats del petroli. L'altra gran minoria està formada per híbrids, elèctrics i de gas. Les empreses d'automòbils continuen aferrant-se al motor de combustió interna i això es reflecteix en un gran nombre de vehicles d'aquestes característiques en la societat. Aquest enfocament ha de canviar immediatament, perquè aquestes companyies estan dissenyant vehicles que seran posats a la venda a mitjans de la dècada de 2020 i seran produïts fins a mitjans de la dècada de 2030. Les vendes d'aquests automòbils hauran de ser inferiors a les previstes i no podran tenir motors de combustió interna si es vol complir amb els seus compromisos del canvi climàtic.

En relació amb el punt anterior, s'ha de considerar també que un 40,6% d'aquests vehicles tenen més de 10 anys i que per tant la seva substitució és possiblement pròxima. Es presenta llavors una gran oportunitat per a facilitar la transició a una energia neta al transport que serà proposada en aquest treball.

El teu vehicle privat funciona amb combustibles fòssils, electricitat o híbrid?
1.017 respostes



Il·lustració 9. Font pròpia

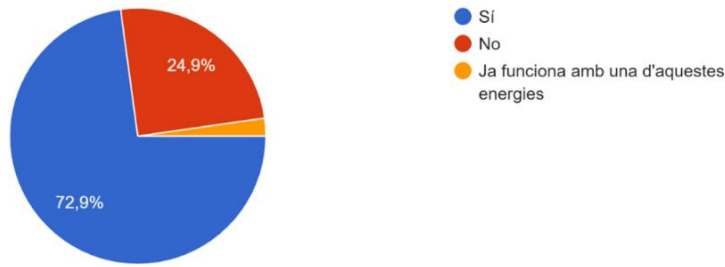
Un altra qüestió important és la preocupació mediambiental de les persones enquestades i els seus respectius vehicles de transport. S'aprecia que les persones propietàries de vehicles respectuosos (híbrids i elèctrics) mostraven una gran preocupació pel planeta.

En últim lloc, per tal de comprovar la confiança dels participants en les energies del futur es va fer la següent pregunta: *Estaries disposat/da a canviar el teu vehicle per a que funcioni amb alguna d'aquestes energies (H, HVO, energia solar i biogàs)?* Els resultats van ser sorprenentment bons, doncs un 72,9% està disposat a fer un canvi. Altre cop, es dona suport a la investigació en qüestió, i es mostra una cara optimista cap a l'acolliment de vehicles impulsats per noves energies, com ara l'hidrogen, el biogàs, els olis reciclats o l'energia solar.

Abans de concloure amb l'enquesta, però, es pregunta el motiu pel qual no s'ha efectuat aquest canvi encara, si es veu que en general s'està disposat a abandonar els vehicles de gasoil i gasolina. Els alts preus, l'escassetat de punts de recàrrega, l'autonomia i la poca fiabilitat són els motius més destacables. Això ens indica que encara que es confia en les energies emergents com a substitut del petroli al transport, hi ha un marge de millora i uns aspectes que s'han d'acabar de polir per poder donar el següent pas cap a una mobilització més sostenible.

VEHÍCLES IMPULSATS PER ENERGIES ALTERNATIVES

Estaries disposat/da a canviar el teu vehicle per a que funcioni amb alguna d'aquestes energies?
1.017 respostes



Il·lustració 10. Font: pròpia

En conclusió, l'enquesta parteix de la premissa inicial que es fa un ús excessiu del vehicle individual i la petjada de carboni que això comporta. Un cop analitzats els resultats es confirma la hipòtesi inicial i tot indica que es fa servir el vehicle privat amb massa freqüència, que gran part d'aquests funcionen amb combustibles fòssils i són antics i que és gairebé anecdòtic l'ús del transport públic.

La realització d'aquesta investigació quantitativa, l'enquesta, contribueix a donar visibilitat al greu problema mediambiental i justificar la necessitat de buscar alternatives energètiques aplicables al transport. Serà llavors quan es presentin l'hidrogen, el biogàs i l'energia solar, tres energies emergents que semblen ser les candidates per a substituir els combustibles convencionals. Posteriorment, a la part pràctica, això serà recolzat amb la seva respectiva construcció a petita escala.

4. HISTÒRIA DEL VEHICLE

D'acord amb l'objectiu d'aquesta recerca, que és l'estudi de diversos vectors energètics aplicables als vehicles, s'ha cregut convenient un context històric sobre els cotxes, ja que la part pràctica consistirà en la construcció de diversos prototips. Per aquest motiu es considera que cal tenir present la perspectiva històrica dels cotxes i la seva evolució fins l'actualitat.

En el següent apartat es tractarà el seu context històric i els seus antecedents tot comprnent les tres etapes de combustibles que van utilitzar.

4.1. CONTEXT HISTÒRIC

L'automòbil és un mitjà de transport basat en l'autonomia i l'autopropulsió per mitjà d'una font d'energia. L'automòbil va respondre al desig de transportar materials a grans distàncies i a majors velocitats, sense haver de dependre de la força animal, que era limitada. Es va adoptar la mentalitat de crear màquines que portessin a terme els treballs forçosos i exigents que fins llavors havia dut a terme la força animal o humana. Aquestes màquines es podrien reparar quan s'avarïessin i viatjar a grans velocitats, per això el seu ús va ser crucial i va acabar consolidant-se com el mitjà de transport més estès a tot el món.

La història de l'automòbil abasta una sèrie d'innovacions, esdeveniments i coneixements científic-tecnològics que van donar naixement a l'automòbil. Són els esdeveniments que li van permetre evolucionar i convertir-se finalment en el que avui es presenta com un element indispensable per a la vida quotidiana.

4.2. ANTECEDENTS DE L'AUTOMÒBIL

El desenvolupament de l'automòbil no hauria estat possible sense els avenços tecnològics i industrials que va comportar la Revolució Industrial. Entre ells, la màquina de vapor, d'on destaca el seu màxim desenvolupador James Watt.

Altres tecnologies indispensables per a l'aparició de l'automòbil van ser les relacionades amb l'electricitat. Encara que pugui semblar que és una tecnologia pròpia del segle XXI, aquest fenomen era conegut molts anys enrere. Va ser generat i aprofitat en termes moderns des de l'últim quart del segle XIX, gràcies a les recerques de grans científics com Tesla, Gramme, Graham Bell o Sprague, entre d'altres.

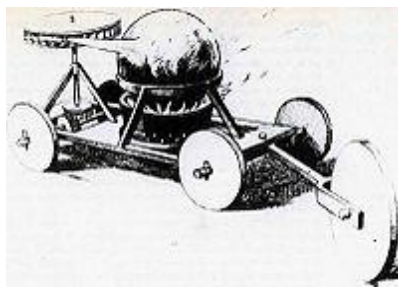
Finalment, va ser indispensable el coneixement dels combustibles fòssils, especialment el motor de combustió interna. A mitjan segle XIX, quan va començar l'explotació petrolífera, es va conèixer del potencial energètic d'aquestes substàncies fòssils i van ser desenvolupats en la seva plenitud.

4.3. ORIGEN

A diferència de molts altres invents importants, la idea original de l'automòbil no es pot atribuir a un sol individu. Leonardo da Vinci va considerar la idea d'un vehicle autopropulsat en el segle XV. En 1760, el suís J.H. Genevois va suggerir muntar petits molins de vent en un vehicle semblant a un carro. Altres inventors com Jacques de Vaucanson van considerar les possibilitats del mecanisme de rellotgeria en un automòbil. Es creu que el motor d'aire es va originar amb un físic del segle XVII, Otto von Guericke, aquest alemany va ser el primer en fabricar pistons, cilindres i bieles de metall, els components bàsics del motor alternatiu. En el segle XVII, un inventor holandès, Christiaan Huygens, va produir un motor que funcionava per pressió d'aire, desenvolupat per una explosió d'una càrrega de pólvora. Denis Papin va construir un model de motor basat en el principi del buit. Un motor d'aire va ser patentat a Anglaterra en 1799.

Més tard va aparèixer la propulsió a vapor, més concretament el segle XVI. L'any 1678, Ferdinand Verbiest va fabricar un model de vagó de vapor basat en un principi suggeridor de la turbina moderna. En el segle XVIII, un científic francès, Philippe Lebon va patentar un motor de gas de carbó i va fer el primer suggeriment d'encesa elèctrica. A París, Isaac de Rivas va fabricar un vehicle a gasolina en 1807; el seu motor usava gas hidrogen com a combustible.

Com es pot observar, molts visionaris, de diferents parts del món i èpoques històriques, van contribuir en la creació del que avui coneixem com a automòbil.

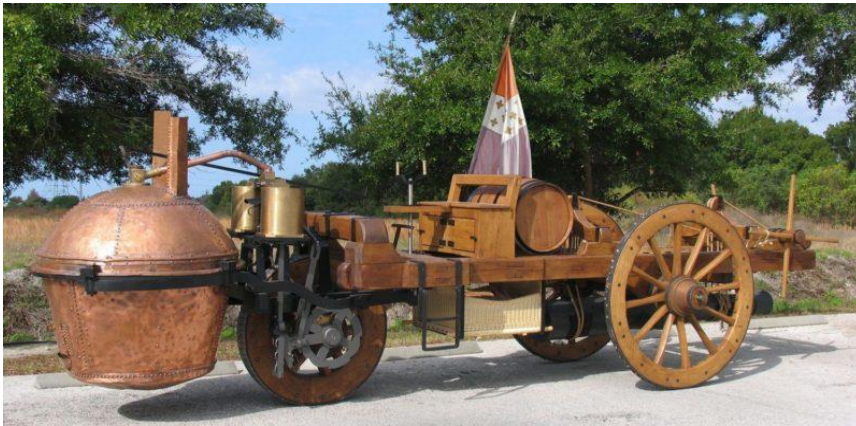


Il·lustració 11. Verbiest va dissenyar una joguina per a l'emperador Kangxi. Un carro propulsat per vapor que va ser, possiblement, el primer vehicle de vapor en funcionament. Font: Wikipedia

Es pot dividir l'evolució de l'automòbil en una sèrie d'etapes marcades per les principals fites tecnològiques i el mètode d'impulsió que empraven. L'automòbil recorre les tres fases dels grans mitjans de propulsió: vapor, electricitat i gasolina.

4.3.1. ETAPA DE VAPOR

L'etapa inicial en la història de l'automòbil es va iniciar amb un motor de vapor. Al voltant de 1770, l'inventor francès Nicolas-Joseph Cugnot va crear un vehicle que aprofitava la tecnologia de la màquina de vapor, amb un motor de dos cilindres verticals i 50 litres de desplaçament. Aquest invent es va denominar Fardier. Posteriorment, es van fer millores del prototip inicial. No obstant això, no va tenir molt d'èxit degut a l'alta temperatura que havien de suportar els passatgers, provinent de la caldera de vapor. Encara així, va servir per a crear tecnologies com el fre de mà, el volant o les velocitats.



Il·lustració 12. Primer vehicle a vapor. Creació del francès Nicolas-Joseph Cugnot. Font: caracteristicas.co

4.3.2. ETAPA DE PETROLI

Degut a les altes temperatures que aconseguien les calderes dels automòbils a vapor, es va buscar un substitut. Posteriorment, al principi del segle XIX, van aparèixer els primers vehicles de combustió. En 1815, Josef Božek va introduir el primer vehicle impulsat per oli. Més endavant, l'any 1860, el belga Etienne Lenoir va desenvolupar el primer cotxe amb motor de combustió interna basat en gas de carbó. També va tenir una importància remarcable l'automòbil de Nikolaus Otto o el de Siegfried Marcus, els quals van introduir en el sector automobilístic el motor de quatre temps i el primer vehicle de combustió interna a base de gasolina.



Il·lustració 13. Automòbil patentat per Karl Benz. Font: RiveKids

El següent pas el va donar el conegut alemany Karl Benz amb els seus automòbils patentats en 1886, esdeveniment que és considerat com l'inici formal de la història de l'automòbil modern. Les bases estaven assentades per a l'inici de la indústria automotriu.

4.3.3. ETAPA ELÈCTRICA

Entre 1832 i 1839, Robert Anderson va inventar el primer vehicle elèctric, que estava propulsat per cel·les elèctriques no recarregables. En aquesta mateixa època circulaven aparells semblants, fruit d'enginyers estatunidencs i altres presentats en l'Exposició Internacional de l'Electricitat a París. En contraposició a la falta de fiabilitat, el soroll i la vibració de l'automòbil de gasolina, el vehicle elèctric va oferir un nou punt de vista. Es valorava que era més silenciós i menys pesat que les màquines de vapor, però no va haver-hi forma de resoldre el dilema de la descàrrega de les bateries elèctriques. A més, el fet que fins a l'any 1910 molt pocs habitatges tenien accés a l'electricitat, van dificultar la seva evolució i èxit.



Il·lustració 14. Primer cotxe elèctric, creat entre els anys 1832 i 1839 per Robert Anderson.

Durant tot el segle XIX, majoritàriament a principis de segle, la indústria automobilística va créixer de manera exponencial. Va néixer una gran competència entre les fàbriques d'automòbils i molts enginyers es van preocupar d'elements bàsics en els vehicles. Són exemples: el fre, la suspensió, la transmissió, la carburació i el sistema d'arrencada, les rodes, etc. L'any 1890 va esclatar la febre del cotxe als Estats Units, la qual cosa va fer que sorgeixin molts altres pioners de l'automòbil com per exemple Henry Ford.

El gran industrial nord-americà va dissenyar i va fabricar cotxes i també va contribuir de forma molt significativa a convertir l'automòbil en un bé de consum accessible per a la majoria de la població en un gran nombre de països. En 1908, Ford va efectuar un gran avanç en el món automobilístic i industrial gràcies al seu sistema de producció, el fordisme. El fordisme és un sistema de producció en cadena implementat per Henry Ford a partir de l'any 1908. Al mateix temps, cal comprendre que la producció en cadena és l'estructura en la fabricació d'un bé que implica la divisió del procés en diferents fases o parts en el qual cada treballador fa una tasca específica. La descomposició de l'assemblatge, va permetre anar incorporant en cada fase un determinada peça, element o part del producte per cada secció que va passant. Això permet que cada treballador apliqui tot el seu esforç, destresa i coneixement en una part específica de la producció.

En resum, tota la història automobilística es recolza en l'aprofitament d'uns recursos energètics per tal de crear un treball útil, com ara el transport. Es diferencien tres etapes que van assentar les bases dels automòbils actuals: vapor, combustibles fòssils i l'electricitat. Se'n dubte, la font d'energia que va tindre més èxit els anys posteriors, fins arribar a l'actualitat, van ser els combustibles fòssils. Aquests combustibles presenten unes propietats molt interessants, energèticament parlant, però també uns desavantatges esgarrifosos en el medi ambient. És per això que avui en dia estem intentant canviar el sistema energètic, basat en els combustibles fòssils, i és aquí on treballs d'aquest àmbit cobren sentit.

5. COMBUSTIBLES FÒSSILS

Com s'ha pogut veure a l'apartat anterior, el combustible més utilitzat pels cotxes i que han arribat al dia d'avui han sigut els combustibles fòssils, concretament els derivats del petroli. A més, la societat actual basa el seu funcionament en aquesta font d'energia, que també és el principal motiu del problema mediambiental. És per això que a continuació s'aprofundirà en conèixer quins són, els principals usos, la seva situació actual i, per últim, la seva contribució al canvi climàtic.

5.1. QUÈ SÓN?

Els combustibles fòssils són una font d'energia originada per la descomposició de matèria orgànica d'animals, plantes i microorganismes al llarg de milions d'anys en unes condicions de pressió i temperatura adequades, provocades per les capes de sediments acumulades a sobre seu.

Aquest tipus de combustibles són fonts d'energia no renovables, ja que es requereixen milions d'anys per a la seva creació de forma natural. El procés de formació dels combustibles fòssils és un procés realment tardà, ja que no només es tracta de la degradació de les restes fòssils vegetals i animals, sinó que també s'ha de produir una fossilització d'aquests i per últim diversos canvis geoquímics que acaben donant lloc als combustibles.

Degut al seu alt poder calorífic són fonts d'energia molt útils per a generar energia tèrmica i el seu ús ha permès el gran creixement econòmic i demogràfic lligat a la revolució industrial del segle XIX. Entre els seus tipus, destaquen el petroli, el carbó i el gas natural.



Il·lustració 15. Persona sostenint carbó a les seves mans. Font: pròpia

Tots ells estan formats per hidrocarburs. Els hidrocarburs són unes molècules compostes per àtoms de carboni i hidrogen. Depenent de la profunditat, les condicions de la zona de formació i de diversos processos fisicoquímics, es donarà lloc a un tipus o un altre de combustible fòssil.

Els combustibles fòssils s'originen mitjançant un procés de fossilització en anòxia, és a dir, amb manca d'oxigen. Seguidament, la matèria orgànica es va degradant i es transforma en molècules orgàniques en forma sòlida, líquida o gasosa, útils per a fer-les servir com a combustible. És important tindre clar que la matèria orgànica, de la qual parteixen els combustibles fòssils, no s'ha degradat per mitjà de microorganismes ni ha produït diòxid de carboni (CO_2) i aigua (H_2O). En aquest cas, la matèria es manté en forma de molècules orgàniques que a posteriori són les responsables d'aportar l'energia que es transformarà en calor un cop iniciada la combustió.

Pot resultar confús pensar que els combustibles fòssils són una font d'energia no renovable, doncs com s'ha explicat aquesta procedeix de restes d'éssers que van habitar la Terra fa milions d'anys. Es considera no renovable aquella font d'energia que és finita i que per tant té un límit perquè el que es gasta no es regenera. Sembla lògic, per tant, creure que sí ho són de renovables, doncs la matèria orgànica de l'actualitat podria convertir-se en combustible fòssil dintre de milions d'anys. El problema és que des del punt de vista dels humans aquest recurs és limitat. De fet, a l'alt ritme que extraïem aquestes fonts energètiques no els donem temps de regenerar-se o renovar-se, per ser un procés molt lent. Per això, considerem que són no renovables, encara que d'aquí a milions d'anys és probable que hi hagi més, potser la humanitat ja no conegui aquesta part.

5.2. ORIGEN

Per a conèixer la història dels combustibles fòssils és necessari viatjar milions d'anys enrere a una era geològica que denominem Mesozoic. En aquells temps, els continents, que eren altres i ocupaven posicions molt diferents a les actuals, començaven lentament a configurar el mapa tal com el coneixem en la actualitat.

Aquest procés té origen en el període dels grans dinosaures, que convivia amb primitius mamífers petits, i d'interminables boscos, sobretot de coníferes i falgueres. Les plantes són una gran reserva d'energia química diversa i, fa milions d'anys, la quantitat de gasos com l'oxigen i el diòxid de carboni eren diferents a les de l'actualitat. Això va comportar que els fòssils d'aquella vegetació fos especialment rica en uns certs gasos i substàncies químiques que van ser crucials i van afavorir el procés de creació dels combustibles fòssils.

En les entrades de l'oceà, així com en altres ambients d'aigües tranquil·les com els grans llacs, aigües pantanoses o aiguamolls, començava el procés de la formació dels hidrocarburs. Al llarg del temps, els llits d'aquests ambients aquàtics van rebre grans quantitats de restes orgàniques. Aquestes es van dipositar en el fons juntament amb sediments minerals.

Amb el pas dels mil·lennis el que alguna vegada va ser el fons de la mar o d'un llac, va quedar sepultat per nous sediments minerals. El pes dels nous sediments van enfonsar l'antic llit cada vegada més profund. Aquest procés va produir l'augment de la pressió i la temperatura que juntament amb l'absència d'oxigen va començar a produir el que es coneix com a "cuina geològica". Milions d'anys després, la matèria orgànica original es va convertir en gas natural i en petroli. D'aquesta manera el que alguna vegada va ser un llit marí, milions d'anys més tard es va transformar en una "roca generadora d'hidrocarburs" o "roca mare".

El petroli i el gas natural es caracteritzen per no formar grans llacs subterranis, sinó que omplen els porus de les roques d'origen sedimentari totalment, com succeeix amb l'aigua en els aqüífers. En el cas del petroli, la seva naturalesa líquida fa que tingui tendència a emigrar verticalment o horitzontalment aprofitant la permeabilitat de les capes rocoses que troba al seu pas. D'altra banda, també pot formar un jaciment quan queda atrapat en una capa impermeable que no pot travessar.

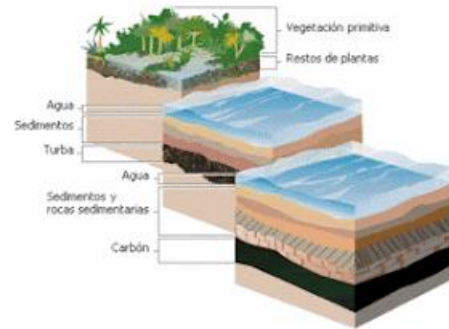
5.3. QUINS SÓN ELS COMBUSTIBLES FÒSSILS?

5.3.1. CARBÓ MINERAL O CARBÓ DE COC

5.3.1.1. QUÈ ÉS EL CARBÓ?

Entre els combustibles fòssils més coneguts, el carbó és el més abundant i el que permet major seguretat de subministrament.

El carbó és una roca sedimentària d'origen orgànic, que va començar a formar-se fa milions d'anys enrere. El seu procés de formació és molt semblant al del petroli i el gas natural, però amb la diferència de que aquesta parteix de restes únicament vegetals. La desaparició de la humitat en els sediments i la compactació del mateix van fer possible l'augment del contingut en carboni i altres components essencials en la seva composició.



*Il·lustració 16. Formació del carbó per fases.
Font: IES las Lagunas*

El carbó està format principalment per hidrogen i oxigen, encara que el sofre, el nitrogen i altres elements en menor quantitat també en formen part. El seu alt contingut en carboni el converteixen en un molt bon combustible fòssil.

Depenent de la seva antiguitat, les condicions de formació i el seu índex de carboni i matèries volàtils, existeixen diferents tipus de carbó. En l'àmbit comercial, els carbons es poden classificar pel percentatge en carboni que contenen, que està relacionat amb el percentatge d'humitat i d'impureses, i així distingim entre antracita, torba, hulla i lignit.

Existeix també el carbó vegetal, que s'obté de manera artificial cremant fusta apilada en absència d'oxigen perquè la seva combustió sigui parcial. El carbó vegetal es va utilitzar molt com a combustible, sobretot domèstic i en l'agricultura, ja que el seu poder calorífic és major que el de la fusta, però menor que el del carbó de coc.



Il·lustració 17. Tren de mercaderies transportant carbó. Font: pròpia

5.3.1.2. USOS

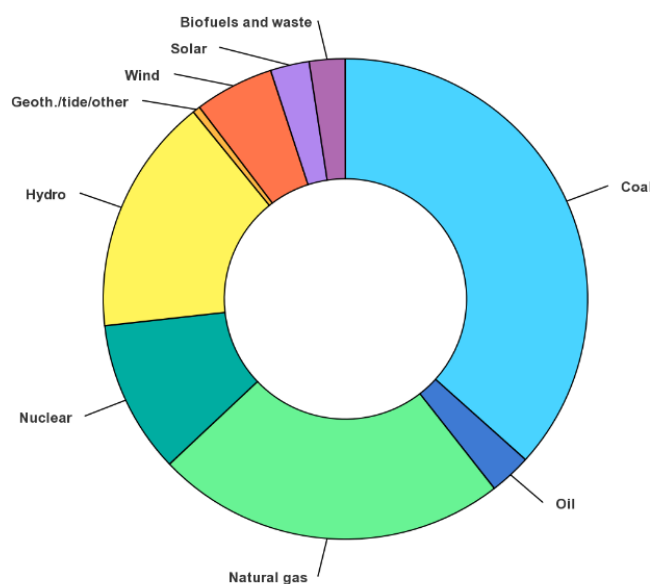
Un dels principals avantatges del carbó és que té molts usos a tot el món. Els més importants són la generació d'electricitat, la producció d'acer, la fabricació de ciment i la producció de combustibles líquids.

Al voltant de 6.100 milions de tones de carbó es van utilitzar l'any passat, i a tot el món 1 bilió de tones de lignit, que és una de les varietats del carbó. A més, en les últimes dues dècades, el consum mundial de carbó ha crescut més ràpid que qualsevol altre combustible.

5.3.1.3. LOCALITZACIÓ I RESERVES

Els cinc majors consumidors de carbó són la Xina, el Japó, els EUA, l'Índia i Rússia, els quals representen el 77% del consum total de carbó a nivell mundial. El carbó és segur, de confiança, fàcil d'emmagatzemar i disponible. La immensa grandària de les reserves mundials de carbó significa que estarà disponible en el futur previsible. La proporció de les reserves de carbó i producció és major que la del petroli i la de gas natural.

Malgrat les preocupacions climàtiques i l'objectiu de descarbonització del sistema energètic, el carbó encara és la font més gran de generació elèctrica del món. Representa el 36,7% de la quota total en 2019, en base de les dades aportades per l'Agència Internacional de l'Energia (IEA).



Il·lustració 18. Gràfic sobre l'origen de la producció mundial d'electricitat l'any 2019. Font: AIE

Aquesta situació ha de canviar si no es vol agreujar la situació mediambiental, i s'està intentant substituir el carbó per gas natural. Ambdós són combustibles fòssils, però el gas natural és més barat i net. A conseqüència de què les principals economies mundials, com són la xinesa i la índia, depenen en gran part del carbó per a la generació d'electricitat, serà una tasca considerablement més difícil eliminar-ho per complet.

El carbó mineral també és àmpliament utilitzat a la metal·lúrgia i siderúrgia. Aquest representa un element essencial per la creació de ferro i acer, dos materials imprescindibles a les infraestructures i la fabricació actuals.

5.3.1.4. IMPACTE AMBIENTAL

Les grans indústries elèctriques, suportades pels seus respectius governs, obtenen grans beneficis econòmics. Mentrestant, al seu pas, el medi ambient i les persones sofreixen les conseqüències d'un sistema energètic contaminant, ineficient i costós. Un sistema amb mineries agressives i crema de carbó, que causa cicatrius permanents en les comunitats i el medi ambient.

La crema de carbó genera grans emissions de CO₂ (convertint-ho en el principal causant del canvi climàtic) i la mineria subterrània per a obtenir-lo, gas metà (un dels principals gasos d'efecte d'hivernacle). A més, la seva contaminació es filtra en l'aigua que bevem i en la terra en la qual conreem, augmentant el risc d'asma, malalties cardíques i càncer, i causant la mort prematura de milers de persones cada any.

→ Espanya és el país que més va augmentar l'ús del carbó en 2017.

→ En 2017 la crema de carbó va generar 46,5 milions de tones de CO₂.

→ En 2015 el 12% de les morts prematures van ser conseqüència de la crema del carbó.

→ 36 milions de tones equivalents de CO₂ van ser emeses per les centrals tèrmiques de carbó espanyoles en 2016.

→ En 2030 el carbó serà responsable del 60% de les emissions mundials de CO₂ si continuen els plans actuals de construir noves centrals tèrmiques.

→ 550.000 atacs d'asma cada any a conseqüència de la contaminació de les centrals tèrmiques de carbó.

5.3.2. GAS NATURAL

5.3.2.1. QUÈ ÉS EL GAS NATURAL?

El gas natural és una font d'energia fòssil i no renovable que s'obté de jaciments. Consisteix en una barreja de gasos que es troba emmagatzemada a l'interior de la terra, en unes ocasions acompanyat de petroli (gas humit) i d'altres vegades aïlladament (gas sec). Degut a que aquest es desprèn del petroli i que els seus orígens són molt similars, és més comú trobar-lo junt amb petroli. Per contra, la seva extracció és més senzilla.

Està format per una barreja d'hidrocarburs, pel que la seva composició es constitueix majoritàriament d'àtoms d'hidrogen i carboni. Tal com es troba a la natura, és format bàsicament per metà CH₄ (70-%), potent gas d'efecte hivernacle. També podem trobar età C₂H₆, propà C₃H₈, butà i pentà en grans quantitats, entre d'altres.

Part de la comunitat científica creu que el seu origen és biològic, resultat de la descomposició de restes d'éssers vius que van viure fa milions d'anys a la Terra, a l'igual que el petroli i el carbó. Tanmateix, hi ha una altra hipòtesi que sosté que la formació del gas natural és purament geològica i s'ha format per milers d'anys d'acció bacteriana.

5.3.2.2. USOS

Inicialment s'utilitzava únicament com a combustible per a il·luminació. Després de l'arribada de l'electricitat es va començar a emprar per a calefacció i per a aigua calenta sanitària. Els primers usos industrials del gas natural van tenir lloc en la indústria metal·lúrgica.

Progressivament la profunditat d'extracció va anar augmentant i es va anar millorant la capacitat de transport, especialment gràcies als avenços en tècniques de soldadura després de la Segona Guerra Mundial.

Les aplicacions del gas natural poden ser tant en el sector domèstic, comercial o industrial. Entre les seves aplicacions més rellevants es troben les centrals tèrmiques productores d'energia elèctrica que cremen gas natural i com a combustible per a la calefacció de llars particulars i establiments públics. També s'utilitza, però amb menor quantitat, per a la cuina, com a combustible del transport urbà o a alguns frigorífics accionats amb gas natural.

5.3.2.3. LOCALITZACIÓ I RESERVES

El gas natural és un dels combustibles la demanda del qual ha crescut considerablement en els últims anys. Ja sigui per la seva instal·lació, cada vegada més habitual, a les llars, els seus grans usos industrials o la seva recent utilització al món de l'automobilisme. Aquest augment de la demanda va comportar paral·lelament un augment de l'oferta que superava els 4 bilions de metres cúbics l'any 2020.

Les reserves d'aquesta font energètica són abundants i es poden trobar jaciments en més o menys quantitat a tot el món. Els càlculs actuals mostren unes reserves de 198,8 bilions de metres cúbics de gas natural. Però són pocs els països en els quals es concentren les bosses de gas més importants.

En primer lloc, Rússia, és el país amb més reserves de gas natural de la Terra, aproximadament el 19% d'aquest combustible es troba en territori rus. En segon lloc es troben països d'Orient Mitjà, junts contenen un 43% del total mundial d'aquest combustible. Amb 32 bilions de metres cúbics i un 16% del total, Iran es situa en segon lloc, seguidament Qatar amb 24,7 bilions, Turkmenistan amb 19,5 bilions. Finalment, els Estats Units amb 12,9 bilions.

Això significa que aquests cinc països contenen el 64% de les reserves mundials de gas natural. La resta es troba dispers en menor quantitat en països com: la Xina (8,4 bilions de metres cúbics), Veneçuela (6,3 bilions), l'Aràbia Saudita (6 bilions), Unió dels Emirats Àrabs (5,9 bilions) i Nigèria (5,4 bilions).



Il·lustració 19. Producció de gas natural segons el país. Font: Wikipedia

5.3.2.4. IMPACTE AL MEDI AMBIENT

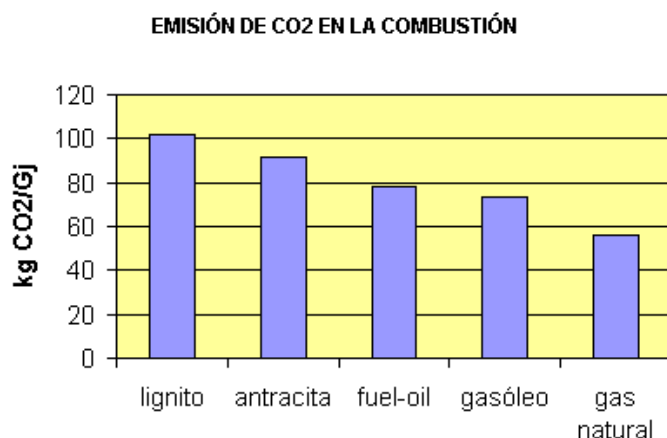
El gas natural és el combustible fòssil més net. En comparació amb la resta, el seu impacte mediambiental és considerablement menor tant en la etapa d'extracció, elaboració, transport, com en la seva utilització.

A més, és el combustible d'origen fòssil amb un menor risc ambiental. Això és pel fet que el seu estat gasós i la seva composició fa que no comporti efectes negatius per a les aigües o el sòl si es produeix una fuga, com si pot passar amb el carbó i el petroli. Tot i així, en el cas de grans fugues de gas es produeix una afectació de l'aire a escala global, la qual cosa contribueix al canvi climàtic, ja que el metà que constitueix el gas, en major part, té un potencial d'efecte hivernacle superior al del diòxid de carboni.

Les etapes d'explotació, extracció i transport, en les quals hi ha una intervenció física sobre el territori, poden tenir un efecte negatiu per a la fauna, la flora o els ecosistemes locals. No obstant això, l'impacte ambiental d'aquestes activitats és temporal si s'adopten les correctes mesures de prevenció i correcció del medi. Aquestes mesures ajuden a restituir l'entorn al seu estat natural. Quan un jaciment de gas natural es dona per esgotat, es procedeix a la retirada de les plataformes i maquinària i al segellament del pou, o és utilitzat com a magatzem natural de gas.

El gas natural, com qualsevol altre combustible, produeix CO_2 ; no obstant això, és també el combustible més net referent a les emissions de CO_2 . A causa de la seva elevada proporció hidrogen-carboni, que afavoreix una millor barreja amb l'aire i una combustió més eficient, les seves emissions són un 40-50% menors de les del carbó i un 25-30% menors de les del fuel-oil. A més, no genera partícules sòlides, impureses o residus, i un nivell d'emissions d'òxids de nitrogen (NO_x) també més reduïdes, sempre en comparació amb el carbó i els productes derivats del petroli.

Les emissions de diòxid de sofre (SO_2) a l'atmosfera són les principals causants de la pluja àcida, l'acidificació de llacs i aqüífers i la destrucció de boscos. Pel que respecta a les emissions de SO_2 en la combustió del gas natural, són 150 vegades menors a la del gas-oil, entre 70 i 1.500 vegades menors que la del carbó i 2.500 vegades menors que la que emet el fuel-oil.



Il·lustració 20. Gràfic comparatiu que mostra les emissions de CO_2 entre derivats del carbó (lignit i antracita), derivats del petroli (fuel-oil i gasoli) i el gas natural. Font: Ministeri per la Transició Ecològica i el Repte Demogràfic. Govern de Espanya.

5.3.3. EL PETROLI

5.3.3.1. QUÈ ÉS EL PETROLI?

El petroli és un líquid inflamable, oliós, d'origen natural que es compon principalment d'una barreja d'hidrocarburs i diversos compostos orgànics que contenen oxigen, nitrogen i sofre. En general s'extreu de jaciments de sota la superfície de la Terra mitjançant perforació de pous, encara que en algunes ocasions es troba en deus o tolles, amb menor freqüència. Antigament conegut com a oli de roca o oli mineral, el petroli sense refinar es coneix en l'actualitat com a petroli cru.

És important, en parlar de petroli, fer una distinció entre crus i productes refinats. Els crus són mesclures complexes de diversos hidrocarburs de divers pes i estructura molecular, que van des de les substàncies simples i molt volàtils fins als compostos asfàltics que no es poden destil·lar.

Els productes, derivats del procés de refinat del cru, els quals han passat per una refinaria, tenen unes propietats físiques i químiques que depenen de la naturalesa dels crus i dels diferents processos al fet que s'hagin sotmès. Entre els diferents productes podem trobar gasolines, querosè, gasoil, fuel (lleuger, mitjà i pesat), o olis lubricants.

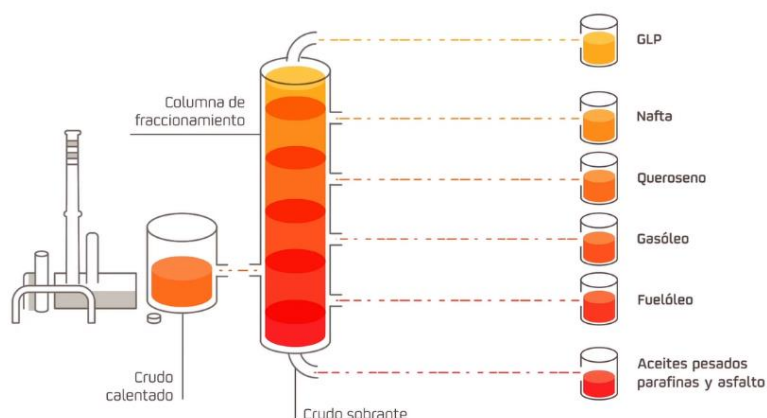
El procés de formació del petroli és molt semblant al del carbó, anteriorment explicat. Fa milions d'anys, restes de plantes, algues i plàncton es van enfonsar en els llits marins i es van descompondre. El temps va avançar i van quedar enterrats sota el pes de sediments i capes successives d'estrats, a unes temperatures enormes. En un ambient tan extrem com aquest parany geològic, l'oxigen desapareix i la matèria orgànica es transforma en una substància anomenada querogen. Més tard el querogen sofreix un procés denominat *catagènesis* i es formen els hidrocarburs. La combinació de compostos orgànics formats per hidrogen i oxigen dona lloc a il·limitats tipus de molècules i a les diferents classes de petrolis (Brent, West Texas Intermediate i Dubai-Oman) i gas. És a dir, la diversitat d'hidrocarburs dependrà de les variacions de calor i pressió sofertes.

A mesura que es va formant el petroli, a poc a poc, s'introdueix en les obertures de les roques o en roques especials anomenades roques mare. Les roques mare són poroses, la qual cosa permet que emmagatzemin petroli. Moltes vegades, el moviment del petroli atrapat en la terra fa que es dipositi en les capes de la roca formant bosses o jaciments.

5.3.3.2. USOS

El petroli, a diferència del gas natural, necessita passar grans tractaments abans de ser utilitzat. El motiu pel qual no pot utilitzar-se tal com és extret, és perquè el cru té massa components, cadascun d'ells amb propietats diferents. Per a aprofitar-ho, se separen aquests components, normalment mitjançant destil·lació fraccionària, en un complex industrial denominat refinaria.

A les columnes de destil·lació s'obtenen, a diferents temperatures, un gran ventall de productes comercials provinents del petroli brut. Des de productes gasosos com el metà,età, propà i butà; productes líquids com la gasolina, el querosè i el fuel-oil; i finalment els sòlids com la parafina i el quitrà.



Il·lustració 21. Columna de destil·lació fraccionaria del petroli cru. Font: Repsol

El petroli es caracteritza per ser una matèria especialment versàtil i necessària en la societat actual. Del petroli procedeixen els combustibles líquids (gasolina, gasoil, fuel-oil) necessaris per a la mobilitat de persones i mercaderies, el petroli ens proporciona aigua calenta, calefacció i electricitat. Hi és present també en molts productes de la nostra vida quotidiana: envasos plàstics, productes sanitaris, sabons, ulleres, sabates, dispositius electrònics...

Tothom coneix les aplicacions bàsiques del petroli: proporciona electricitat, llum i calor. Però aquestes van molt més allà, incidint en molts aspectes, sovint insospitats, de les nostres vides. Per terra, mar i aire els usos del petroli són múltiples. La gasolina i el dièsel que mouen la maquinària agrícola procedeixen del petroli. Tanmateix, els conreus que aquesta maquinària recull estan cuidades i protegides per abonaments i insecticides que tenen productes petrolífers com a base. El petroli està darrere, fins i tot, de la salut i la seguretat. Sense ell, a l'hospital no hi hauria productes tan bàsics com pastilles, benes o tiretes. Es miri on es miri, el petroli exerceix un paper essencial en la vida de tothom. Un simple passeig pel carrer s'ha millorat amb el petroli: el paviment d'asfalt sota els seus peus o les línies de trànsit pintades en sòl que indiquen el correcte flux del trànsit, tot prové del petroli.

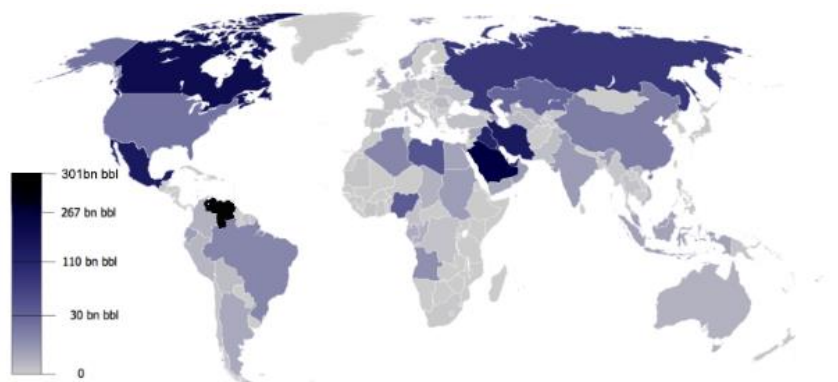
5.3.3.3. LOCALITZACIÓ I RESERVES

Cal aclarir que les reserves de petroli indiquen la quantitat de petroli cru que es pot extreure del subsol amb un cost que és financerament factible al preu actual del petroli. No s'ha de confondre aquest terme amb els recursos petrolífers, que inclouen tot el petroli que es pot extreure tècnicament a qualsevol preu. La diferència entre reserves de petroli i recursos petrolífers és que el primer variarà el seu volum en funció del preu del petroli.

Aproximadament el 6% de la producció global de petroli procedeix de Ghawar, un camp petrolífer de l'Aràbia Saudita i el més gran del món, d'on s'extreuen cada dia al voltant de quatre milions de barrils de petroli cru. Aràbia Saudita juga un paper important en el mercat petrolífer, ja que suposa el 66% de la producció total de petroli. Al costat d'altres grans productors com Veneçuela, Canadà, Iran, Iraq, Kuwait, Unió dels Emirats Àrabs, Rússia, Líbia, els Estats Units, etc.

Els combustibles fòssils no es van distribuir equitativament per tota l'escorça terrestre, de la mateixa forma que la seva presència en un país determinat no garanteix l'enriquiment d'aquest. Exemples d'això mateix és Veneçuela, l'estat amb majors reserves petrolíferes del món, però encara així, també és un país molt deteriorat i inestable.

Les reserves d'hidrocarburs han suposat enormes avantatges en forma de combustible barat i vendes gegantesques per a aquells països que han pogut explotar-les, però també amenaces a la seva sobirania, conflictes armats i inestabilitat social, per a uns altres.



Il·lustració 22. Mapa de les reserves de petroli del món. Font: Wikipedia

5.3.3.4. IMPACTE MEDIAMBIENTAL

Totes les fases de les operacions petrolieres impacten al medi ambient i a la biodiversitat. Les principals causes d'afectació ambiental són la contaminació i la desforestació. Els contaminants poden ser de naturalesa sonora, per les detonacions que tenen lloc en la seva cerca i pel funcionament de la maquinària petrolífera; lumínica, generada en la crema de gas; i química, entre els quals s'inclou el propi petroli cru i els seus components, que normalment ingressen a l'ambient a través de les diferents pràctiques en la seva extracció.

Cada tipus de contaminació produeix diferent tipus d'impactes en la biodiversitat i l'ambient. Possiblement els efectes del vessament de petroli cru a mars i oceans són els que més efectes negatius produeixen. Aquests accidents causen la falta o disminució de l'entrada de llum en els mitjans aquàtics que impossibilita o redueix l'àrea on és possible la fotosíntesi. Per això, la vegetació marina no pot dur a terme el correcte desenvolupament de la fotosíntesi, un procés bioquímic essencial per a la vida en la Terra. El 80% de l'activitat fotosintètica i d'absorció d'energia solar es produeix en els 10 primers metres de la superfície marina. Com si de una reacció en cadena es tractés, la falta de plantes fotosintètiques redueix l'aportació d'oxigen i aliment a l'ecosistema. Així mateix, la proporció d'espècies marines també disminueix.

En segon lloc, les fugues de petroli tenen, també, considerables efectes tòxics. Els ocells que queden impregnats de petroli veuen reduïda la seva capacitat d'aïllar-se de l'aigua arribant fins i tot morir. En intentar netejar-se el plomatge amb el bec ingereixen grans quantitats d'hidrocarburs pel que s'enverinen. I no succeeix únicament amb els ocells, les espècies marines són les més afectades, sobretot pels efectes d'enverinament que comporta la ingesta de petroli.

També tenen lloc altres efectes negatius com el possible tamponament de les vies respiratòries o danys en el sistema respiratori de les espècies aquàtiques. Els quimiorceptors de moltes espècies marines en detectar el petroli en l'aigua, els fan variar les seves migracions. Això pot comportar que determinades espècies desapareguin. Altres efectes no letals sobre els animals marins poden abastar deformacions, pèrdua de fertilitat, alteracions en el seu comportament i gran quantitat d'efectes derivats de la toxicitat de l'abocament. D'altra banda, els musclos i altres mol·luscos que s'adhereixen a roques o objectes perden la seva capacitat d'adhesió i cauen al fons, perdent la seva capacitat d'alimentar-se i fent-les no aptes per al consum humà.

6. NOVES ENERGIES RESPECTUOSES AMB EL MEDI AMBIENT

En contraposició als combustibles fòssils, trobem les noves energies, renovables, que representen la principal solució per a aconseguir un futur net i un desenvolupament sostenible. El futur de la humanitat i del planeta depèn de la manera en la qual produïm energia: un sistema energètic fiable, assequible i descarbonitzat és fonamental.

6.1. QUINES SÓN I PER QUÈ HAN SORGIT?

Les energies renovables són fonts d'energia netes, inesgotables i creixentment competitives. Aquest tipus d'energies respectuoses amb el medi ambient contrasten amb els combustibles fòssils i es presenten com una solució a aquests. Es diferencien dels combustibles fòssils, principalment en la seva diversitat, abundància i potencial d'aprofitament en qualsevol part del planeta, però sobretot en què no produeixen gasos d'efecte d'hivernacle –causants del canvi climàtic- ni emissions contaminants. A més cal recalcar que els costos de les energies renovables tendeixen a disminuir, mentre que els preus dels combustibles fòssils tendeixen a incrementar.

El creixement de les energies renovables és una realitat i queda reflectit en les estadístiques aportades per l'Agència Internacional de l'Energia (AIE): Segons les seves previsions, la participació de les renovables en el subministrament elèctric global farà un gran pas per a l'any 2040. Tot això gràcies a tecnologies ascendents com l'eòlica, la solar fotovoltaica, l'hidrogen verd, i moltes altres.

La AIE preveu que la demanda mundial d'electricitat augmentarà un 70% fins a 2040, estimulada principalment per regions emergents com la Xina, l'Índia, Àfrica, Orient Mitjà i el sud-est asiàtic. Davant aquesta situació, les energies netes juguen un paper imprescindible per a combatre el canvi climàtic i limitar els seus efectes en el planeta. L'any 2019 va ser el segon any més càlid registrat, per darrere de 2016.

Les energies renovables han rebut un important suport de la comunitat internacional gràcies a l'Acord de París. Aquest acord estableix, per primera vegada en la història, un objectiu global que consisteix a reduir les emissions, de manera que l'augment de la temperatura mitjana del planeta a final de segle quedi per sota dels dos graus. Entre les energies renovables, podem trobar les següents:

- Energia eòlica on s'aprofita l'energia del vent.
- Energia hidroelèctrica que empra l'energia potencial de l'aigua dolça dels rius, per a produir electricitat.
- Energia solar obtinguda del sol. Les principals tecnologies per a aprofitar l'energia solar són la solar fotovoltaica (aprofita la llum del sol) i la solar tèrmica (aprofita la calor del sol).
- Biomassa i biogàs són els combustibles extrets de la matèria orgànica i que s'aprofita per generar energia.
- L'energia calorífica continguda a l'interior de la Terra és coneguda com energia geotèrmica.
- Energia mareomotriu que aprofita l'energia que s'obté de les mareas.
- L'Energia de les ones o “undimotriu” és aquella que s'obté de les ones i corrents marins.
- L'Hidrogen verd.
- Biometà, un combustible orgànic apte per a l'automoció obtingut a partir de productes vegetals.
- Biodièsel, un combustible orgànic per a automoció, entre altres aplicacions, que s'obté a partir d'olis vegetals.

La seva utilització presenta múltiples avantatges, entre les quals cal destacar que les renovables no emeten gasos d'efecte hivernacle en els processos de generació d'energia, la qual cosa les revela com una solució neta i més viable enfront de la degradació mediambiental. També es pot veure, com al contrari que les fonts tradicionals d'energia -com el carbó, el gas natural, el petroli o l'energia nuclear-, les reserves de la qual són finites, les energies netes són infinites.

Un altre punt a favor és que redueixen la dependència energètica. La naturalesa autòctona de les fonts netes implica un gran avantatge per a les economies locals. També redueix la dependència dels proveïdors de combustibles fòssils i augmenta l'estabilitat econòmica. Finalment, les principals tecnologies renovables han reduït significativament els seus costos, per la qual cosa ja són competitives amb les convencionals. Això desperta paral·lelament un gran interès econòmic, la qual cosa també beneficia el medi ambient, per tractar-se d'energies verdes.

En relació al projecte tecnològic d'aquesta recerca, el següent punt es centrarà en conèixer el biogàs, l'energia solar i l'hidrogen.

6.2. BIOGÀS

6.2.1. HISTÒRIA DEL BIOGÀS

A la fi del segle XVIII el físic italià Alessandro Volta va identificar per primera vegada el metà (CH₄) com el gas inflamable en les bombolles que emergien dels pantans. Durant la Segona Guerra Mundial el metà va cobrar especial importància. Els principals motius del seu augment de popularitat van estar relacionats amb l'escassetat de combustibles. Un cop acabada la guerra, però, la disponibilitat de combustibles fòssils i la seva fàcil obtenció van provocar que la majoria d'instal·lacions de biogàs cessessin el seu funcionament.

No obstant això, hi va haver diverses localitzacions com l'Índia o la Xina on aquesta manera de produir energia elèctrica i tèrmica, a més d'altres subproductes, es va implantar fins al dia d'avui. A l'Índia, al començament de la dècada dels seixanta, es va impulsar notablement la tecnologia de producció de biogàs a partir de fem d'origen boví, amb el doble propòsit de l'aprofitament energètic i l'obtenció d'un biofertilitzant. Deu anys més tard, a la Xina, es va fomentar la construcció de digestors, mitjançant programes d'àmbit nacional.

Als països industrialitzats l'evolució de la tecnologia de biodigestió ha estat diferent i el desenvolupament ha sigut impulsat, més aviat, per motivacions mediambientals que purament energètiques. Durant la dècada dels vuitanta, el biogàs va tornar a adquirir una certa importància com a forma de recuperació energètica en explotacions agropecuàries i agroindustrials. No obstant això, amb la disminució dels preus del petroli, a la fi dels anys vuitanta, l'interès per la tecnologia de digestió anaeròbica va tornar a decaure.

Actualment, el biogàs és utilitzat en la globalitat del planeta com una font de combustible tant a escala industrial com domèstica. La seva explotació ha contribuït a impulsar el desenvolupament econòmic sostingut i ha proporcionat una font energètica renovable alternativa al carbó i el petroli.

L'activitat agropecuària i el maneig adequat de residus rurals poden contribuir significativament a la producció i conversió de residus animals i vegetals (biomassa) en diferents formes d'energia. De manera que els residus es converteixin en recursos. Durant la digestió anaeròbica de la biomassa, mitjançant unes determinades reaccions bioquímiques, es genera el biogàs, el qual, està constituït per metà (CH₄), diòxid de carboni (CO₂) i altres substàncies en menor quantitat.

Aquest biogàs pot ser capturat i emprat com a combustible per a sistemes de transport, d'ús domèstic, industrial o per a produir electricitat.

D'aquesta manera, la digestió anaeròbica, com a mètode de tractament de residus, permet disminuir la quantitat de matèria orgànica contaminant, creant un subproducte molt beneficiós per al medi ambient, també conegut com a biofertilitzant i paral·lelament, produint energia gasosa (biogàs).

Per això, la biotecnologia anaeròbica contribueix a complir tres necessitats bàsiques:

1. Millorar les condicions sanitàries mitjançant el control de la contaminació.
2. Generació d'energies renovables per a activitats domèstiques.
3. Subministrar materials estabilitzats com un biofertilitzant per als cultius.

En resum, la biotecnologia anaeròbica juga un paper important en el control de la contaminació i per a l'obtenció de valuosos recursos: energia i productes amb valor agregat. A més, és una font d'energia renovable, de confiança, constant i fàcilment d'emmagatzemar. Respecta i protegeix l'ambient, genera nous llocs de treball, integra comunitats energèticament vulnerables, redueix l'emissió de gasos d'efecte d'hivernacle i converteix residus en recursos, entre d'altres.

Finalment, cal ressaltar que la població microbiana és essencial en les transformacions d'aquests residus orgànics especialment si es considera que disposen d'un ampli rang de respostes enfront de la molècula d'oxigen, component universal de les cèl·lules. Això permet establir bioprocessos en funció de la presència o absència d'oxigen, a fi de tractar adequadament diversos residus orgànics.

A continuació només es farà referència a les reaccions bioquímiques del tipus anaeròbic, és a dir en absència d'oxigen, ja que les reaccions que es portaran a terme dins del biodigestor seran d'aquest tipus.

6.2.2. ORIGEN

El biogàs és una energia renovable procedent de la transformació de residus orgànics en energia en estat gasós. És una energia que tracta d'obrir-se pas en la seva aportació a l'economia circular, igual que la solar o l'eòlica.

El biogàs és un gas renovable compost principalment per metà i diòxid de carboni obtingut a partir de la degradació anaeròbia, és a dir sense oxigen, dels residus orgànics. Aquesta té un ampli ventall d'aplicacions energètiques, ja que es pot utilitzar a la producció d'electricitat, d'energia tèrmica o fins i tot com a carburant.

Es tracta, per tant, de la transformació de les restes orgàniques d'origen ramader, agroindustrial, domèstic o de llots de depuradores d'aigua. Els residus es converteixen en la matèria primera d'una font d'energia, i d'aquí el seu caràcter renovable.

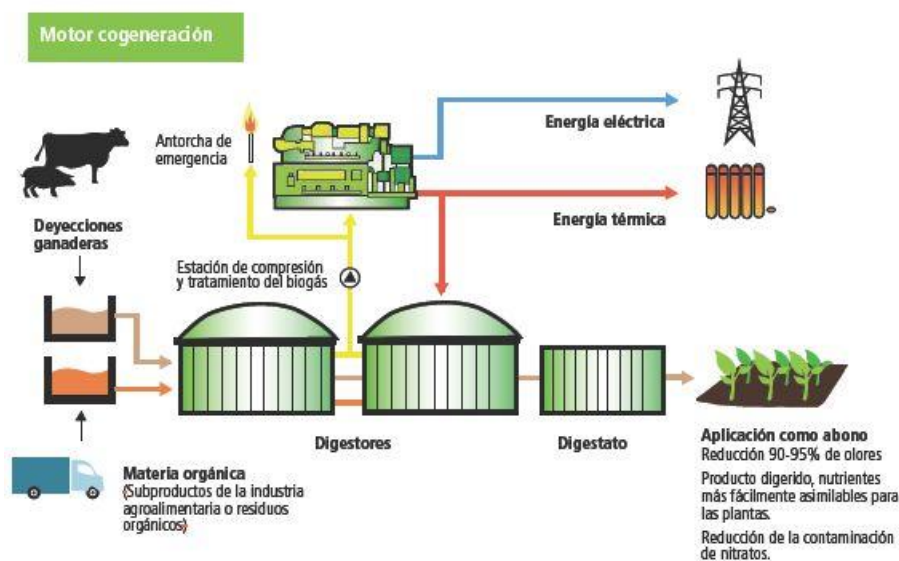
6.2.3. PROPIETATS

El biogàs es genera als medis naturals o en indústries especialitzades en la seva producció. El producte resultant de la biodegradació de la matèria orgànica en escassetat d'oxigen, crea un element gas constituït per metà (CH_4) en una proporció compresa entre el 40% i 70%. També està constituït per altres gasos com el diòxid de carboni (CO_2), l'hidrogen (H_2), el nitrogen (N_2), l'oxigen (O_2) i el sulfur d'hidrogen (H_2S).

6.2.4. OBTENCIÓ

Per a poder aprofitar els gasos resultants es necessita una planta en la qual es puguin emmagatzemar els residus orgànics junt amb els bacteris que són els encarregats de la seva descomposició. La seva producció es pot dur a terme en plantes de biogàs específiques o en complexos per a la gestió de residus. Totes comparteixen uns espais i funcions bàsiques per a la seva obtenció. Primerament, la biomassa es rep i emmagatzema en els receptors. Aquesta matèria orgànica, també coneguda com a substrat, pot procedir per exemple de la ramaderia o dels abocadors. Actualment, s'estan estudiant les mescles d'orgànics, per a intentar optimitzar l'obtenció d'energia. Per regla general, s'intenta que els substrats siguin del mateix tipus.

Una vegada emmagatzemada la matèria primera, aquesta es condueix cap als fermentadors o *biodigestors*. Aquí la matèria passa d'estat sòlid a gas. El substrat s'introdueix en unes cambres fosques sense llum ni oxigen. Existeixen cambres de diferents tipus i formes, però totes coincideixen que els residus es mantenen en moviment i a una temperatura estable prop del 40 °C. El substrat pot romandre en el *biodigestor* durant un temps aproximat de dos mesos. Una vegada acabat aquest procés, s'obtenen dos resultats de la descomposició. D'una banda, es troba el biogàs i per un altre, un producte secundari que pot aprofitar-se per a produir fertilitzants orgànics. Finalment, el gas és transportat a centres productors d'energia elèctrica o és utilitzat directament com a combustible per a generar calor.



Il·lustració 23. Diagrama del procés d'obtenció del biogàs. Font: Redagricola

6.2.5. APLICACIONS

Entre les seves aplicacions, el biogàs s'utilitza principalment per a l'obtenció d'energia elèctrica i tèrmica. També, i després de refinar-ho per a reduir el percentatge de diòxid de carboni, podria injectar-se a la xarxa convencional de gas natural. En aquest cas parlariem d'un metà d'origen renovable, un producte que també podria fer-se servir com a biocombustible en vehicles preparats.

A més, existeixen iniciatives que promouen la instal·lació de petits *biodigestors* particulars perquè els agricultors puguin transformar els seus propis residus i autoproveir-se d'energia.

6.3. ENERGIA SOLAR

6.3.1. ORIGEN I PROPIETATS

L'energia solar és una energia renovable obtinguda a partir de la radiació electromagnètica del Sol. Es tracta d'una energia renovable perquè s'obté d'una font natural i inesgotable, en aquest cas el Sol.

Des de fa milions d'anys el Sol produeix llum i calor, que són la font d'energia principal de la Terra. El Sol és una gegantina esfera incandescent, amb una massa 334000 vegades superior a la de la Terra i amb un diàmetre d'aproximadament 110 vegades el del nostre planeta, que es troba a una distància mitjana de 150 milions de quilòmetres de la Terra.

Al nucli del Sol, la massa del qual està formada fonamentalment per heli, hidrogen i carboni, s'estan produint contínuament reaccions nuclears de fusió (dos àtoms d'hidrogen es fusionen per obtenir un àtom d'heli), que proporcionen una gran quantitat d'energia.

Aquesta enorme quantitat d'energia produïda al nucli del Sol es transmet a l'exterior en forma de radiació electromagnètica mitjançant llum, calor i raigs ultraviolats. De la radiació solar només una petita quantitat arriba a l'atmosfera terrestre, uns 1350 W/m², una part de la qual reflecteix cap a l'exterior i evita que ens arribin radiacions nocives. La cara il·luminada de la Terra rep aproximadament 1000 W/m².

D'aquesta radiació, el 40% correspon a la radiació visible; el 57%, a la radiació infraroja, i el 3%, a la radiació ultraviolada. De la visible, en depèn la vida a la Terra; gràcies a la fotosíntesi s'obté l'oxigen i la biomassa. La infraroja genera una gran quantitat d'energia tèrmica que, emmagatzemada a l'atmosfera, al sòl i a l'aigua, és la que fa que la temperatura del planeta sigui adequada per a la vida i la que provoca els vents i el cicle de l'aigua.

Per tant, la major part de les fonts d'energia renovables i no renovables provenen de la radiació solar. En definitiva, tots els éssers vius que habiten la Terra, reben energia del Sol, directament o indirectament. A més el sol és la central infinita de tres energies renovables (solar fotovoltaica, solar termoelèctrica i solar tèrmica), que mitiguen els efectes del canvi climàtic i que es presenten com una dels millors opcions d'energies renovables.

L'energia solar que arriba a la superfície de la Terra directament es coneix com radiació directa. Quan es reflecteix amb la pols i el vapor d'aigua de l'atmosfera es parla de radiació difusa. Quan el cel està ennuvolat, per exemple, l'única radiació que arriba és la radiació difusa.

6.3.2. OBTENCIÓ I APLICACIÓ

L'aprofitament de l'energia solar dependrà de la quantitat de radiació solar rebuda, la qual cosa depèn de factors com el moment del dia, les condicions atmosfèriques que l'esmoreeixen i la latitud. En condicions de radiació acceptables, la potència equival aproximadament a 1000 W/m² en la superfície terrestre. Aquesta potència es denomina irradiància. Afortunadament, Espanya es troba en una situació avantatjosa per la climatologia, ja que rep un nombre elevat d'hores de Sol.

En l'actualitat es disposa de dos sistemes d'aprofitament de l'energia solar: la conversió fotovoltaica, en què la radiació es converteix directament en energia elèctrica i la via tèrmica que consisteix a aprofitar la radiació solar per convertir-la en energia tèrmica.

Les diferents tecnologies solars es poden classificar en passives o actives segons el mètode com capturen, converteixen i distribueixen l'energia solar. Les tecnologies actives inclouen l'ús de

panells fotovoltaics i col·lectors solars tèrmics per a recol·lectar l'energia. Entre les tècniques passives, es troben diferents tècniques de construcció d'habitatges amb un disseny arquitectònic adaptat a l'entorn i al clima que les envolta.

Des del punt de vista energètic l'energia solar és una de les fonts renovables la instal·lació, gestió i ús de les quals és més accessible, i depenent de la seva procedència i com és processada, existeixen diferents tipus: solar tèrmica, solar fotovoltaica i solar passiva.

6.3.2.1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Un altre sistema per a l'aprofitament de la radiació solar és la conversió fotovoltaica, que consisteix a transformar la radiació solar directament en energia elèctrica, mitjançant captadors formats per cèl·lules solars o fotovoltaïques.

Les cèl·lules fotovoltaïques estan constituïdes per una làmina de material semiconductor, normalment silici, que té la propietat de produir electricitat quan hi incideixen els fotons de les radiacions. Aquest fenomen s'anomena efecte fotovoltaic.

Una dels grans avantatges d'aquesta tecnologia és que és modular: els panells poden fer-se servir per a l'autoconsum, és a dir, per brindar electricitat en llars o edificis i també per a proveir a la xarxa elèctrica a través de plantes fotovoltaïques.

6.3.2.2. ENERGIA SOLAR TÈRMICA

Aquest sistema aprofita l'aportació calorífica que brinda el Sol. La radiació solar es converteix en energia tèrmica per a escalfar un fluid que es pot utilitzar per a diversos usos com pot ser la calefacció o l'aigua calenta sanitària. Quant a les centrals encarregades d'aprofitar l'energia solar per a obtenir energia tèrmica, es poden destacar les centrals termosolars. Aquestes es basen en el principi bàsic de l'ús de sistemes de miralls parabòlics concentradors en els anomenats camps solars.

L'obtenció d'energia elèctrica a través de l'energia tèrmica aconseguida de la radiació solar sempre segueix el mateix procés: la radiació solar es concentra sobre un fluid (aigua, oli tèrmic, sodi, etc.) i es transforma en energia tèrmica; el fluid escalfat, en passar per un intercanviador, produeix el vapor que acciona un grup turboalternador, en el qual s'obté l'energia elèctrica com en qualsevol central tèrmica.

Les centrals termosolars més experimentades són les centrals heliotèrmiques amb col·lectors, sistemes de torre central, centrals de disc Stirling i els concentradors lineals Fresnel.

6.3.2.3. ENERGIA SOLAR PASSIVA

L'energia solar tèrmica i fotovoltaica utilitzen diferents tecnologies per a captar i processar l'energia del sol – és el que es coneix com a energia solar activa. Però també podem aprofitar aquesta energia de manera passiva, és a dir, sense necessitat de cap mecanisme que la reculli i la tracti.

L'energia solar passiva aprofita directament l'energia directa procedent del sol sense realitzar cap transformació. Per tant, no és necessari emprar cap dispositiu elèctric per a transformar un corrent a una altra i per a acumular l'energia. Encara que tot això pot semblar molt modern i tecnològic, en realitat és una de les maneres més antigues d'aprofitar l'energia solar: adaptar els edificis a la climatologia de la zona per a aconseguir una climatització perfecta a cada moment.

6.4. L'HIDRÒGEN VERD

6.4.1. INTRODUCCIÓ

El nom d'hidrogen prové dels termes "hidro" (aigua) i "gènesi" (generador) per a fer referència al fet que aquesta partícula elemental, juntament amb l'oxigen, generen la molècula d'aigua. Com el 70% del Planeta Terra està compost per aigua, ja dona una idea de l'abundància d'aquest element en la naturalesa.

És l'element químic de nombre atòmic 1, representat pel símbol H. Amb una massa atòmica de 1,00797,1 és el més lleuger i senzill de la taula periòdica. En general, es presenta en la seva forma molecular, formant el gas diatòmic H₂ en condicions normals. L'àtom d'hidrogen (H) està format només per un protó i un electró i no té neutrons, que són les partícules sense càrrega però amb massa que mantenen units els protons en el nucli.

L'hidrogen és l'element químic més abundant, en constituir aproximadament el 75% de la matèria visible de l'univers. A temperatura ambient és un gas incolor, inodor i no tòxic, però no es troba lliure en la naturalesa per la seva gran tendència a associar-se amb altres gasos, per la qual cosa per a obtenir-lo és necessari dur a terme un procés de transformació. La major part de l'hidrogen elemental s'obté en el lloc i en el moment en què es necessita. Els majors mercats del món gaudeixen de la utilització de l'hidrogen per la millora de combustibles fòssils (en el procés de *hidrocraqueig*) i en la producció d'amoníac (principalment per al mercat de fertilitzants). L'hidrogen pot obtenir-se a partir de l'aigua per un procés d'electròlisi, però resulta un mètode molt més car que l'obtenció a partir del gas natural.

Segons quina sigui la matèria primera i la font energètica utilitzada per a produir-ho es podrà parlar de processos 100% renovables, 100% fòssils o híbrids en un determinat percentatge.

L'hidrogen pot ser produït localment, en grans instal·lacions centrals o en petites unitats distribuïdes situades en o prop del punt d'ús. Això significa que totes les zones, fins i tot àrees remotes, puguin convertir-se en productors d'energia. Quan l'hidrogen és produït usant fonts d'energia renovables i s'aprofita per a l'alimentació elèctrica de les piles de combustible d'alta eficiència, els beneficis mediambientals de l'hidrogen són encara majors. A més, l'hidrogen pot ser produït i emmagatzemat utilitzant els excedents d'energia produïda per les energies renovables, com la solar, l'eòlica, la hidràulica, etc.

6.4.2. PRINCIPALS APLICACIONS DE L'HIDROGEN

Pràcticament la meitat de l'hidrogen que es produeix industrialment en el món és emprat per a l'elaboració de fertilitzants basats en l'amoníac (NH₃).

Unes altres de les aplicacions importants és per a la fabricació de metanol, que és un compost que s'usa com a additiu de combustibles líquids. L'hidrogen també s'empra industrialment per a l'elaboració de l'aigua oxigenada, així com per a "hidrogenar" els olis orgànics comestibles derivats de la soia, els cereals i el peix. L'hidrogen també s'està emprant actualment com una alternativa tecnològica per a la refrigeració de motors i de generadors elèctrics, a causa de la seva conductivitat tèrmica i la seva baixa viscositat.

D'altra banda, la indústria petroquímica porta ja molt temps emprant l'hidrogen com a component indispensable d'una àmplia gamma de productes derivats del petroli. Finalment, amb la recent aparició de les piles de combustible i la seva aplicació en el sector de l'automoció, la utilització de l'hidrogen també com a combustible obre a la indústria global les portes d'un nou mercat, on és molt segur que l'hidrogen, com a combustible alternatiu, ocuparà un lloc privilegiat.

6.4.3. PROCEDIMENTS ACTUALS PER A L'OBTENCIÓ D'HIDROGEN

Gràcies a les seves propietats químiques, l'hidrogen és un element del qual es pot obtenir molta energia per a ser emprat en piles de combustible. De fet, un quilogram d'hidrogen pot alliberar més energia que un quilogram de qualsevol altre combustible (gairebé el triple que la gasolina o el gas natural), i per a alliberar aquesta energia no emet gens de diòxid de carboni, tan sols vapor d'aigua, per la qual cosa l'impacte ambiental és nul. No obstant això, per a la seva obtenció ha de ser transformat, atès que, malgrat la seva abundància, no es presenta lliure en la naturalesa, sinó que es troba sempre formant composts amb altres elements.

D'entre les substàncies més abundants del planeta que conté hidrogen està l'aigua (H_2O), la gran reserva d'hidrogen del planeta. El procés per a trencar la molècula de l'aigua i obtenir hidrogen pur es coneix com a electròlisi.

L'electròlisi és un procés mitjançant el qual se separen els elements d'un compost químic, en aquest cas aigua, amb la utilització de corrent elèctric. Mitjançant aquest procés s'obté d'una banda oxigen (O_2) i per un altre hidrogen (H_2) en forma de gasos. S'alliberen electrons pels anions en l'ànode, produint-se una oxidació, i es capten electrons pels cations en el càtode, produint-se una reducció. Encara que l'electròlisi és un procés molt conegut i senzill d'aplicar, només un 4% de l'hidrogen que es consumeix avui dia es produeix a partir de l'aigua.

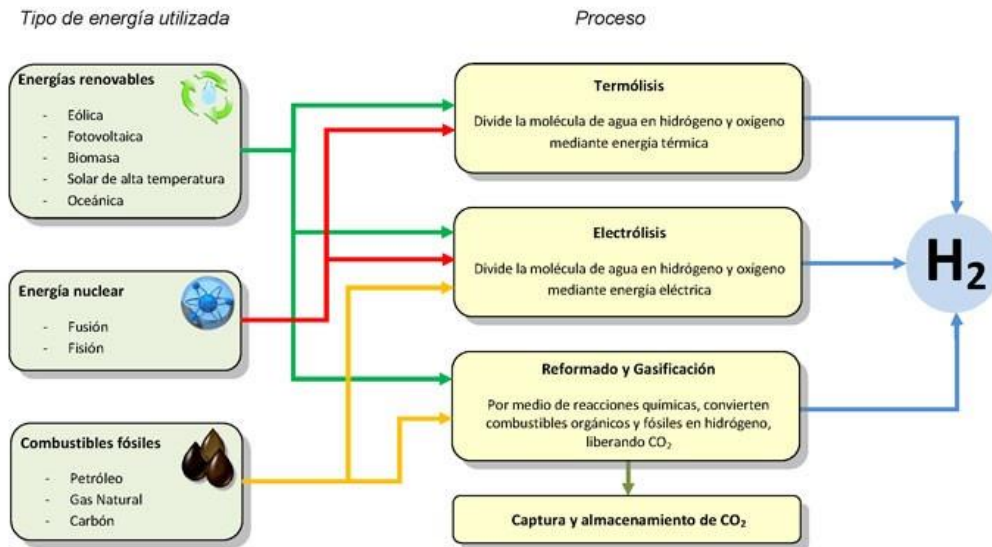
Actualment, l'opció més barata de produir hidrogen és a partir de gas natural mitjançant el reformat amb vapor, això també és conegut com hidrogen gris. Aquest procediment consisteix a trencar les molècules de gas amb vapor d'aigua en presència d'un catalitzador. És el mètode més utilitzat actualment, i de fet, gairebé el 50% de l'hidrogen que es produeix avui dia s'obté d'aquesta manera.

Una altra forma molt utilitzada actualment per a obtenir hidrogen és mitjançant la gasificació de carbó, obtenint així hidrogen negre o gas ciutat. El 20% de la producció mundial d'hidrogen s'obté mitjançant aquest mètode. Aquest procediment consisteix a convertir el carbó sòlid escalfant-lo fins a uns $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ en gas (compost fonamentalment per CO i H_2). En llocs on abundi el carbó, pot suposar una gran alternativa per a la producció d'hidrogen, però no contribuiria a la descarbonització del planeta.

Finalment, el 30% restant procedeix de la gasolina. És obvi que generar hidrogen a partir de fonts fòssils no sembla ser una alternativa renovable, sostenible i ecològica, atès que almenys en la seva elaboració s'emetran gasos d'efecte d'hivernacle, per la qual cosa aquestes formes d'obtenció han de ser tecnologies de transició cap a altres noves tècniques d'obtenir hidrogen més ecològiques i de menys impacte mediambiental, com es veurà en l'apartat següent.

En resum, a més de l'aigua, l'hidrogen pot ser obtingut de molts altres compostos químics, com del gas natural, del carbó, dels hidrocarburs o els alcohols. L'hidrogen és un element químic que forma part de tota la matèria orgànica. Hi ha hidrogen, per tant, en tota la biomassa del planeta i el biogàs. Per a la seva obtenció només serà necessari trencar, mitjançant l'ús de diferents tecnologies, els enllaços de les molècules que el contenen per a alliberar l'hidrogen.

És per això, que un dels principals avantatges d'emprar l'hidrogen com a combustible és que pot obtenir-se pràcticament de qualsevol lloc, per la qual cosa permetria la independència energètica dels països. Només el desenvolupament de noves tecnologies en aquest camp permetrà crear procediments de producció d'hidrogen a gran escala que siguin del menor impacte mediambiental possible i econòmicament viables.



Il·lustració 24. Esquema dels diferents mètodes d'obtenció de l'hidrogen. Font: centre nacional d'Hidrogen.

6.4.4. ALTERNATIVES PER A LA PRODUCCIÓ D'HIDROGEN EN EL FUTUR

Pràcticament, tots els experts en la matèria prediuen que l'hidrogen es produirà en el futur a partir de l'aigua, emprant electricitat que tingui un origen renovable. És una postura lògica, perquè combina l'abundància de la matèria primera amb un procés senzill (electròlisi) que pot utilitzar electricitat produïda a partir d'energies renovables (solar, eòlica...).

Una altra de les alternatives que estan sent desenvolupades actualment és la gasificació de biomassa per a l'obtenció d'hidrogen. Encara que és un procés una mica més costós que el reformat de gas, pot resultar rendible en aquelles zones on la biomassa sigui abundant i barata d'obtenir. Una tercera alternativa serien les versions "bio" dels hidrocarburs i alcohols (biodièsel, biogàs i biometà, principalment) per a l'obtenció d'hidrogen.

Una altra línia de recerca que s'està seguint és un tipus de tecnologia basada en l'ús d'energia tèrmica d'alta temperatura. En aquest camp, és la indústria nuclear la que pot presentar-se com una alternativa seriosa per a l'obtenció d'hidrogen a gran escala.

6.4.5. TIPUS D'HIDROGEN

La humanitat porta molt temps utilitzant l'hidrogen com a matèria primera en la indústria química o la metal·lúrgia i com a combustible, però com no es pot prendre directament de la naturalesa en estat pur, necessita ser fabricat. El mètode mitjançant el qual obtenim l'hidrogen és el que determina que aquest sigui un combustible net i sostenible o no ho sigui. Això dona lloc a la distinció dels diferents tipus d'hidrogen:

- Hidrogen negre, produït a partir d'hidrocarburs, sense captura d'emissions i sense usar energia procedent de fonts renovables.
- Hidrogen gris, produït a partir de gas natural amb la tècnica del reformat per vapor. És altament utilitzat per les indústries.
- L'hidrogen marró o gas ciutat es genera des de la gasificació del carbó.
- Quan s'obté l'hidrogen a partir d'hidrocarburs i s'efectua una captura de les emissions contaminants en un alt percentatge, es parla d'hidrogen blau. És el més utilitzat per les indústries.

- L'hidrogen turquesa es refereix a l'hidrogen produït a partir d'hidrocarburs (generalment gas natural), però amb la tècnica de la piròlisi, en el qual el carboni s'obté en estat sòlid i s'eviten les emissions contaminants.
- Hidrogen verd

Quan parlem d'hidrogen verd, ens referim a un hidrogen que ha estat obtingut sense generar emissions contaminants, un hidrogen sostenible. Un combustible que ja es postula com el vector energètic clau per aconseguir la descarbonització del planeta i complir amb els compromisos marcats per a 2050 en la lluita contra el canvi climàtic.

La tecnologia utilitzada en la generació d'hidrogen verd —un combustible universal, lleuger i molt reactiu— és un procés químic conegut com a electròlisi. Aquest mètode utilitza el corrent elèctric per a separar l'hidrogen de l'oxigen que hi ha en l'aigua, per la qual cosa, si aquesta electricitat s'obté de fonts renovables, s'obté com a resultat energia sense emetre diòxid de carboni a l'atmosfera en tot el seu cicle productiu.

Aquesta manera d'obtenir hidrogen verd, com apunta la AIE, estalviaria els 830 milions de tones anuals de CO₂ que s'originen quan aquest gas es produeix mitjançant combustibles fòssils.

PART PRÀCTICA

7. MEMÒRIA TÈCNICA DEL COTXE D'HIDROGEN

A continuació, s'iniciarà la part pràctica amb la memòria tècnica del cotxe d'hidrogen. Caldria recalcar que en el present treball es realitzarà un total de tres memòries tècniques, una per a cada vector energètic estudiat. En aquestes memòries tècniques es tractarà d'acreditar i referenciar el treball realitzat, de manera que sigui aval a la qualitat d'aquest.

En un primer lloc, s'iniciarà amb una descripció del problema on s'introdueixen els objectius del projecte tecnològic a realitzar. Qualsevol procés tecnològic va precedir abans d'una investigació teòrica enfocada en els punts clau del projecte. Sobretot, s'ha hagut de buscar informació sobre la pila de combustible, l'element més important del cotxe d'hidrogen. Un cop construït el cotxe, tota la metodologia, passos a seguir, inconvenients i resultats es reflecteixen al següent apartat. Per últim, es valoraran els resultats i es conclourà la memòria tècnica amb una visió crítica i unes propostes de millora.

7.1. DESCRIPCIÓ I ANÀLISI DEL PROBLEMA

L'objectiu del projecte tecnològic del cotxe d'hidrogen és construir una maqueta funcional tot impulsada amb hidrogen. L'hidrogen s'està mostrant, cada dia més, com un futur vector energètic i és per això que es vol demostrar de manera pràctica la seva viabilitat.

7.2. RECERCA D'INFORMACIÓ

7.2.1. ESTUDI DE LA PILA DE COMBUSTIBLE

Les piles de combustible són dispositius electroquímics que porten a terme una transformació directa dels combustibles, normalment hidrogen, en energia elèctrica. No necessiten portar a terme una combustió, per aquest motiu no sofreixen grans pèrdues energètiques en forma de calor, també explicat en el cicle de Carnot². Paral·lelament, el seu rendiment és molt més alt.

Altrament, davant la imminent escassetat dels combustibles fòssils i el greu problema mediambiental que presenta el seu ús, les piles de combustible es presenten com possible alternativa energètica. Podria considerar-se una tecnologia pont entre el sistema energètic actual, basat en els combustibles fòssils anteriorment tractats, i el sorgiment de noves energies amb zero emissions a l'atmosfera. Els principals avantatges són dos, en primer lloc, el volum de gasos emesos per quantitat d'energia disminueix notablement, segonament, les piles de combustible poden funcionar amb un gran ventall de combustibles anant des dels hidrocarburs (gas natural, derivats del petroli) fins a l'hidrogen o alts elements susceptibles a ser oxidats electroquímicament (alcohol, amoníac, sulfur d'hidrogen, etc.).

Tenint en consideració els punts anteriors, es pot arribar al principi que regeix la construcció de l'automòbil d'hidrogen. Si la pila de combustible s'acoblés a una font d'energia renovable per produir hidrogen verd i conseqüentment s'aprofités l'hidrogen per produir electricitat amb l'únic subproducte de l'aigua, el cercle de zero emissions es tancaria i ens trobaríem davant d'una energia neta i eficient.

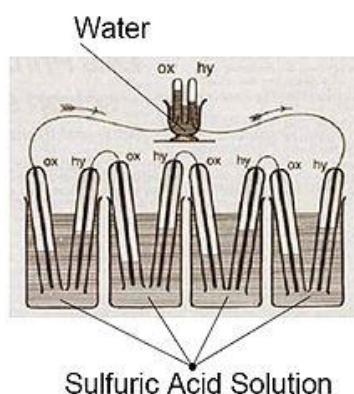
² El cicle de Carnot és un cicle termodinàmic que es duu a terme en una màquina o equip que absorbeix energia tèrmica (calor Q1) des d'una font d'alta (font amb una major temperatura) i atorga energia tèrmica (calor Q2) a una font de baixa (font amb menor temperatura). Tot aquest flux d'energia té com a objectiu produir un treball sobre l'exterior.

Més específicament, en l'àmbit automobilístic, i en el següent treball també, l'energia renovable que impulsa l'electròlisi de l'aigua és l'energia solar fotovoltaica. No massa enllà, es poden trobar exemples d'aquesta tecnologia aplicada a la realitat, tot i que moltes d'elles es troben en fase experimental. El Toyota Mirai i el Hyundai Nexo són dos clars exemples, encara que aquestes marques de cotxes han optat per no portar a terme l'electròlisi dins de l'automòbil, sinó fer provisió de l'hidrogen verd en "hidrogeneres" específiques per aquest tipus de vehicles. Un altre exemple de mobilitat d'hidrogen se situa a Islàndia. Aquest és el primer país sense emissions de CO₂, basat en les energies renovables i on el 70% de l'energia consumida prové de fonts renovables com l'energia geotèrmica i l'energia hidràulica.

7.2.1.1. HISTORIA DE LA PILA DE COMBUSTIBLE

El següent punt tracta de sintetitzar la història de la pila de combustible i els fets més importants que van tindre lloc entorn aquesta creació.

Tot es remunta el febrer de 1839, quan al jutge convertit en científic Sir William Grove se li va ocórrer una idea nova: construir una cel·la que constava de dos compartiments segellats separats, cadascun dels quals estava alimentat per hidrogen o oxigen gasós. En aquest moment, va cridar al seu invent una "bateria voltaica de gas". A més, la cèl·lula de Grove utilitzava zinc i elèctrodes de platí exposats a dos àcids (que funcionaven com electròlits i que treballaven a temperatura ambient) i que es trobaven separats per un material ceràmic porós. Desafortunadament, no va produir suficient electricitat per a ser de molta utilitat. Tot i que s'atribueix el primer descobriment pràctic a Grove, el descobriment teòric va tindre lloc un any abans, quan Christian Friedrich Schöbein va descobrir els efectes de l'electròlisi inversa. Tots dos van publicar els seus descobriments científics a la reconeguda revista *Philosophical Magazine*.



Il·lustració 25. Esquema de la bateria elèctrica de gas de Grove (1839). Font: Wikipedia

En 1889 es va adoptar el terme pila de combustible referint-se al que fins llavors es coneixia com a bateria de gas. Això va ser gràcies a L. Mond i C. Langer que van tractar de construir una pila que funciona amb aire i gas d'hulla³ industrial.

En aquella època, el fenomen de la conductivitat era borrós. Sí que es coneixia que els metalls eren bons conductors elèctrics, que ho feien per mitjà de la llei d'Ohm i que les dissolucions aquoses iòniques també eren bones conductores de l'electricitat. Ara bé, no va ser fins a l'any 1893 que Friedrich Wilhelm Ostwald va aclarir aquestes qüestions quan va definir experimentalment la funció dels diversos components d'una pila de combustible.

³ L'hulla és una roca sedimentària orgànica, un tipus de carbó mineral que conté entre un 80 i un 90% de carboni.

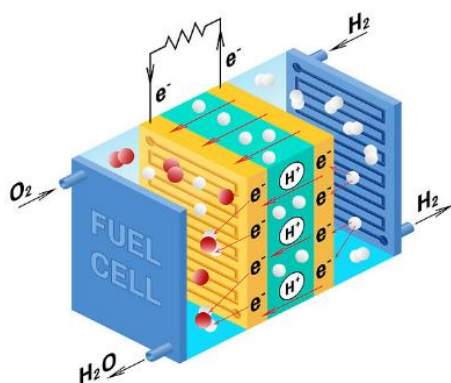
Més tard van continuar les piles de combustible de ceràmica, inventades, en part, degut al descobriment dels electròlits d'òxids sòdics, l'any 1899 per Walther Nernst. El físic i químic alemany, Nernst, va proposar utilitzar la "massa de Nernst", uns sòdis de ZrO_2 dopats amb un 15% de Y_2O_3 , com a electròlit a les làmpades elèctriques. Contínuament, Walter Hans Schottky va proposar implementar l'electròlit de Nernst a les piles de combustible. Seguint les indicacions de Schottky, l'any 1937 Baur i Preis van portar-ho a terme. Variant també altres aspectes com els conductors iònics i la composició del càtode i ànode, que estava fet de ferro o carbó en el cas de l'ànode i de Fe_3O_4 en el càtode. L'únic inconvenient que van trobar era que les densitats de corrent resultants eren molt baixes degudes a la gran resistència interna de la pila.

En 1958, Francis Bacon va substituir els electròlits àcids per electròlits bàsics, com el KOH , que a diferència dels fins aleshores utilitzats, no era tan corrosiu amb els elèctrodes. Aquest fet va suposar també la creació de les piles alcalines (AFCs). Durant la dècada dels setanta i principis dels vuitanta es van produir nombrosos avenços en el desenvolupament pràctic de les piles, com ara la pila polimèrica de Du Pont o el pas de la pila ceràmica plana a noves configuracions més actuals com la pila tubular.

7.2.1.2. COM ESTÀ FORMADA UNA PILA DE COMBUSTIBLE?

Una pila de combustible és un dispositiu electroquímic que converteix de manera directa l'energia química en elèctrica, mitjançant cel·les electroquímiques. Part d'un combustible (generalment hidrogen) i d'un carburant (en molts casos oxigen) per a produir aigua, electricitat en forma de corrent continu i calor.

Les piles de combustible consten de tres elements essencials: elèctrode, electròlit i les plaques bipolars. Cada pila consta de dos elèctrodes, un ànode i un càtode, separats per un electròlit. L'hidrogen, obtingut mitjançant un procés d'electròlisi de l'aigua, ingressa a la cel·la de combustible a través de l'ànode. Aquí, els àtoms d'hidrogen reaccionen amb un catalitzador i es divideixen en electrons i protons. L'oxigen de l'aire ambient entra per l'altre costat a través del càtode. Els protons carregats positivament passen a través de la membrana electrolítica porosa al càtode. Els electrons carregats negativament surten de la cel·la i generen un corrent elèctric. Finalment, en el càtode, els protons i l'oxigen es combinen per a produir aigua.



Il·lustració 26. Representació gràfica de la composició d'una pila de combustible, les reaccions que hi ocorren i el producte d'aquestes. La segona imatge és un codi QR, que redirigeix a un curt vídeo que mostra de forma més clara el que succeeix a l'interior de la pila (cal escanejar el codi QR amb la càmera del mòbil per poder accedir al material). Font: pròpia.

És a dir, el combustible és enviat a l'ànode on es redueix l'H₂ en dos protons H⁺ i a l'altre elèctrode, el càtode, on reaccionen els protons H⁺ i O₂. Les reaccions que tenen lloc en cada electró són:

- Reacció en l'ànode: $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
- Reacció en el càtode: $\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
- Reacció global: $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

En el costat de l'ànode, l'hidrogen que arriba és dissocia en protons i electrons. Els protons són conduïts a través de la membrana al càtode, però els electrons estan forçats a viatjar per un circuit extern (produint energia), ja que la membrana està aïllada elèctricament. En el catalitzador del càtode, les molècules de l'oxigen reaccionen amb els electrons (conduïts a través del circuit extern) i protons per a formar l'aigua. En aquest cas, l'únic residu és vapor d'aigua o aigua líquida.

7.2.1.3. PROPIETATS GENERALS DE LA PILA DE COMBUSTIBLE

La pila de combustible presenta diverses característiques que la fan més avantatjosa en comparació amb els altres mètodes d'obtenció d'energia.

La primera i més destacable de les seves propietats, és que aquestes transformen l'energia química en electricitat en un sol pas. Mentre que, en un procés tèrmic convencional l'energia química del combustible es converteix primerament en energia tèrmica, posteriorment en energia mecànica i finalment en energia elèctrica.

El primer avantatge està molt relacionat amb el segon. I és que la manera tradicional de produir energia és molt poc eficient. El pas intermedi a través de l'energia tèrmica limita dràsticament l'eficiència, a causa de les lleis de la termodinàmica, sense que hi hagi cap procés d'optimització que el pugui corregir. En una pila de combustible, per contra, l'energia química del "combustible" es converteix directament en energia elèctrica a través d'una reacció electroquímica, sense intervenir cap procés de combustió, i l'eficiència arriba a aconseguir valors de fins a un 70%.

En tercer lloc, la pila d'hidrogen és versàtil i pot treballar amb un gran ventall de combustibles. És capaç de funcionar amb qualsevol compost susceptible a ser oxidat, en les condicions de treball de la pila. A la pràctica, s'acostuma a emprar hidrogen, alcohols o hidrocarburs, incloent-hi alguns tipus de combustibles tradicionals, però què avantatge presenta, poder utilitzar els combustibles fòssils dels quals es vol prescindir? La realitat és que la pila de combustible, en comparació amb els sistemes elèctrics convencionals, presenta una compatibilitat mediambiental. Això és degut al fet que redueix notablement la quantitat d'emissions contaminants per al medi ambient com, per exemple el NO_x o el SO_x.

El quart punt a favor seria la seva modularitat. Això vol dir que les piles poden adaptar-se, en un major o menor nombre de mòduls, a les prestacions requerides del projecte. El cinquè i últim avantatge és la seva discreció de treball. Les piles de combustible són silencioses i aquesta qualitat les permetria instal·lar-se en àrees urbanes o residencials sense ser pràcticament identificades.

7.2.1.4. TIPUS DE PILES DE COMBUSTIBLE

En general, les piles de combustible es classifiquen principalment per l'electròlit que emparen. Això determina el tipus de reaccions químiques que tenen lloc en la cel·la, el tipus de catalitzadors que requereixen perquè tingui lloc la reacció, el rang de temperatures d'operació de la cel·la i el combustible requerit. Aquestes característiques, al seu torn, també afecten la mena d'aplicacions per a les quals aquestes piles són més adequades.

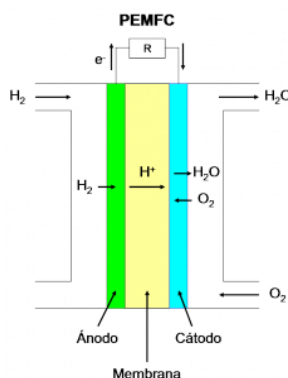
Els cinc tipus clàssics de pila són: de membrana polimèrica (PEMFC), alcalines (AFC), àcid fosfòric (PAFC), de carbonat fos (MCFC) i les d'òxids sòlids (SOFC).

PILA DE COMBUSTIBLE DE MEMBRANA POLIMÈRICA (PEMFC)

L'electròlit d'aquestes piles és normalment *NafionTM*, una membrana d'intercanvi iònic que és un excel·lent conductor protònic. Els elèctrodes normalment són de platí o d'un aliatge de plutoni amb ruteni. En aquesta pila els problemes relacionats amb la corrosió són pocs, ja que l'únic líquid que hi circula pel seu interior és aigua. La temperatura de treball ronda entre els 60 i els 120°C, obtenint-se rendiments de 40 o 50%.

Pel que respecta als inconvenients, el primer seria el seu alt cost. Això és degut a que la pila treballa en un medi ric en combustible i com a conseqüència es necessita d'una gran quantitat de catalitzador. Seguidament, altre contra de les piles PEMFC és que poden enverinar-se fàcilment amb la presència de CO, és a dir, el combustible ha de ser d'una gran puresa i no ha de contenir traces d'aquest. Per aquest motiu, els combustibles més utilitzats són l'hidrogen (H₂) o metanol (CH₃OH).

Gràcies a la baixa temperatura de funcionament d'aquest tipus de pila de combustible, la converteixen en la indicada per funcionar en el transport. Darrerament, les marques automobilístiques que més han destacat en l'ús de piles de combustible als seus prototips ha sigut BMW, Toyota, Hyundai, Ford, Honda, Fiat, General Motors, Hopium Machina i Land Rover, entre d'altres.

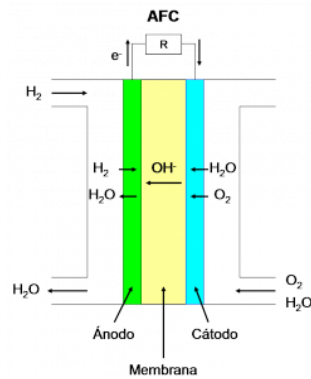


Il·lustració 27. Representació gràfica dels elements i reaccions presents en una pila de combustible de membrana polimèrica (PEMFC). Font: apilados.com

PILA DE COMBUSTIBLE ALCALINA (AFC)

Les AFC o piles de combustible alcalines utilitzen hidròxid de potassi (KOH) concentrat com electròlit amb un rang de temperatura de treball de 250°C aproximadament. L'eficiència de la pila ronda el 70%. Un dels avantatges que presenta és que pot ser utilitzada amb un ampli ventall de catalitzadors. Com en la pila del tipus PEMFC, el CO és perillós per al seu correcte funcionament, doncs aquest podria reaccionar amb el KOH formant K_2CO_3 . És per això que el combustible utilitzat ha de ser d'una gran puresa i com en el cas anterior el combustible utilitzat sol ser hidrogen. Fent referència al seu punt negatiu, el seu cost és considerablement elevat.

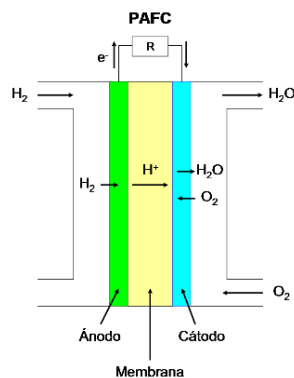
La pila de combustible alcalina no és una invenció recent, sinó que la seva invenció és pròpia dels cinquanta. Va ser utilitzada, fins i tot, en missions espacials com l'Apol·lo o Gemini als Estats Units d'Amèrica en la dècada dels 60 i 70. La seva funció principal era proporcionar electricitat i aigua potable a les naus espacials.



Il·lustració 28. Representació gràfica dels elements i reaccions presents en una pila de combustible alcalina (AFC).
Font: apilados.com

PILA DE COMBUSTIBLE D'ÀCID FOSFÒRIC (PAFC)

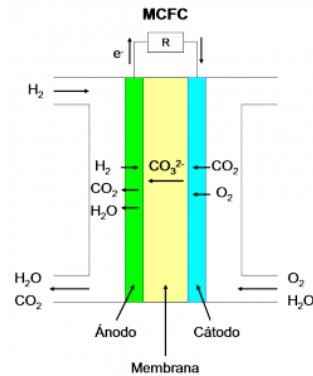
Les primeres piles de combustible comercials van ser les PAFC. L'electròlit és àcid fosfòric pur i l'anòde i el càtode del catalitzador són de platí. En el cas de què la pila sigui de cogeneració, la seva eficiència pot arribar a ser del 80%. Una de les seves qualitats més destacables és que la pila d'àcid fosfòric pot treballar en un ampli rang de temperatures, gràcies a l'estabilitat de l'electròlit.



Il·lustració 29. Representació gràfica dels elements i reaccions presents en una pila de combustible d'àcid fosfòric (PAFC). Font: apilados.com

PILA DE COMBUSTIBLE DE CARBONAT FOS (MCFC)

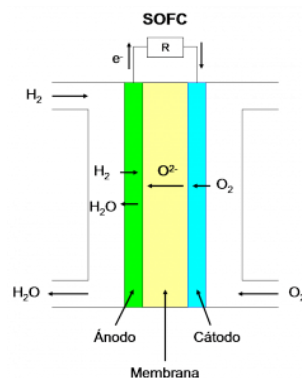
L'electròlit d'aquesta pila de combustibles és una combinació de carbonats alcalins, que es troben fixats a una peça de metaluminat de liti. L'ànode és de níquel (Ni) i el càtode d'òxid de níquel (NiO). La temperatura de funcionament es troba compresa entre els 600 i els 700°C. A l'igual que la pila PAFC, la pila de combustible de carbonat fos té una eficiència del 80%, si es tracta de cogeneració. Les altes temperatures de treball de la pila afecten negativament la seva durabilitat i la seva aplicació s'estén a les plantes generadores d'energia, més detalladament de 2 MW.



Il·lustració 30. Representació gràfica dels elements i reaccions presents en una pila de combustible de carbonat fos (MCFC). Font: apilados.com

PILA DE COMBUSTIBLE D'ÒXIDS SÒLIDS (SOFC)

Entre les piles de combustible, les piles d'òxids sòlids són les que més activitat investigadora han despertat. Aquestes es basen en la capacitat de certs òxids de transportar ions d'òxid a temperatures compreses entre els 600 i 1000 graus centígrads. La SOFC destaca per tenir una eficiència del 85%, per tant les pèrdues energètiques són menors que a la resta de piles de combustible. Altre avantatge és que com a conseqüència de les altes temperatures de treball, el combustible no ha de ser de gran puresa, però el desgast de les peces és major i per tant la durabilitat menor. Les piles SOFC tenen la seva principal aplicació a la generació d'electricitat.



Il·lustració 31. Representació gràfica dels elements i reaccions presents en una pila de combustible de carbonat fos (MCFC). Font: apilados.com

A continuació es mostra una gràfica que sintetitza la informació més rellevant de cada pila de combustible:

	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC
Electròlit	Polímer	KOH	H ₃ PO ₄	Carbonat	Òxid Sòlid
Combustible	H ₂ /CO/CH ₃ OH	H ₂	H ₂ /CO	H ₂ /CO	H ₂ /CO
Temperatura (°C)	60-120	80-200	180-210	600-700	800-1000
Eficiència	40 - 50%	50%	40 - 80%	60 - 80%	65 - 85%
Aplicacions	Transport residència portàtils	Espacial i militar	Generació elèctrica i calor transport	generació elèctrica i calor	generació elèctrica i calor
Rang de potència	5-250 kW	5-150	50 kW-11 MW	100 kW - 2 MW	100 - 250 kW
Avantatges	baixa temperatura, encesa ràpida, poca corrosió i manteniment	baixa corrosió, reacció catòdica ràpida i alt rendiment	pot utilitzar H ₂ de poca puresa i elevada eficiència en cogeneració	gran ventall de combustibles i alta eficiència	gran ventall de combustibles i alta eficiència
Desavantatges	perill d'enverinament amb el CO ₂ i combustibles molt purs	Reactius costosos i perill d'enverinament amb el CO ₂ .	electròlit corrosiu	alta temperatura i gran desgast de les peces	alta temperatura i gran desgast de les peces

En l'actualitat, però, existeixen altres tipus de piles de combustible menys conegudes, de les quals es poden destacar les piles de combustible biològic (MFC), les d'energia blava, les piles de zinc, la pila de combustible reversible, la pila redox, la pila de combustible de borocarburi (BHFC), d'àcid fòrmic (DFFC) i la pila directa de metanol (DMFC) o etanol (DEFC).

Entre les piles anteriorment citades, s'aplicarà especial interès en la de combustible regeneratiu o reversible ja que serà empleada posteriorment en la construcció del vehicle. Les **piles regeneratives** o **RFC** són dispositius híbrids capaces de separar els elements bàsics de l'aigua, és a dir l'hidrogen i l'oxigen, mitjançant un electrolitzador que funciona gràcies al corrent aportat per una placa solar. L'hidrogen i l'oxigen obtinguts a l'electròlisi són utilitzats posteriorment com a combustible i oxidant, per produir electricitat i H₂O.

PILES DE COMBUSTIBLE SEGONS EL MÈTODE DE SUBMINISTRAMENT DELS REACTANTS

En funció de com els reactants⁴ siguin subministrats a la pila aquesta es pot classificar en activa o passiva.

D'una banda les actives consten de dispositius externs a l'estructura de la pila, com bombes o compressors, que subministren els reactants a la pila i s'encarreguen d'eliminar els productes no desitjats. És a dir, els reactants són introduïts als elèctrodes per bombes i compressors, a través d'una diferència de pressions.

D'altra banda, les bombes passives no requereixen de dispositius auxiliars de subministrament. En el seu lloc empren la difusió per diferència de concentració per a subministrar els reactants i eliminar els productes. Per aquest motiu, la densitat de potència que aporten és molt menor, en comparació amb les piles de combustible actives.

APLICACIÓ DE LA PILA DE COMBUSTIBLE EN VEHICLES

Les piles de combustible estan sent aplicades als vehicles elèctrics com una forma alternativa de produir energia que serà utilitzada per moure un motor elèctric posteriorment. Com s'ha vist amb anterioritat, existeixen diferents tipus de piles de combustible, les utilitzades, però, als vehicles d'hidrogen són les PEMFC (Pila de combustible de membrana polimèrica). Aquest tipus de vehicles apliquen l'hidrogen de diferents maneres, ja sigui en estat gasós, líquid o combinat amb altres carburs metàl·lics.

El motiu pel qual són les piles del tipus PEMFC, les utilitzades en l'automoció, és primerament, per la seva grandària compacta. En segon lloc, la relació potència-volum presenta un equilibri molt favorable i que s'adapta a les demandes energètiques habituals de la conducció. En tercer lloc, és gràcies a la seva baixa temperatura de funcionament i ràpida resposta a les variacions, que tenen tant èxit al transport.

L'aplicació de les piles de combustible no es limita únicament als cotxes, sinó que s'estan aplicant també a vehicles de majors dimensions. L'ús d'aquests sistemes d'energia està trobant més dificultats en els vehicles de menors dimensions, com turismes, que en els més voluminosos, com ara camions i autobusos. Això és perquè els vehicles grans tenen més capacitat d'emmagatzemar l'hidrogen, sense que això suposi un increment contraproductiu de la massa del vehicle. En canvi, en els automòbils més lleugers el pes del vehicle sí es veu notablement incrementat.

És curiós veure que 1 kg d'hidrogen a 300 bars de pressió ocupa aproximadament 60 litres, i en canvi, a pressió atmosfèrica 1 kg de combustible ocuparia 11.000 litres. Com es pot observar, la major exigència d'espai per a emmagatzemar una mateixa quantitat d'hidrogen a menor pressió és el que limita en l'actualitat l'ús de les piles d'hidrogen en els vehicles petits. No obstant, en l'actualitat s'està investigant el mètode per emmagatzemar el combustible d'hidrogen a grans pressions de manera segura.

⁴ Dit d'una substància que participa en una reacció química produint una altra o altres diferents de les primitives.

AVANTATGES DE L'ÚS DE PILES DE COMBUSTIBLES ENFRONT DE BATERIES CONVENCIONALS

Un dels punts on els combustibles fòssils resulten més atractius que els nous models de cotxes elèctrics és en el temps necessari per proveir-se. En aquest sentit, els automòbils impulsats per hidrocarburs necessiten tan sols un parell de minuts per proveir-se per complet, ja que el combustible s'introdueix de manera immediata al dipòsit. Per contra, no passa el mateix amb els vehicles elèctrics, els quals necessiten hores per carregar la seva bateria per complet. En aquest sentit, els vehicles de pila de combustible s'assemblen molt, en la seva manera de proveir, a la dels vehicles tradicionals amb motor de combustió, sobretot en temps. Sempre i quan es consideri que el vehicle no té una pila de combustible reversible. És a dir, que no hagi de produir l'hidrogen mitjançant una font d'energia externa, sinó que l'obtingui externament d'una "hidrolinera"⁵

El cotxe d'hidrogen representa la gran esperança per als qui no confien en els vehicles elèctrics per la seva limitada autonomia i els seus llargs temps de recàrrega. Fent referència a l'autonomia que proporciona un vehicle que funciona amb piles de combustible, aquesta és molt superior a l'aportada per les bateries elèctriques actuals. Aquesta comparació s'ha de portar a terme en igualtat de pesos, i és important tenir-ho en compte. Diversos estudis han determinat que per recórrer una distància de 100-150 quilòmetres, un turisme d'hidrogen necessita un quilogram de combustible. Això verifica que l'hidrogen és molt més eficient i proporciona més autonomia que les bateries elèctriques convencionals.

Un altre aspecte a considerar és la seguretat dels vehicles d'hidrogen. En espais oberts, l'hidrogen no suposa cap perill, doncs en cas de fuga no genera cap risc d'explosió i és volàtil, així que desapareix amb rapidesa en estar en contacte amb l'aire. Tanmateix la preocupació més extensa no tracta de l'hidrogen, sinó del tanc de combustible que el suporta a una gran pressió. D'aquest àmbit tampoc cal preocupar-se, doncs els grups de recerca han desenvolupat dipòsits amb materials molt resistents i que no presenten un perill en cas d'accident.

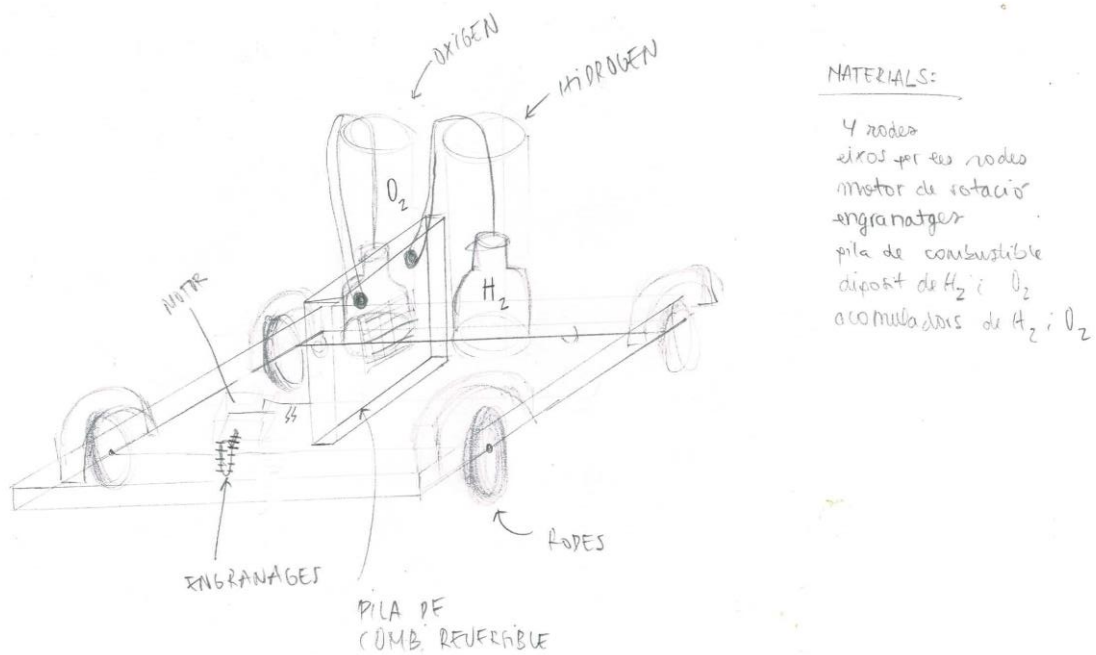
7.3. EXCECUCIÓ I PLA DE TREBALL

Un cop assentades les bases teòriques del treball, és hora de fer una realitat material el cotxe d'hidrogen. Aquest apartat mostra com es va iniciar el projecte, amb un esbós inicial, com es van comprar les peces necessàries, com muntar el cotxe i finalment quins van ser els resultats. Ja que el cotxe d'hidrogen és el més complex de tots, la seva memòria tècnica consta amb un apartat que correspon als inconvenients que es van trobar en el seu muntatge, que no van ser pocs. I finalment una apreciació crítica amb propostes de millora.

7.3.1. DISSENY PREVI

Un esbós és un dibuix que expressa una imatge o una idea, confeccionat a mà *alçada*, abans de l'execució del dibuix definitiu. Com es podrà veure, no és exacte, però la seva funció no és determinar el producte final amb exactitud, sinó ajudar a l'autor a plasmar una idea inicial.

⁵ Actualment, en molts països s'està duent a terme la construcció d'infraestructures o punts de subministrament d'hidrogen (comunament conegut com "hidrolineres") que permeten el subministrament d'hidrogen per al funcionament dels vehicles amb pila de combustible.



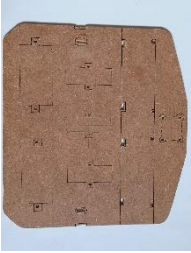
Il·lustració 32. Esbós del cotxe d'hidrogen i els seus components principals. Font: pròpia.

7.3.2. MEMÒRIA DESCRIPTIVA

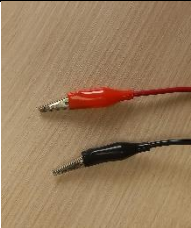
7.3.2.1. COMPONENTS

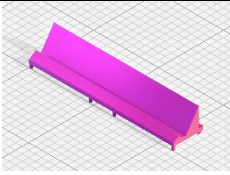
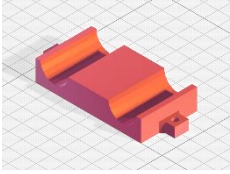
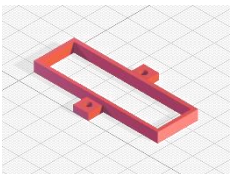
COMPONENT	IMATGE	QUANTITAT	PES (g)
Pila de combustible		3 unitats	66g
Motor de rotació de corrent continua		2 unitats	49g

VEHÍCLES IMPULSATS PER ENERGIES ALTERNATIVES

Base del prototip		1 unitat	51
Rodes		2 unitats	57g
Caixa d'engranatges		2 unitats	50g
Dipòsit de H2 i O2 (xeringues)		2 unitats	41g
Panell solar 2V		1 unitats	18g
Tub de silicona i taps		1 unitat	30g
Cargols		12 unitats	10g

VEHÍCLES IMPULSATS PER ENERGIES ALTERNATIVES

Femella		6 unitats	3g
Peça espiadora		4 unitats	4g
Roda universal		1 unitat	28g
Peça passadora en forma de T		4 unitats	1g
Connexions cocodril		2 unitats	4g
Connexions banana		4 unitats	2g
Cable elèctric (vermell i negre)		1 vermell 1 negre	20g
Regleta		2 unitats	9g

COMPONENTS ESPECIALS			
PEÇA 1 3D: Suport dels panells solars		1 unitat	100 g
PEÇA 2 3D: Suport dels dipòsits		2 unitats	63 g
PEÇA 3 3D: Suport de la pila de combustible		3 unitats	13 g

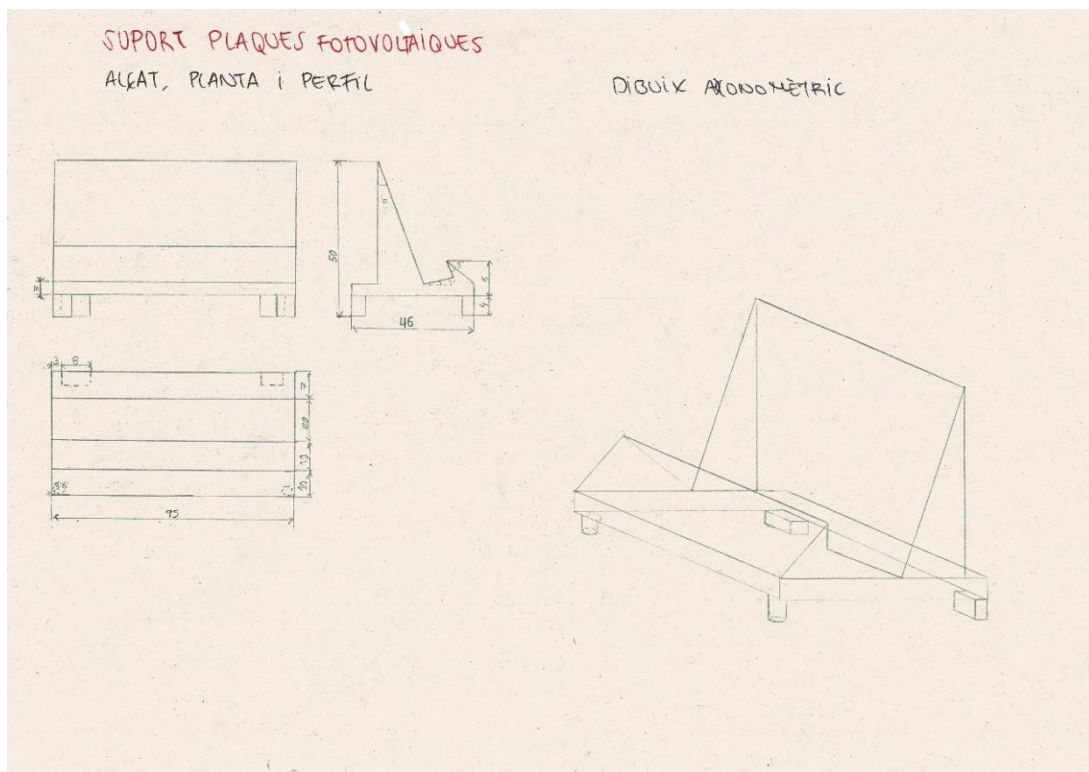
El disseny de les peces especials es va portar a terme mitjançant <https://www.tinkercad.com/>. Es va escollir aquesta aplicació ja que és fàcil d'entendre i d'utilitzar, ideal per a persones sense experiència a la impressió 3D, com és el cas. Per a la realització dels dissenys, es va intentar fer-los el més simples possible, però que a la vegada complissin la seva funció adequadament.

7.3.2.2. EINES I MATERIALS

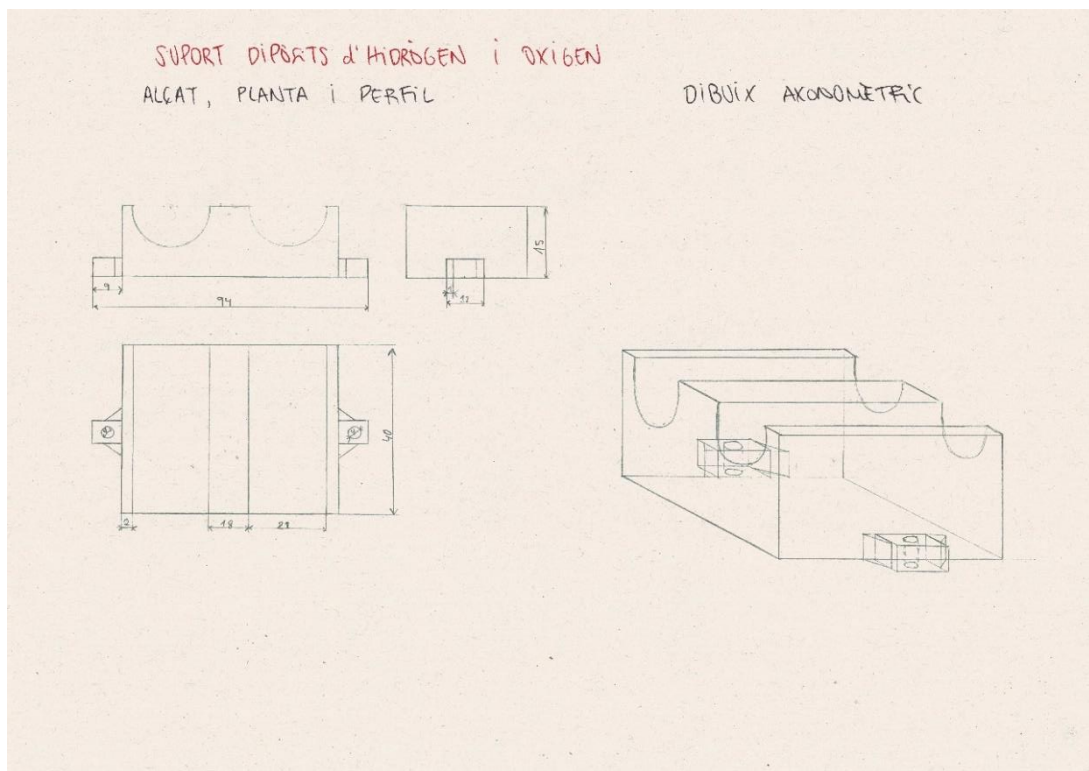
EINES	MATERIALS
Soldador	Estany
Pistola de silicona	Silicona en tub
Alicates	Filament de plàstic 3D
Paper de vidre	Fullola de fusta 5 mm de grossor
Tornavís	Bàscula
Pelador de cables	
Voltímetre	
Impressora 3D (servei extern)	
Tremp	
Radial i disc de fusta	
Llima circular i rectangular	

7.3.3. PLÀNOLS

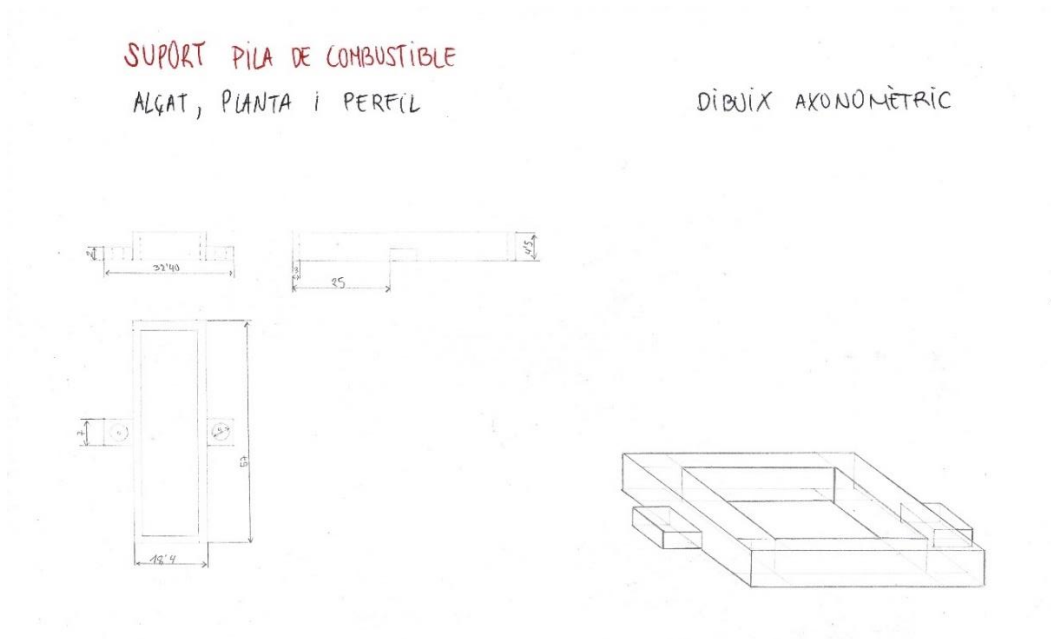
7.3.3.1. Plànols de les peces 3D



Il·lustració 33. Planta, alçat, perfil i dibuix axonomètric del suport de les plaques solars del cotxe d'hidrogen. Font: pròpia



Il·lustració 34. Planta, alçat, perfil i dibuix axonomètric del suport dels dipòsits d'hidrogen i oxigen del cotxe d'hidrogen. Font: pròpia

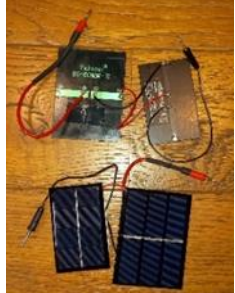
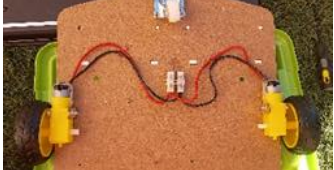


Il·lustració 35. Planta, alçat, perfil i dibuix axonòmetric del suport de la pila de combustible del cotxe d'hidrogen.
Font: pròpia

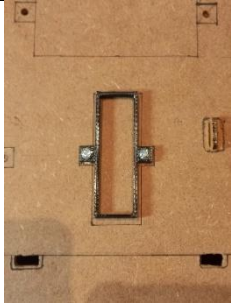
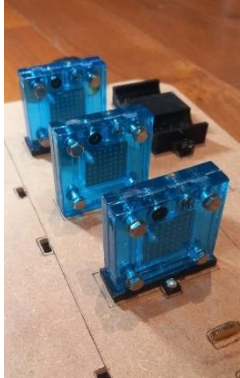
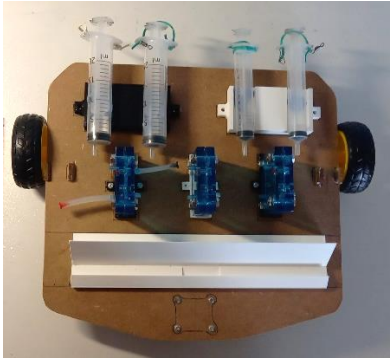
7.3.4. PRESUPOST

CONCEPTE	QUANTITAT	LLOC D'ADQUISICIÓ	IMPORT (EUROS)
PEM Blue Reversible Fuel Cell, FCSU-023B-1	1 unitat	Horizon Educational	94.38 €
Micro Mini Cèl·lules de Panell Solar	2 unitats	Amazon	5.25 €
Motor Smart Car Chassis for Arduino- with 2 Gear Motor	1 unitat	Amazon	16.88 €
Tubs de silicona	2 unitats	Electro DH TGN	2.00 €
Capçal connexió cocodril	2 unitats	Electro DH TGN	0.34 €
Capçal connexió banana 2mm	4 unitats	Electro DH TGN	4.56 €
Cables roig	1 unitat	Electro DH TGN	0.58 €
Cable negre	1 unitat	Electro DH TGN	0.58 €
Bovina d'estany per a soldar	1 unitat	Leroy Merlín	1.00 €
Fullola de fusta 3 mm gruix	1 unitat	Leroy Merlín	5.69 €
COMPONENTS ESPECIALS			
PEÇA 1 3D: Suport dels panells solars	1 unitat	Institut el Morell	0.00 €
PEÇA 2 3D: Suport dels dipòsits	2 unitats	Institut el Morell	0.00 €
PEÇA 3 3D: Suport de la pila de combustible	3 unitats	LaserTGN	5.00 €
IMPORTE TOTAL:			136.16 €

7.3.5. CONSTRUCCIÓ

PASOS	INSTRUCCIONS		IMATGE	
1	Per muntar la base del prototip, s'han de seguir els següents passos:	Cargolar el motor i la caixa d'engrenatges a la base.		
		Encaixar les rodes als eixos de transmissió del motor.		
		Col·locar i cargolar la roda universal amb els cargols, les femelles i els espaiadors a la base.		
2	En segon lloc, i pel que respecta a la part electrònica, es van soldar els cables de la placa solar a dos connectors del tipus <i>banana</i> .			
3	Seguidament, es necessari soldar a l'extrem d'un cable un connector del tipus cocodril i a l'altre extrem un connector del tipus <i>banana</i> . Es va repetir aquest procediment amb el cable roig (positiu) i negre (negatiu). Això serveix per connectar la pila de combustible i els motors del cotxe, un cop feta l'electròlisi.			
4	L'últim pas per tal de preparar la part elèctrica era connectar ambdós motors i instal·lar una regleta que assegures la bona connexió. Els cables que aportarien la corrent serien els terminals cocodril del pas anterior.			

VEHÍCLES IMPULSATS PER ENERGIES ALTERNATIVES

5	Instal·lar els tres suports de la pila de combustible a la base del prototip i assegurar-les mitjançant un sistema de cargols i femelles.	
6	Encaixar les piles de combustible als suports.	
7	Instal·lar el suport del panell solar.	
8	Encaixar el panell solar al seu respectiu suport i orientar-lo en direcció al sol.	
9	Per tal d'aprofitar la màxima eficiència de les piles, es va dissenyar un sistema de cordes elàstiques a les xeringues d'emmagatzematge. Per muntar-ho es van haver de fer uns forats a les anses de les xeringues, utilitzant unes agulles calentes. Pels forats van passar les cordes elàstiques. Posteriorment, es van doblegar mitjançant calor les parts finals dels èmbols de les xeringues, per facilitar que les cordes no es sortissin. Per últim només calia assegurar les cordes mitjançant un nus que impedís que retornessin pel forat. És important saber que aquest sistema aplicador de tensió només s'ha d'utilitzar un cop les xeringues s'han omplert d'hidrogen i oxigen.	

10	L'última part del muntatge consisteix en fer funcionar la pila de combustible (PC). El primer que s'ha de fer és introduir aigua destil·lada a la PC. Això s'ha de fer mitjançant un tub i una xeringa situats a l'orifici inferior de la cara que genera oxigen. Un cop s'ha introduït l'H₂O, es deixa remullar la membrana interior de la pila durant un període de temps. El següent pas es treure els excedents d'aigua i deixar el tub segellat per un tap. Posteriorment, s'ha d'aplicar un altre tub taponat al costat de l'hidrogen. Aquest cop, però, no es necessari introduir l'aigua. El següent pas és connectar ambdues xeringues, que s'encarregaran de recopilar els gasos generats (H₂ i O₂). Aquestes s'han de connectar a la pila de combustible mitjançant tubs de silicona, que aniran a parar als orificis superiors de la mateixa. El següent pas és connectar ambdues xeringues, que s'encarregaran de recopilar els gasos generats (H₂ i O₂). Aquestes s'han de connectar a la pila de combustible mitjançant tubs de silicona, que aniran a parar als orificis superiors de la mateixa. A continuació, s'hauran d'introduir els terminals <i>banana</i> del panell solar a la pila de combustible, negatiu amb negatiu i positiu amb positiu. Això donarà pas a la hidròlisi de l'aigua. Finalment, un cop generats els gasos només caldrà desconectar els terminals <i>banana</i> del panell solar. Aquests es substituiran pels cables banana/cocodrill, els quals donaran corrent elèctrica als motors del prototip.	
-----------	---	---

7.3.6. INCONVENIENTS A L'HORA DE FER FUNCIONAR LA PILA DE COMBUSTIBLE

1. En primer lloc, tan aviat com vaig rebre la pila (la qual la vaig comprar de manera individual) vaig mirar que necessitava per fer-la funcionar.

- Dos tubs de silicona petits (un per introduir l'aigua destil·lada).
- Altres dos per portar l'hidrogen i l'oxigen de la pila a les xeringues d'emmagatzematge.
- Dos terminals del tipus banana (per portar el corrent de les plaques solars a la pila).
- Altres dos terminals del tipus banana per portar, novament, el corrent generada per la pila cap al motor del cotxe.



Il·lustració 36. Terminals del tipus banana

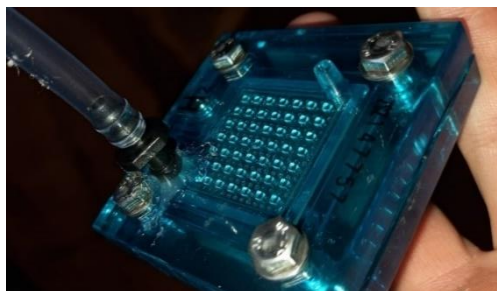
2. Un cop el material estava llest, vaig connectar dos panells solars de 1.5V i 1.5V (teòricament 3V) per alimentar la pila. Dedueixo que no va funcionar en aquell moment per dos motius:

- D'una banda, podria ser que els panells no estiguessin donant els 3V necessaris per fer funcionar la pila (no ho vaig poder comprovar en aquell moment perquè no disposava d'un tester).
- D'altra banda, els tubs no acabaven d'encaixar correctament amb la pila, i per això hi havia fugues d'aigua i l'aire entrava en el sistema.



Il·lustració 37. Panells solars de 1.5V connectats en sèrie

3. Posteriorment, per solucionar el problema de les fugues vaig comprar unes peces (una mena d'aplicadors pels tubs) que vaig enganxar a la pila i que van solucionar el problema en gran manera. Però no acabo de poder eliminar al 100% les fugues d'aigua.



Il·lustració 38. Aplicador negre enganxat a la pila amb silicona

4. Tot i que l'objectiu del treball és fer l'electròlisi de l'aigua amb l'energia solar, vaig intentar fer funcionar la pila de combustible amb dues piles alcalines de 1.5V i comprovar així si era capaç de fer l'electròlisi de l'aigua. Però tampoc va tindre èxit.



Il·lustració 39. Piles alcalines d'1.5 V amb terminals banana.

5. Finalment, es va pensar que la pila potser no era capaç d'empentar la xeringa d'emmagatzematge (ja que era bastant gran i calia bastant força per empentar-la). Per això es van comprar unes xeringues més menudes i fàcils de moure. Que curiosament van funcionar el dia de la quedada amb l'expert en el tema, en Ricard Gracia Valls.



Il·lustració 40. Imatge que mostra la diferència entre les xeringues grans utilitzades en un primer moment i les seves substitutes més petites.

7.4. RESULTATS

La millor manera de visualitzar els resultats és mitjançant vídeos, ja que a vegades per mitjà únicament d'imatges, pot resultar difícil acabar de comprendre els resultats del que es va iniciar com una idea. Per aquest motiu, les imatges 41, 42 i 43 són una sèrie de codis QR que si són escanejats mitjançant la càmera d'un dispositiu connectat a internet, mostraran una sèrie de vídeos explicatius sobre les diferents parts del cotxe d'hidrogen.

En un primer lloc, es troba la imatge 43, on es demostra la base de la creació d'hidrogen verd, on la font d'energia que impulsa el funcionament de la pila de combustible PEM per fer l'electròlisi a partir de l'aigua, és l'energia solar. La creació, encara que sigui lenta, de petites bombolles d'hidrogen a la xeringa d'emmagatzematge evidencien aquest fet. Altrament, encara que al vídeo no s'apreciï, a l'altra xeringa, la que emmagatzema oxigen, també s'estava produint el mateix fenomen, tot i que més lentament. Per al correcte funcionament de la pila, és necessari que la font d'alimentació, en aquest cas els panells solars, estiguessin entregant un voltatge de 3V. En cas de ser superior, es corria el risc de fer malbé la pila. És per això que es van connectar en sèrie dos panells solars per tal de que la suma dels seus voltatges no fos superior als tres volts.

Un cop demostrada l'obtenció d'hidrogen verd, es pot procedir al següent vídeo, corresponent la imatge 41. Aquí es pot visualitzar com quedaria el sistema de les tres piles de combustible reversibles (PEM) connectades en sèrie i fent el procés contrari al vídeo anterior. És a dir, creant electricitat a partir de l'hidrogen i l'oxigen de les xeringues que hauria estat obtinguda partir de l'electròlisi de l'aigua mitjançant els panells solars. També s'aporta una explicació de quin és el contingut de cadascuna de les xeringues, que són sis en total, i com és el sistema de cordes elàstiques encarregades d'aportar tensió addicional a les xeringues.

Per últim, la imatge 42 representa l'aplicació de l'energia aportada per les tres piles (aproximadament 3V) per moure les rodes del cotxe. Desafortunadament amb tres volts no va ser suficient per moure les dues rodes al mateix temps. Per aquest motiu es va optar per moure un únic motor i per tant una única roda, com es pot observar a la gravació.



Il·lustració 41. Vídeo que mostra que les piles connectades en sèrie donen voltatge. Font: pròpia.



Il·lustració 42. Vídeo on es comprova si les piles de combustible poden moure una roda. Font: pròpia.



Il·lustració 43. Vídeo on es demostra com els panells solars fan funcionar la pila de combustible. Font: pròpia.

7.5. AVALUACIÓ

Després d'una profunda recerca d'informació, que va assentar una base sòlida per portar a terme la construcció d'un prototip de vehicle que tingués l'hidrogen com a vector energètic, es pot realitzar un anàlisi dels resultats obtinguts. En referència als objectius inicials, que eren els de demostrar la viabilitat de l'hidrogen com alternativa al contaminant sistema energètic actual, es pot afirmar que els resultats obtinguts han sigut més que satisfactoris.

Tenint en compte que els coneixements de partida sobre aquest tema eren nuls o molt escassos, es considera un èxit haver pogut no només fer funcionar una pila PEM, sinó també aplicar el corrent obtingut per impulsar un vehicle construït des de zero per aquest objectiu.

Tot i disposar d'un total de tres piles de combustible, no ha sigut possible alimentar els dos motors simultàniament. Tanmateix, sí de manera individual, el que confirma la hipòtesi inicial de que l'hidrogen sí és una alternativa factible als combustibles fòssils. Això pot servir com a pretext per entendre la gran quantitat de piles necessàries per moure un únic vehicle. El motiu d'aquest inconvenient també podria estar ocasionat per la dificultat que pot resultar moure un cotxe considerablement pesat, ja que la seva massa final és de 650g degut als nombrosos sistemes d'emmagatzematge dels gasos, les tres piles i els suports tant de les xeringues com dels panells solars. Altra hipòtesi de la no capacitat de les piles per moure els motors és que aquests fossin massa potents en consideració amb l'energia aportada.

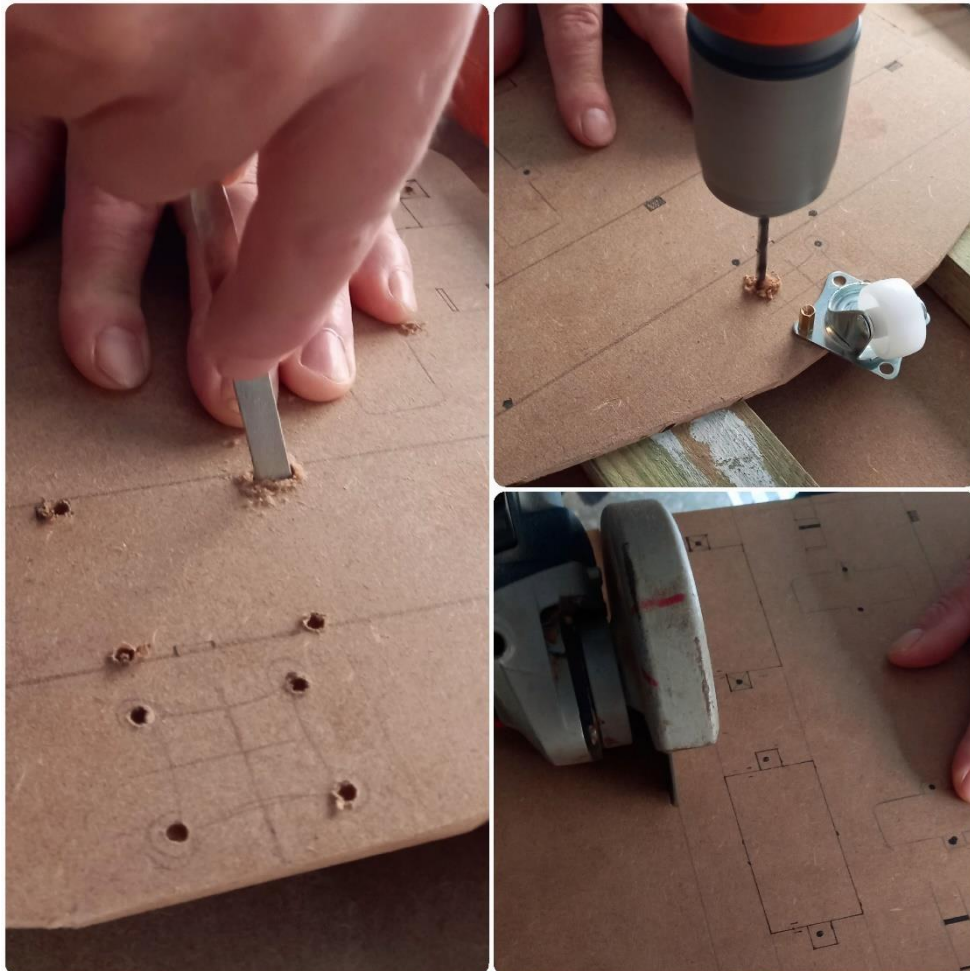
Inicialment, es disposava d'una base amb la meitat de superfície de la que es va acabar utilitzant. Això és degut a que en un primer moment es pensava que amb una única pila de combustible seria suficient per moure el vehicle. Tot i així, després d'una reunió amb un expert en la matèria a la URV, en Ricard Garcia Vall, es van poder obtenir dues unitats més, el que va augmentar el voltatge aportat, mitjançant la connexió en sèrie de les piles.

En resum, es consideren exitosos els resultats d'aquest projecte tecnològic, ja que cada pas i cada decisió s'ha pres amb l'objectiu de recolzar un futur més sostenible al transport. A més els resultats pràctics del projecte evidencien la viabilitat de l'hidrogen com a combustible, en un futur pròxim, d'uns vehicles les emissions de CO₂ dels quals seran nul·les.

7.6. PROPOSTES DE MILLORA

Per tal d'aconseguir el correcte desplaçament del cotxe, els dos motors haurien de funcionar per igual i per aconseguir això, la corrent aportada pel conjunt de les piles de combustible hauria d'augmentar. El problema d'adquirir més piles PEM és que no són econòmiques, per tant, tot i que sí es una possible millora, suposa una despesa excessiva.

D'altra banda, per tal reduir el pes del vehicle i facilitar als motors moure l'estructura, es podria substituir la base de fusta del vehicle per una de plàstic més lleuger. Tot i conèixer que la fusta presenta un pes addicional a l'estructura, es va optar per aquest material degut a que és més fàcil de treballar, a diferència del plàstic.



Il·lustració 44. Treball de la fusta per la creació de la base del cotxe d'hidrogen. Font: pròpia.

8. MEMORIA TÈCNICA DEL PROJECTE DEL COTXE DE BIOGÀS

El projecte tecnològic del cotxe de biogàs es fonamenta en dos pilars principals. El primer és l'obtenció del biogàs, que servirà com a combustible per al vehicle. El segon pilar és la construcció del vehicle impulsat pel biogàs obtingut. El present projecte tecnològic para gran atenció a l'obtenció del biogàs, ja que a diferència dels altres vehicles, aquest no s'aconsegueix directament del medi (com és el cas de l'energia solar) o es produeix a l'interior d'una pila de combustible (com és el cas de l'hidrogen).

8.1. DESCRIPCIÓ I ANÁLISI DEL PROBLEMA

L'exagerada quantitat de residus produïts pels éssers humans en l'actualitat és la conseqüència de la ineficient utilització dels recursos naturals en les activitats humanes. La societat industrial ha centrat tradicionalment la seva atenció en la producció d'objectes, amb el que s'ha donat prioritat sempre al producte principal, de cara a la satisfacció de les necessitats del mercat. Per això, ha romàs sempre en segon pla el consum de matèries primeres, sobre les quals ha faltat gairebé sempre la consideració de la seva finitud, i la corresponent generació de residus.

En aquestes circumstàncies no és d'estranyar que la importància atorgada als residus hagi estat generalment marginal i tan sols s'ha parat esment a aquests residus quan el seu excessiu volum o perillositat ha obligat a centrar l'atenció també en la seva generació. Els residus han estat, i continuaran sent, un sub-producte sobre el qual es desenvolupen estratègies diverses per a intentar fer-los menys visibles i molestos. Per aquestes raons resulta difícil assumir que la major producció del nostre avançat model industrial correspongui als residus, així com que aquests siguin el major mal ecològic que es causa al planeta, juntament amb la pèrdua de la biodiversitat.

De les nostres escombraries domèstiques, el 55% dels residus aniran a parar a un abocador, el 25% anirà a una incineradora i l'altre 20% es prepararà per a ser reciclat, del qual només es reciclarà el 14%. Si el 85% de la matèria que conté la nostra bossa d'escombraries són productes que podrien reincorporar-se en la societat, per què el percentatge de la matèria reciclada no arriba ni tan sols al 20%?

Es pot dir que, en general, la preocupació del parador final dels residus domèstics que es generen no desperta una preocupació en la societat, perquè tampoc s'és conscient del gran impacte que la generació d'aquests residus té en el medi ambient. Amb el projecte tecnològic del cotxe de biogàs, la intenció no és únicament moure un vehicle amb una font d'energia sostenible, sinó mostrar al lector els grans beneficis que pot oferir el reciclatge dels residus orgànics i la seva correcta gestió a través d'un biodigestor.



Il·lustració 45. Imatge que mostra una idea general del que significa biogàs. Font: Inderen.

8.2. OBTENCIÓ DEL BIOGÀS

Com s'ha comentat amb anterioritat el projecte tecnològic del cotxe de biogàs consta de dues parts. En un primer lloc, es portarà a terme el procés d'obtenció de biogàs i posteriorment es tractarà de construir un vehicle que aprofiti el combustible inflamable obtingut per crear moviment.

8.2.1. RECERCA D'INFORMACIÓ

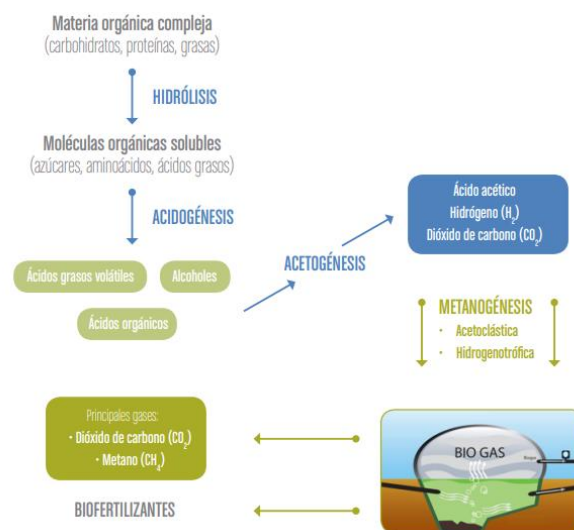
8.2.1.1. BIODIGESTIÓ I SISTEMES DE GENERACIÓ DE BIOGÀS

PRINCIPIIS FÍSICS, QUÍMICS I BIOLÒGICS QUE CONDUEIXEN A LA GENERACIÓ DE BIOGÀS

Perquè la producció de biogàs sigui possible, ha de produir-se una acció coordinada d'un grup de microorganismes especialitzats en la degradació d'una àmplia varietat de matèria orgànica; com ara, restes orgàniques de llars o indústries, subproductes agrícoles o fems animals, entre d'altres.

La descomposició d'aquestes restes orgàniques de baix valor comercial, sota unes condicions d'escassetat d'oxigen, són imprescindibles per l'aparició de biogàs. Aquest biogàs té un alt contingut en metà (CH_4), diòxid de carboni (CO_2) i d'altres gasos com el sulfur d'hidrogen (H_2S), però en menors quantitats. A causa de la baixa solubilitat de l'oxigen amb l'aigua, quan els sediments contenen alts nivells de matèria orgànica, es genera el biogàs. En contenir aquestes grans proporcions de gas metà, moltes vegades és comparat amb el gas natural.

Per accelerar les reaccions anaeròbiques de la matèria orgànica i obtenir el biogàs s'utilitzen els biodigestors, que són els reactors encarregats de maximitzar l'eficiència de les reaccions bioquímiques que donen lloc al biogàs i d'altres subproductes.



Il·lustració 46. Etapes de la digestió anaeròbica en un biodigestor. Font: FAO

Tot i que les reaccions dins del biodigestor ocorren de manera simultània, per al seu estudi el procés global pot ser classificat en quatre etapes ben diferenciades: hidròlisi, etapa fermentativa o acidogènica, etapa acetogènica i etapa metagènica.

Primerament, té lloc la hidròlisi de partícules i molècules complexes (proteïnes, carbohidrats i lípids) que són hidrolitzades per enzims extracel·lulars produïts pels microorganismes acidogènics o fermentatius. Com a resultat es produeixen compostos solubles més senzills

(aminoàcids, sucres i àcids grassos de cadena llarga) que seran metabolitzats pels bacteris acidogènics donant lloc, principalment, a àcids grassos de cadena curta, alcohols, hidrogen, diòxid de carboni i altres productes intermedis. Els àcids grassos de cadena curta són transformats en àcid acètic, hidrogen i diòxid de carboni, mitjançant l'acció dels microorganismes acetogènics. Finalment, els microorganismes metagènics produeixen metà a partir d'àcid acètic, H_2 i CO_2 .

Convé estacar que els microorganismes que porten a terme la fase metagènica de la degradació anaeròbica de la matèria orgànica són molt particulars. Això és degut a que tendeixen a prosperar en ambients molt hostils, d'aquí la seva classificació com a extremòfil. És a dir, que són capaços de sobreviure en ambients extrems, com per exemple en absència d'oxigen, que és precisament el que succeeix dins del biodigestor. A més, requereixen una gran aportació energètica en forma de calor per poder portar a terme els seus processos metabòlics i són altament sensibles als canvis d'ambient, sobretot del pH i de la temperatura. Finalment, la degradació de la matèria orgànica no només crea diòxid de carboni, sinó que a diferència d'altres organismes heteròtrofs⁶ també es crea metà en el procés.

Així doncs, el que passa a l'interior d'un biodigestor des del moment en que és alimentat amb un substrat altament digestible i ric en energia, és el següent:

1. En primer lloc els microorganismes hidrolitzen les molècules més complexes i amb més pes, o en altres paraules les proteïnes, els glúcids i els lípids.
2. A continuació, les molècules acidogèniques procedeixen a consumir el substrat, que és altament digestible. Tot seguit, s'alliberen grans quantitats d'àcids al medi, el qual es converteix totalment anòxic, o sigui, sense oxigen.
3. En tercer lloc, les bactèries del tipus metagènic comencen a consumir l'àcid acètic, l'hidrogen i el diòxid de carboni pel que també comença a aparèixer el desitjat biogàs.
4. Atès que el procés de producció de biogàs és més lent que el procés d'acidificació del medi, el substrat comença a acidificar-se.
5. En conseqüència, les bactèries metagèniques disminueixen la seva reproducció, metabolisme i activitat. Això és degut a la seva sensibilitat a la variació del pH del medi, i comporta una reducció en la producció de biogàs.
6. En acabat, el biodigestor atura la seva producció de biogàs i disminueix el pH.

Cal remarcar que aquesta sèrie de successos tenen lloc quan no és té un control de l'alimentació del biodigestor, tant en temps com en quantitat.

Quan en un sistema de biodigestió són utilitzats diversos substrats al mateix temps, el procés passa a ser de codigestió. La codigestió es caracteritza per incrementar l'eficiència de la digestió de materials. Això vol dir que serà més beneficiós, per exemple, generar un substrat format per fems animals i matèria orgànica, que no un format únicament per matèria orgànica. A més, la codigestió maximitza la producció i millora les qualitats finals del biofertilitzant.

⁶ Tipus de nutrició dels organismes que, per subvenir a llurs necessitats biològiques, només incorporen del medi productes orgànics

8.2.1.2. FACTORS DETERMINANTS EN EL PROCÉS METAGÈNIC (PRODUCCIÓ DE BIOGÀS)

És important examinar alguns dels factors importants que governen el procés metagènic. Els microorganismes, especialment els metagènics, són altament susceptibles als canvis en les condicions ambientals, i per això cobra especial importància tenir un control de certs paràmetres fisicoquímics. A continuació s'exposaran aquells que resultin claus per a la producció del biogàs.

NATURALES I COMPOSICIÓ BIOQUÍMICA DE MATÈRIES PRIMERES.

Les diverses matèries primeres que es poden utilitzar en la fermentació metagènica, poden ser residus orgànics d'origen vegetal, animal, agroindustrial, forestal, domèstic o altres.

Les característiques bioquímiques que presentin els residus han de permetre el desenvolupament i l'activitat microbiana del sistema anaeròbic. És essencial per al procés microbiològic la presència de fonts de carboni i nitrogen i un cert equilibri de sals minerals. En termes generals, es poden classificar els substrats en quatre classes, en funció de la seva aparença física, nivell de dilució, grau de concentració i característiques quantitatives, com el percentatge de sòlids totals (ST), sòlids volàtils (SV) i demanda química d'oxigen (DQO).

Els substrats de classe 1 poden degradar-se eficientment en digestors de laboratori. Els substrats de la classe 2 són degradats de manera eficient en digestors de barreja completa d'operació contínua. Per presentar una dilució major i en conseqüència una DQO menor. Els substrats de classe 3 han de tractar-se amb digestors d'alta eficiència, com els de filtre anaeròbic. En el que respecta als de classe 4, a causa del seu alt contingut de DQO han de ser degradats en digestors aeròbics intensius per a major eficiència.

Características	Clase	Tipo de Sustrato	Características Cuantitativas
Sólido	1	Basura Doméstica	> 20 % ST 40-70 % Fracción Orgánica
		Estiércol Sólido	
		Restos de Cosecha	
Lodo altamente contaminado, alta viscosidad	2	Heces Animales	100-150 g/l DQO 5%-10% ST 4%-8% SV
Fluidos con alto contenido de sólidos suspendidos (SS)	3	Heces Animales de cría y levante diluido con agua de lavado	3-17 g/l DQO 1-2 g/l SS
		Aguas residuales de mataderos	
Fluidos muy contaminados, sólidos en suspensión	4	Aguas residuales de agroindustrias	5-18 g/l DQO
		Aguas Negras	4-500 g/l DQO

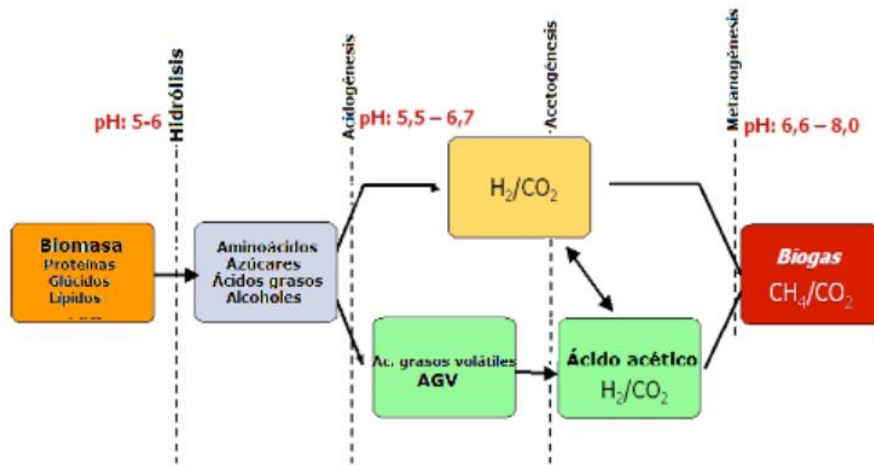
Il·lustració 47. Classificació de substrats per a la digestió anaeròbica. Font: FAO

POTENCIAL D'HIDROGEN (PH)

Quan es parla de potencial d'hidrogen o més conegut com a pH, s'està fent referència a una mesura de l'acidesa o alcalinitat d'una determinada solució. Guarda una relació amb l'activitat dels ions hidrogen i els processos de generació i degradació d'àcids orgànics dins del biodigestor. És fonamental controlar aquest factor ja que el sistema biològic encarregat de la generació de biogàs és altament dependent del pH, especialment els microorganismes metagènics encarregats de la producció de metà.

El pH pot variar a conseqüència de les característiques de la mescla que ingressa al biodigestor i a causa dels processos que ocorren allí dins (per exemple, acidosis). Resulta fonamental llavors realitzar un control periòdic del pH, tant del material que ingressa com del que surt, a fi de preparar-se per a realitzar correccions abans que disminueixi a un punt de no retorn, en el qual s'inhibeixi el metabolisme dels microorganismes metagènics i no es produeixi biogàs. Els valors de pH poden ser corregits i així mantenir-ho dins del rang adequat per al procés de fermentació. Quan el pH és alt es pot treure sovint una petita quantitat d'efluent i agregar matèria orgànica fresca en la mateixa quantitat o bé, si el pH és baix es pot agregar fertilitzant, cendres o aigua amoniacal diluïda, això últim es coneix com a tampó carbonat/bicarbonat.

El seu valor òptim oscil·la entre el 6.8 i 7.4, el rang del qual és l'adequat perquè el reactor operi correctament. Amb valors de pH per sota de 6.2 i per sobre de 8 es corre el risc d'inhibir el procés de fermentació o fins i tot detenir-lo.



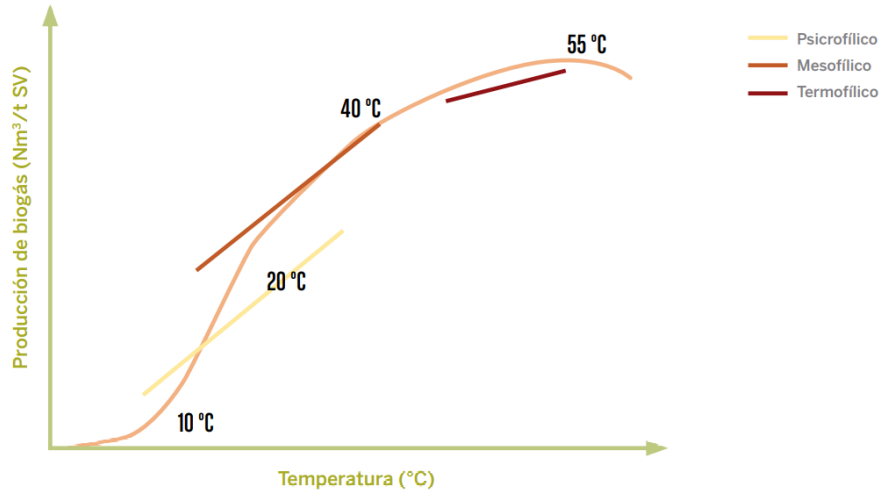
Il·lustració 48. Esquema dels quatre passos de la digestió anaeròbia i els seus nivells de pH adequats.

POTENCIAL REDOX

El potencial redox o potencial d'oxidació-reducció (ORP) és una mesura molt útil que expressa l'activitat dels electrons en una reacció química. En aquesta mena de reaccions, es donen fenòmens de transferència d'electrons, cosa que significa que hi ha unes substàncies químiques que actuen com a donadors d'electrons (agents reductors) i altres que els atrapen (agents oxidants). Perquè els microorganismes metagènics es desenvolupin a la seva plena capacitat, és necessari que es trobin en un mitjà reductor. Els valors de potencial redox necessaris oscil·len entre -370 i -220 mV.

TEMPERATURA

Un altre factor bàsic que afecta el funcionament d'un biodigestor és la temperatura. Es clar que aquesta variable depèn de molts factors, com ara: el nivell tecnològic del biodigestor, els materials utilitzats en la seva construcció, la localització geogràfica del reactor i la temperatura de la mescla utilitzada per a la seva alimentació. El rang de temperatura en el qual es pot produir el procés de biodigestió és bastant ampli, entre 10 i 55 °C. Segons la temperatura, els biodigestors i els processos es poden diferenciar tres grups: psicofílics (operen en un rang de 10 a 25 °C), mesofílics (operen en un rang de 25 a 40 °C) i termofílics (operen en un rang de 40 a 55 °C).



Il·lustració 49. Gràfic que mostra la producció de biogàs en funció de la temperatura del procés.

Per a un mateix temps i material, es produirà més biogàs a temperatures termofíliques que a temperatures psicrofíliques, és a dir la producció de biogàs és notablement major quan treballa a temperatures altes. És important tenir en compte també que els biodigestors que treballen en rangs termofílics són més sensibles i inestables enfront de petites variacions en el procés o en el substrat, que poden fins i tot inhibir la biodigestió. Per aquest motiu és més comú trobar aquest tipus de biodigestors a centres especialitzats en la producció de biogàs.

L'elecció de la temperatura de funcionament del biodigestor haurà de realitzar-se prenent en consideració l'objectiu del procés de digestió anaeròbica, els recursos disponibles per a la construcció, les condicions d'operació, la disponibilitat de superfície i el nivell tecnològic. Per al projecte tecnològic d'aquest treball de recerca s'ha escollit un biodigestor del tipus mesofílic. Aquesta decisió s'ha pres considerant que la època de l'any en que es produirà el biogàs serà estiu, per aquest motiu no suposarà cap problema mantenir el substrat en un rang de 25 a 40 °C sense cap tipus de tecnologia, més que la calor del sol.

TEMPS DE RETENCIÓ HIDRÀULICA

El temps mitjà de permanència del substrat en el biodigestor, sotmès a l'acció dels microorganismes, és coneix com el temps de retenció hidràulica o TRH. Aquesta variable es troba determinada per la següent fórmula: $TRH (dies) = \frac{\text{Volum útil del biodigestor (m}^3\text{)}}{\text{Quantitat de càrrega (m}^3\text{/dia)}}$. En resum, el temps de retenció hidràulica no és més que el quocient entre el volum del reactor i el cabal diari de càrrega. Aquesta variable determina el volum del reactor i es troba directament relacionada amb la temperatura i, en conseqüència, amb la tecnologia a utilitzar.

Per a produir una determinada quantitat de biogàs en rangs psicrofílics es requereixen valors de TRH majors que en rangs mesofílics o termofílics. A major temperatura, menor TRH. Per exemple, per a processos psicrofílics s'estima que el TRH ha de ser de 50 a 120 dies. Per a processos de biodigestió mesofílics de 25 a 50 dies i termofílics de 15 a 25 dies.

Existeixen molts models, dissenys i tecnologies de biodigestió. Els biodigestors utilitaris solen tenir una alimentació contínua o semicontínua, és a dir que són alimentats tots els dies o regularment. Cada vegada que ingressa al biodigestor un substrat, surt pràcticament el mateix volum, amb graus variables de digestió. El volum dins del biodigestor és sempre estable.

VELOCITAT DE CÀRREGA ORGÀNICA

Una altra variable que s'ha de tenir en consideració és la velocitat de càrrega orgànica. Aquest paràmetre indica la quantitat de matèria orgànica introduïda per unitat de volum i temps. La velocitat de càrrega orgànica (OLR) té una relació directa amb el temps de retenció hidràulica. L'OLR variarà en funció del tipus de substrat orgànic utilitzat, ja que aquest determina el nivell d'activitat bioquímica que ocorre dins del biodigestor. Valors baixos d'OLR impliquen elevats TRH i/o baixa concentració de sòlids volàtils (SV), mentre que increments en l'OLR comporten una reducció en la producció de biogàs per unitat de SV introduïda. L'OLR òptima haurà de determinar-se per a cada instal·lació i substrat a utilitzar, per a optimitzar l'operació tècnica i econòmica del biodigestor.

MATÈRIA SECA I GRAU DE BARREJAT

La matèria seca (MS) és la quantitat de sòlids que pot haver-hi en una mescla. Experimentalment als laboratoris, això es calcula assecant una mostra fresca en estufa a 105,5 °C durant 24 hores, de manera que se li extreu tota l'aigua que conté.

Si bé la biodigestió és un procés netament biològic que porta endavant una gran varietat de microorganismes, pot desenvolupar-se en mitjans molt diferents. D'acord amb el contingut de matèria seca del substrat a degradar, els processos i tecnologies poden dividir-se en tres grans grups:

- Biodigestió humida: ocorre en un mitjà líquid amb percentatges de sòlids que van de l'1% al 15-17%.
- Biodigestió líquida: amb percentatges de sòlids inferiors a l'1%.
- Biodigestió seca i/o semiseca: amb residus amb continguts de MS superiors al 20%.

Normalment en sistemes industrials, en els quals es busca maximitzar la producció de biogàs per metre cúbic de biodigestor, s'utilitzen continguts elevats de MS en la mescla d'alimentació i és necessari comptar amb un sistema d'agitació continu que eviti la sedimentació de material inert o la formació de crosta superficial per flotació. Tanmateix els sistemes de biodigestió domèstics o de baixa tecnologia que no compten amb un sistema eficient d'agitació, han de ser alimentats amb baixos continguts de MS.

PRESÈNCIA D'INHIBIDORS

El procés de digestió anaeròbica és inhibit per la presència de substàncies tòxiques en el sistema. Aquestes substàncies poden formar part de les matèries primeres que entren al digestor o poden ser subproductes de l'activitat metabòlica dels microorganismes anaeròbics. Substàncies com ara amoníac, metalls pesants, compostos halogenats, cianur i fenols, formen part del primer grup, en tant que, sulfur, amoníac i àcids grassos de cadena llarga, formen part de l'últim grup esmentat.

És per això que conèixer la seva presència és important, sobretot, quan es vol treballar amb efluent o residus urbans que poden tenir altes concentracions de químics propis de l'activitat humana, inhibidors dels processos biològics. En nutrició animal, per exemple, especialment en les dietes del bestiar boví.

RELACIÓ CARBONI/NITROGEN

La relació carboni/nitrogen (C/N) expressa la proporció entre aquests components en un substrat orgànic. Tant el carboni com el nitrogen són dos elements claus per a la vida i participen en tots els processos biològics, de forma directa o indirecta. El carboni representa la font d'energia, mentre que el nitrogen és emparat pels microorganismes per a la regeneració i el creixement cel·lular. Com que un biodigestor és un sistema viu, aquesta proporció juga un paper molt important per a l'activitat microbiana.

RELACIÓ ÀCIDS ORGÀNICS VOLÀTILS/ CARBONAT INORGÀNIC TOTAL

A nivell mundial, nombrosos sistemes de producció de biogàs es basen en el tractament d'efluents provinents de sistemes pecuaris, agroindústries o cloacals. Com aquests residus són substrats que ja van ser processats per un sistema digestiu, el seu potencial de producció de biogàs és significativament inferior al de substrats verges. Per aquest motiu, en molts casos es busca barrejar els efluents amb substrats rics en energia i d'aquesta manera portar a terme una codigestió.

La codigestió és una eina que serveix per a trencar barreres i integrar produccions, amb diversos beneficis com ara l'optimització dels processos de biodigestió, la millora de la degradació dels substrats, l'augment de la quantitat de biogàs per unitat de material i la millora de la qualitat dels biofertilizants.

8.2.1.3. TIPUS DE BIODIGESTORS

Existeix una gran varietat de biodigestors amb formes, mides i nivells de tecnologia diferents. Al cap i a la fi, els responsables que porten a terme la construcció d'un biodigestor, adequen els seus projectes a les seves necessitats. Es poden trobar des de construccions casolanes amb diversos materials, fins a plantes amb tecnologia punta completament automatitzades.

Enfront la pregunta de quin és millor, no hi ha una resposta ferma. La realitat és que no existeix una tecnologia millor que una altra, sinó tecnologies que s'adapten millor a una situació que unes altres, i la seva elecció depèn de l'objectiu que es persegueixi, dels recursos de què es disposi, dels diners i tipus de finançament per a realitzar la inversió, i de la classe de substrat que alimentarà al biodigestor, entre els aspectes més rellevants.

En el present projecte tecnològic, s'ha optat per la construcció d'un biodigestor casolà de petita mida, doncs els recursos econòmics, els coneixements i el temps disponible del qual es disposa ho han determinat d'aquesta manera.

Respecte a la classificació dels biodigestors, no hi ha una forma estandarditzada de fer-ho. Però alguns aspectes com la grandària, les característiques pròpies del biodigestor, les aplicacions o el nivell tecnològic són alguns trets que poden marcar la diferència.

Les variables més significatives que es tindran en compte per a la seva classificació són la modalitat de càrrega, el contingut de matèria seca de la mescla d'alimentació, el grau de barrejat, el maneig del substrat i les etapes del maneig.

BIODIGESTORS BATCH

Normalment utilitzats als laboratoris, els biodigestors batch són generalment petits, la qual cosa fa més fàcil operar-los i manipular diferents variables, com l'agitació i la temperatura, sense grans costos.

En els biodigestors batch normalment es realitza una càrrega i buidatge total en cada procés, i s'utilitza una proporció d'inòcul, que sol ser d'entre 20 i 50% de la mescla a digerir. L'inòcul no és altra cosa que una font originària de microorganismes metagènics que serveixen per a donar arrencada a la reacció i que poden obtenir-se d'altres biodigestors en funcionament, llots de llacunes de tractament d'efluents o fem d'animals, especialment remugants o porcs.

BIODIGESTORS SEMICONTINUS O CONTINUS HUMITS SENSE MANEIG DEL SUBSTRAT

Els biodigestors que abasta aquesta classificació treballen amb un contingut de matèria seca d'entre 1 i 17% en la mescla i es poden classificar en sis subgrups.

BIODIGESTORS RURALS DE BAIXA TECNOLOGIA

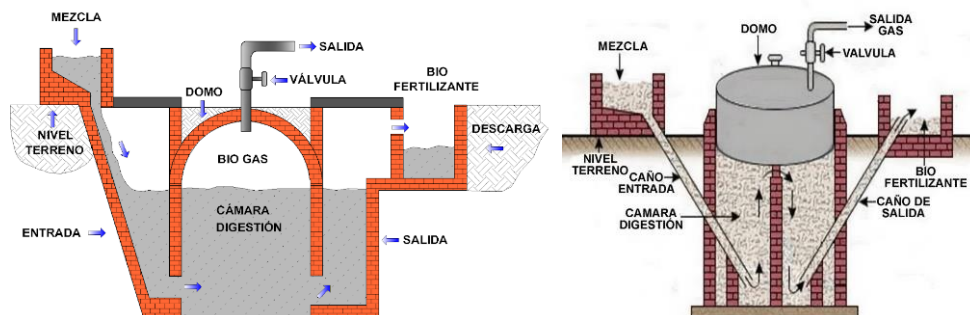
Els biodigestors domiciliaris rurals de baixa tecnologia es caracteritzen per no disposar de sistemes d'agitació contínua. En la majoria dels casos, aquests reactors no compten amb un sistema de calefacció, per la qual cosa la temperatura del procés depèn de l'exterior, normalment de la llum solar rebuda pel reactor.

BIODIGESTORS TUBULARS, TAIWANESOS, O FLEXIBLES

Molt difosos a Taiwan, són fabricats amb diferents tipus de membranes. Les més conegudes són les de PVC, EPDM o PDA. Una particularitat d'aquests biodigestors és que la seva instal·lació és senzilla, a l'igual que la seva mobilització. En aquests sistemes és important tenir en compte el gruix de la membrana que s'utilitzarà i el tipus de material i additius emprats en la seva fabricació, que hauran de ser resistents a l'atac químic i els raigs ultraviolats.

BIODIGESTORS XINESOS O HINDÚS

Aquest tipus de digestor és més utilitzat en l'agricultura, normalment es carreguen per gravetat una vegada al dia amb volums de mescla que depèn del temps de fermentació. Produeixen una quantitat de gas constant al dia, d'acord amb el seu principi de funcionament i construcció. Poden ser de campana flotant (tipus hindú) o de cúpula fixa (tipus xinès), els quals, tenen un disseny bàsic en el qual el biogàs és recol·lectat en una cúpula fixa. Aquest tipus de biodigestors estan construïts amb materials rígids, com tancs de plàstic, maó o formigó. Tenen com a avantatge una estructura més ferma i a vegades més resistent, però s'han de construir en el lloc fixe i el seu transport no és possible, per les seves grans mides.



Il·lustració 50. Biodigestor del tipus Xinès (esquerra) i biodigestor del tipus hindú (dreta). Font: uc3m

BIODIGESTORS DE LLACUNA COBERTA DE MITJANA-BAIXA TECNOLOGIA

Tal i com indica el seu nom, en aquest grup se situen els biodigestors construïts a partir de llacunes de tractament d'efluents, que en molts casos es van cobrir amb membranes per a captar el biogàs i així aprofitar la biodigestió anaeròbica. Per norma general, aquestes llacunes solen ser de grans dimensions i el seu sistema d'agitació inexistent. Tampoc presenten sistema de calefacció ni aïllament del mitjà. Això comporta que la seva eficiència depengui directament de les temperatures externes o de la temperatura amb la que ingressen els efluents. En la majoria dels casos tampoc disposen de sistemes de mesurament i control per a un seguiment de l'eficiència del procés.

Pel que fa a la seva localització, es comú trobar aquests tipus de biodigestors a zones tropicals, ja que la temperatura interna no descendeix per sota dels 10 °C.



Il·lustració 51. Biodigestor llacuna anaeròbica de mitjana-baixa tecnologia

BIODIGESTORES DE MESCLA COMPLETA DE MITJANA-ALTA TECNOLOGIA

Els biodigestor de mescla completa es van propagar als vuitanta pel país asiàtic. Eren de de tipus canal, és a dir, una fusió entre llacunes i biodigestors tubulars, però amb control de variables com l'agitació i el barrejat, i amb un aïllament que mantenia l'eficiència del procés.

BIODIGESTORS DE MESCLA COMPLETA D'ALTA TECNOLOGIA

Són biodigestors que permeten treballar en qualsevol rang de temperatura, sota qualsevol condició climàtica, amb altes càrregues tant de sòlids com orgàniques per a maximitzar l'eficiència del procés. Es construeixen amb formigó armat i acer inoxidable.

Aquest tipus de biodigestors permet garantir una producció de biogàs les 24 hores del dia durant tot l'any.

BIODIGESTORS SEMICONTINUOS O CONTINUS HUMITS AMB MANEIG DEL SUBSTRAT

BIODIGESTORS PER A EFLUENTS LÍQUIDS AMB GRANS CÀRREGUES ORGÀNIQUES

Aquests bioreactors aconseguixen reduir enormement el TRH, portant-ho de dies a hores. En conseqüència, el seu volum es redueix significativament.

El desavantatge d'aquests biodigestors és que la seva posada en marxa suposa diversos mesos, temps necessari per a crear un bon mantell de llots amb bacteris anaeròbics desenvolupats.

BIODIGESTORS SEMICONTINUS O CONTINUS HUMITS EN DOS ETAPES

Plantes de biogàs “de dues etapes” o “d'hidròlisi seqüencial”. Divideixen la producció de biogàs en dues etapes. En la primera etapa treballen amb pH entre 3,5 i 5,5, es millora la digestió de carbohidrats, i la producció de biogàs pot augmentar significativament per a un mateix substrat, sobretot aquells rics en fibres.

BIODIGESTORS SEMICONTINUS O CONTINUS SEMIHÚMIDS SENSE MANEIG DEL SUBSTRAT

Aquest tipus de biodigestor funciona amb mescles d'alimentació que contenen entre 25 i 35% de matèria seca. Són idonis per a treballar amb substrats amb baix contingut d'humitat.

Els reactors poden ser de disseny vertical i horitzontal. Per al moviment de la mescla d'alimentació i del digerit s'utilitzen bombes de tipus formigoneres. Aquests sistemes tenen l'avantatge que són menys sensibles a la presència de materials inerts en la mescla d'alimentació i no produeixen espuma o crosta a l'interior del reactor.

BIODIGESTORS SEMICONTINUS O CONTINUS SECS SIN MANEIG DEL SUBSTRAT

Existeixen sistemes, normalment denominats “*biocel·les*”, que serveixen com biodigestors per a substrats amb alt contingut de sòlids (fins a 50% MS). A diferència de la resta de biodigestors, els d'aquest tipus controlen totalment la fase anaeròbica, la qual cosa fa que la producció de biogàs per tona de substrat sigui molt més eficient. El THR per a aquests sistemes és de 28 dies.

8.2.1.4. PRINCIPIS BÀSICS PER L'ESTUDI I DISSENY D'UN BIODIGESTOR PROPI

Abans d'encarar un projecte de biodigestió, seria necessari portar a terme un estudi dels factors que envolten aquesta tecnologia, ja que extrapolar una tecnologia de biodigestió sense considerar els substrats, la temperatura, l'amplitud tèrmica, la qualitat de l'aigua i dels materials disponibles, entre altres factors, té moltes possibilitats de desembocar en un fracàs. Si bé el procés biològic en tots els sistemes és molt semblant, les tecnologies emparades en cada cas són molt diverses i requereixen estudis particulars.

OBJECTIU PRINCIPAL

Abans de començar és necessari clarificar l'objectiu principal del projecte d'obtenció de biogàs. És comú pensar que l'objectiu principal d'aquests sistemes de biodigestió és la producció d'un combustible renovable, que és el biogàs, però la realitat és que hi ha qui està interessat en els seus subproductes, que presenten nombrosos beneficis com fertilitzant agrari. En aquest cas l'objectiu es centraria únicament en l'obtenció de biogàs.

D'una altra banda, la tecnologia a utilitzar, les dimensions, els materials, el lloc, la càrrega i altres factors estaran influenciats per l'objectiu que es persegueixi, i això serà el que defineixi el desenvolupament de tot el projecte. Una vegada definits aquests objectius es pot avançar amb l'anàlisi de camp.

ANÀLISI DE CAMP

Aquesta etapa pot dividir-se en dos temes importants: elecció dels materials orgànics per a utilitzar com a substrat en la biodigestió i paràmetres físic-químics del procés.

ELECCIÓ DELS SUBSTRATS ORGÀNICS PER A UTILITZAR EN LA BIODIGESTIÓ

Pràcticament qualsevol substrat orgànic té potencial per a degradar-se en un biodigestor i generar biogàs. El principal problema apareix amb substrats que són rics en fibra, especialment amb alts continguts de cel·lulosa, hemicel·lulosa i lignina, que són enllaços de carboni molt forts i que en un mitjà amb pH neutre no aconsegueixen trencar. Entre els principals substrats utilitzables es poden trobar els excrements animals, les aigües residuals d'indústries o domicilis, subproductes d'indústries, restes de collita o residus sòlids urbans i biomassa (cultius energètics).

Amb un coneixement previ sobre els valors òptims que han de complir els substrats a l'interior d'un biodigestor per reaccionar de manera satisfactòria, es pot procedir a fer la mescla. Es recordarà, però, que els substrats hauran de ser els indicats per degradar-se completament a la reacció anaeròbica, el grau de dilució i aigua i si el substrat serà de codigestió o, al contrari, estarà format únicament per un tipus de residu.

En el nostre cas, es va optar per un substrat més ben líquid, tot i que no es va fer el càlcul es va estimar que la biodigestió era humida, i que els sòlids anaven de l'1% al 15-17% al mitjà. Aquests substrats estaven formats per restes orgàniques d'origen domèstic i fems porcines, que es van obtenir en una granja propera. No se li va haver d'afegir aigua ja que les fems ja en tenien.



Il·lustració 52. Imatge que mostra els substrats del biodigestor amb els seus components (fems d'origen porcí i matèria orgànica). Font: pròpia.

DISENY PROPI DEL BIODIGESTOR

El següent punt a considerar és el disseny del biodigestor. Però abans d'iniciar el procés de dibuix amb els seus respectius esbossos i plànols, s'anomenaran i s'explicaran breument quins són els components bàsics en un biodigestor.

Hi ha tants dissenys de biodigestors com a persones i empreses que han construït un, i això es deu bàsicament al fet que són contenidors sense oxigen (anaeròbics) on es desenvolupa un procés biològic. La forma, el disseny i els materials van variant amb el temps, ja que aquests factors depenen del nivell tecnològic a utilitzar; l'elecció dels materials per a la construcció i el disseny del mateix.

Per aquest projecte s'han hagut d'aplicar coneixements d'àmbits molts diversos, que van des de biologia, física, química, de materials de construcció, de dinàmica de fluids, de gasos, de normes de seguretat, d'enginyeria i altres. A continuació, es mostren els components que necessita un biodigestor o una central de biogàs per a tenir un funcionament correcte, des dels sistemes domèstics més senzills fins als industrials d'alta tecnologia.

TANC O REACTOR

El biodigestor, o reactor, és l'element principal i més important de tots. Compleix la funció de contenidor, on es produeixen els processos biològics en absència d'oxigen, pot estar construït amb diferents materials i formes. Es necessari també, que sigui d'un material resistent als àcids orgànics que es generen en el procés, a l'atac químic que produeix l'àcid sulfhídric contingut en el biogàs, que evitin pèrdues de líquids, que siguin impermeables al biogàs i que resisteixin l'atac dels raigs ultraviolats.

Com es pot observar a la il·lustració 38, el reactor escollit per a la producció de biogàs és un barril blau de 30 litres. Encara que les seves dimensions no permetrien la producció a gran escala de biogàs, les seves característiques s'adeqüen als requeriments del projecte.

CALEFACCIÓ DEL BIODIGESTOR

Els mètodes d'escalfament dependran de l'autor del projecte, els materials disponibles, les limitacions econòmiques i la dimensió del reactor. Tanmateix els sistemes que controlen la temperatura del biodigestor poden dividir-se principalment dos grups: interns i externs. D'una banda, els sistemes interns són aquells que permeten generar un intercanvi de calor entre l'equip de calefacció i el biodigestors des de l'interior del reactor. Per contra, els externs ho fan des de fora.

Ja que la part pràctica del biogàs s'està portant a terme durant l'estiu, no es requerirà cap mena de sistema de calefacció. Al camp de Tarragona, les temperatures més baixes a l'estiu no són inferiors als 20°C i les màximes poden arribar als 40°C. Es per això que el clima no suposarà cap problema a l'hora de produir biogàs. A més, el biodigestor es troba en una localització on les hores de sol són elevades.

Altrament, s'ha observat que per millorar les reaccions bioquímiques al reactor i paral·lelament elevar uns graus la temperatura, es podria implementar un aïllament al voltant de la part líquida, perquè és on més pèrdua de calor es genera.

SISTEMES DE CÀRREGA

Més enllà de la seva escala i nivell de tecnologia, els biodigestors solen tenir una cambra de precàrrega, on es barregen els substrats per a preparar el material que ingressarà. Els sistemes de càrrega es poden diferenciar en dos grans grups: manuals i mecànics. Els biodigestors domiciliaris, com és el cas, són carregats manualment per l'usuari. Poden tenir o no cambra de recàrrega i, en alguns casos, s'alimenten directament des d'una canonada d'entrada. Com que la quantitat de litres que ingressa és pràcticament la mateixa que surt del biodigestor, també serà necessària la instal·lació d'un sistema que permeti l'extracció del digerit.

SISTEMES D'AGITACIÓ

La funció dels sistemes d'agitació és garantir la barreja dels sedimentin sòlids i evitar que es formi una crosta superficial o es generi escuma. Aquests successos produeixen que els microorganismes no puguin accedir correctament al substrat sòlid i que, conseqüentment, es redueixi la producció de biogàs.

DIMENSIONAMENT DEL BIODIGESTOR

Com s'ha comentat amb anterioritat, mitjançant la fórmula: $TRH \text{ (dies)} \cdot \text{Quantitat de càrrega} \left(\frac{m^3}{dia} \right) = \text{Volum útil biodigestor} (m^3)$, es pot aproximar la dimensió real del biodigestor. Els únics valor que s'hauran de tenir en compte són la quantitat de dies que passarà els substrat en el reactor i el volum diari que se li afegirà.

FACTORS DE SEGURETAT

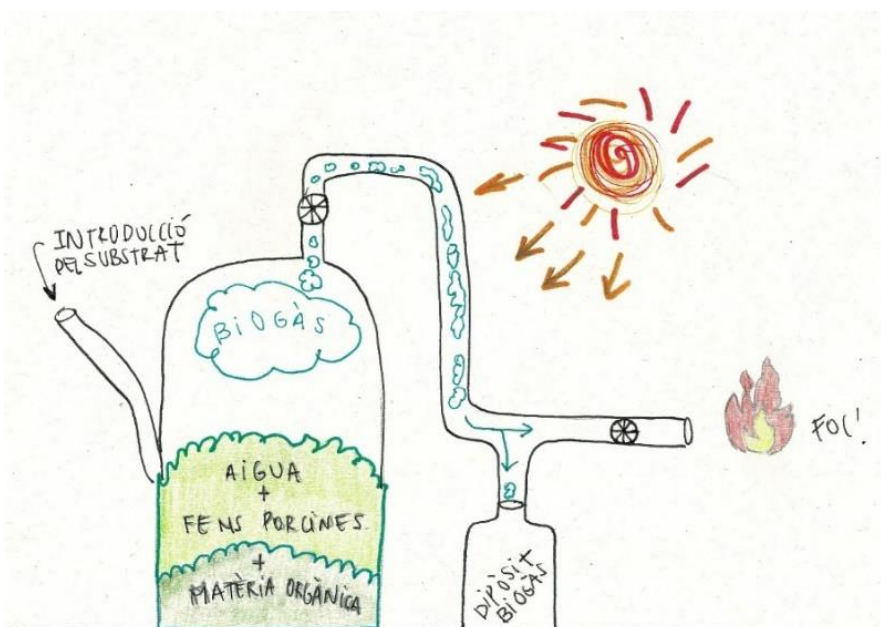
Per últim, hi ha certs aspectes, més enllà dels beneficis que genera una planta de biogàs o biodigestor. Aquests aspectes són la seguretat de les instal·lacions i persones que envolten el projecte. En efecte, a major escala de biodigestor, majors són els riscos potencials i major hauria de ser l'atenció que es presta a les normes de seguretat.

Per un costat, cal comprendre que en molts casos es manipulen residus i que poden contenir substàncies contaminants, tòxiques o patògens. A més, es treballa amb un biogàs que és inflamable, tòxic i pot contenir substàncies altament corrosives. El seu maneig incorrecte pot ocasionar riscos d'incendis i cremades, i la seva aspiració directa podria provocar la mort.

Per l'altre costat, és important realitzar un maneig racional del digerit. Aquest subproducte, en ser utilitzat com biofertilitzant, pot alliberar tòxics sobre el sòl que després acaben en cultius de consum animal i humà. Per això, és necessari que el digerit sigui analitzat per professionals i d'aquesta manera assegurar que no presenten cap risc per la salut.

8.2.2. EXECUCIÓ I PLA DE TREBALL

8.2.2.1. DISSENY PREVI



Il·lustració 53. Dibuix conceptual que reflexa el disseny previ del biodigestor. Font: pròpia

8.2.2.2. MEMÒRIA DESCRIPTIVA

Ja discernida una idea general de com serà el nostre sistema d'obtenció de biogàs, es pot començar a filar més prim i buscar els materials necessaris i el disseny definitiu d'aquest.

VEHÍCLES IMPULSATS PER ENERGIES ALTERNATIVES

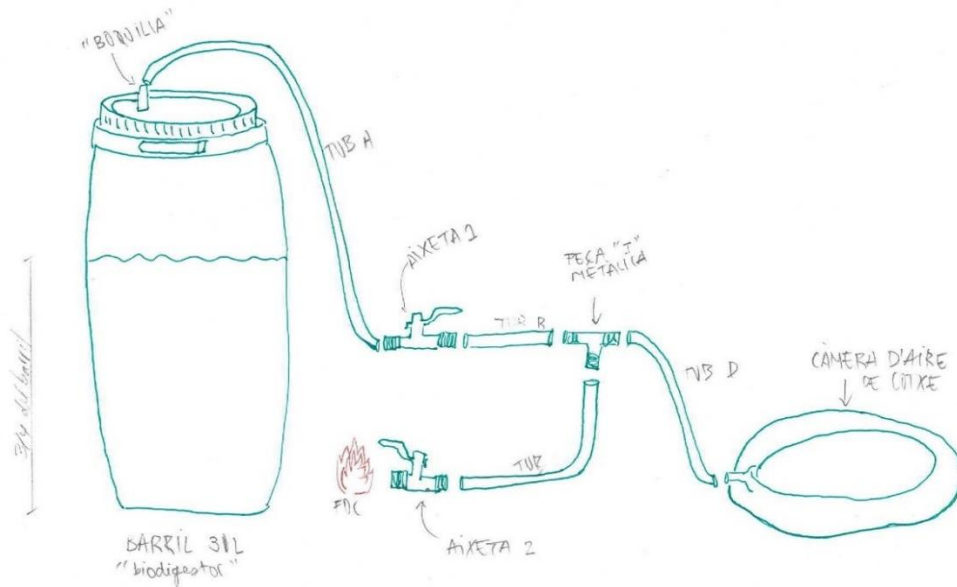
COMPONENTS

COMPONENT	IMATGE	QUANTITAT	PES (g)
Barril 30 litres		1 unitat	1740 g
<i>Broquet connector de rosca i entrada de gas (16 mm)</i>		1 unitat	250 g
Tub de silicona transparent (16mm)		2 metres	315 g
Vàlvula esfèrica de palanca amb unió mitjançant soldadura		2 unitats	452 g
Peça en forma de T de llautó		1 unitat	100 g
Càmera de cotxe sense vàlvula		1 unitat	400 g
Abraçadora		8 unitats	160 g

EINES I MATERIALS

EINES	MATERIALS
Tremp i broca	Cola segelladora
Alicates	Tefló
Tornavís pla	
Permanent	
Bufador de gas	
Barra metàl·lica	
Cassola	

8.2.2.3. PLÀNOLS



Il·lustració 54. Plànol del sistema d'obtenció de biogàs definitiu i els seus components principals. Font: pròpia

8.2.2.4. PRESUPOST

CONCEPTE	QUANTITAT	LLOC D'ADQUISICIÓ	IMPORT (EUROS)
Barril 30 litres	1 unitat	Bauhaus Tarragona	34.99 €
Broquet connector de rosca i entrada de gas (16 mm)	1 unitat	Bauhaus Tarragona	2.27 €
Tub de silicona transparent (16mm)	2 metres	Bauhaus Tarragona	9.50 €
Vàlvula esfèrica de palanca amb unió mitjançant soldadura	2 unitats	Bauhaus Tarragona	10.50 €
Peça en forma de T de llautó	1 unitat	Bauhaus Tarragona	3.12 €
Càmera de cotxe sense vàlvula	1 unitat	Autoter Mecànic el Morell	8.47 €
Abraçadora	8 unitats	Bauhaus Tarragona	5.25 €
IMPORT TOTAL:			74.01 €

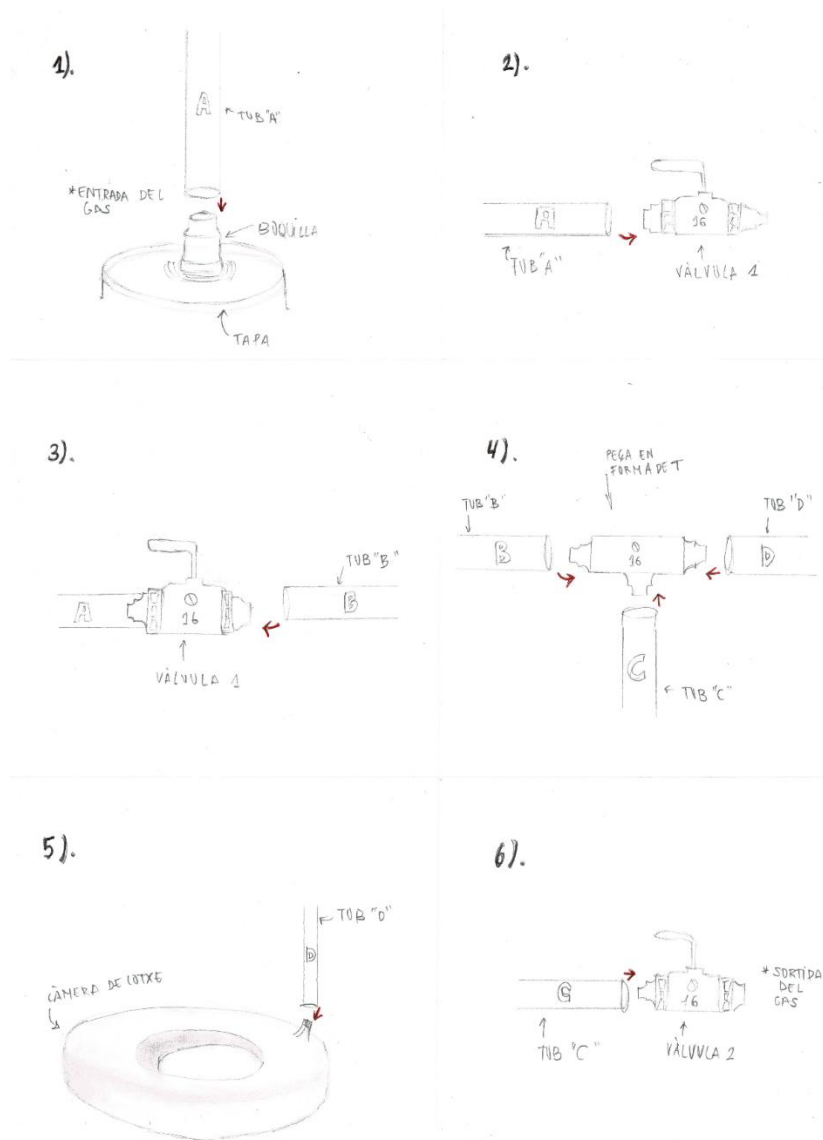
8.2.2.5. CONSTRUCCIÓ

PROCEDIMENT	INSTRUCCIONS	IMATGE
1	En primer lloc, s'ha de foradar la tapa del barril per tal de poder instal·lar posteriorment el broquet cargolat. Per aquesta tasca, es necessari fer un forat més petit que el diàmetre del broquet, i evitar així possibles fugues. En aquest cas, és va escalfar una vareta, de diàmetre subtilment més petit que la del broquet, amb un bufador de gas i es va perforar el plàstic de la tapa gràcies a la temperatura.	
2	Tot seguit, s'ha d'aprofitar la mal·leabilitat del plàstic calent i intentar cargolar el broquet al forat. Abans però, s'hauria d'haver aplicat tefló a la rosca de la peça, ja que això ajudarà a prevenir futures fugues de gas.	
3	A continuació, amb un pegament especial s'ha de recobrir la junta per la seva part interior i exterior. És a dir, per les ambdues bandes de la tapa.	
4	En quart lloc, és necessari escalfar aigua en una cassola fins que comenci a bullir. L'aigua calenta és útil per fer més mal·leables els tubs i facilitar així la seva instal·lació.	
5	Un cop l'aigua bulli es podrà procedir a muntar el sistema de conducció del gas. Les mànegues conduiran d'una banda, el biogàs del biodigestor a la càmera d'emmagatzematge i d'altra, donaran la opció d'extreure el biogàs per la seva utilització. En acabat, és necessari ajustar els extrems dels tubs amb una abraçadora.	

A continuació s'explicarà amb més detall com està composta la xarxa de conducció del biogàs. La il·lustració 8 representa, en una sèrie de sis passos, com està compost el sistema de tubs, vàlvules i d'altres peces que s'encarreguen de distribuir el gas a la càmera d'emmagatzematge i a la vàlvula de sortida.

Primer de tot, al pas 1, el tub A es connecta al broquet situat a la tapa del biodigestor. El biogàs produït al reactor serà conduït pel tub A cap a la vàlvula 1, tal i com és mostra a la segona imatge. Posteriorment, el biogàs travessa el tub B i arriba a la peça en forma de T, representada a l'apartat 4 de la imatge.

La T és una peça essencial que compleix diferents funcions. Com es pot observar, d'aquesta peça es deriven dos tubs més, a banda del B. El tub D condueix el gas a la càmera, on finalment s'emmagatzemarà el biogàs produït. D'altra banda, el tub C està connectada a la vàlvula 2 o vàlvula de sortida del gas. És important ressaltar que si el que es vol és emmagatzemar gas, la vàlvula número 2 ha d'estar tancada i la número 1 oberta. D'aquesta manera el gas no pot sortir del sistema i per això s'emmagatzema en la càmera, que es va inflant a mesura que el volum de gas incrementa. D'altra banda, si el que és busca es donar sortida al gas, per la seva posterior utilització com a combustible, la vàlvula 2 ha d'estar oberta i la número 1 tancada.



Il·lustració 55. Imatge que representa el sistema de conducció del gas amb anotacions sobre els diversos elements que el formen. Font: pròpia

8.3. COTXE DE BIOGÀS

Gràcies a l'èxit del procés d'obtenció de biogàs, es pot procedir al següent pas, que tracta d'aplicar el biogàs com a vector energètic d'un vehicle. Aquest projecte, però, presenta un gran repte a diferència del altres, i és que un cotxe de biogàs ha de ser necessàriament una màquina tèrmica.

D'una banda, el vehicle d'hidrogen genera directament l'energia elèctrica necessària per fer moure les rodes, gràcies a la pila de combustible. Molt semblant a aquest, el vehicle solar a través dels panells solars genera també el corrent que fa moure els motors elèctrics. Però, el vehicle de biogàs no s'assembla gens als anteriorment esmentats, perquè el seu funcionament no es basa en l'electricitat sinó en un motor tèrmic, el que augmenta la seva dificultat considerablement.

8.3.1. RECERCA D'INFORMACIÓ

Com s'ha esmentat abans, per portar a terme el disseny del cotxe de biogàs s'haurà de considerar un requisit essencial, i és que el cotxe ha de funcionar com una màquina tèrmica. És a dir aprofitar el potencial tèrmic del biogàs per fer moure un pistó o algun mecanisme i d'aquesta transformar el moviment fins portar-lo a les rodes. Degut al bàsic coneixement en aquest àmbit, es va escollir un motor Stirling, una màquina tèrmica senzilla i fàcil d'entendre. Per aquest motiu, la recerca d'informació tractarà del motor Stirling.

8.3.1.1. MOTOR STIRLING

QUÈ ÉS UN MOTOR STIRLING?

El motor Stirling és un motor tèrmic molt diferent als típics motors de combustió interna que s'alimenten de combustibles fòssils. Aquest tipus de motor va ser ideat el 1816 per Robert Stirling, amb l'objectiu de ser l'alternativa superior i menys perillosa del motor de vapor.

A pesar que aquest enginy posseeix un enorme potencial gràcies a les seves característiques i el seu funcionament, el motor Stirling encara no s'ha imposat al seu homòleg de combustió interna. El motiu és que, com tot, aquest tipus de motor també posseeix els seus inconvenients. Però altres característiques, com la seva senzillesa, també ho fan indicar per a l'objectiu buscat en aquest projecte.

FUNCIONAMENT

Aquest tipus de motors tèrmics estan composts de dos pistons —units mecànicament entre si per un enllaç— connectats a sengles cilindres, que actuen com a cambres de gas. I encara que no formin part íntegra del motor, també hem d'esmentar les fonts externes de fred i calor —en el cas de la calor, el motor pot servir-se d'energies renovables—.

El funcionament del motor Stirling es basa en l'expansió i la contracció cíclica d'un gas segellat en el seu interior. Aquesta expansió i contracció s'aconsegueix exposant el gas una vegada i una altra a una font de calor i a una altra de fred, respectivament. Parlant tècnicament, un motor Stirling és un aparell mecànic que funciona en un cicle regeneratiu termodinàmicament tancat, amb compressió cíclica i expansió cíclica del fluid de treball a diferents nivells de temperatura. En escalfar el gas dins d'un dels cilindres, aquest s'expandeix i obliga el cilindre a moure's cap avall. Mentre aquest cilindre es mou cap avall, l'altre es desplaça en direcció contrària. Això fa que el gas escalfat es desplaci al cilindre exposat a la font de fred i es contregui en disminuir la seva temperatura.

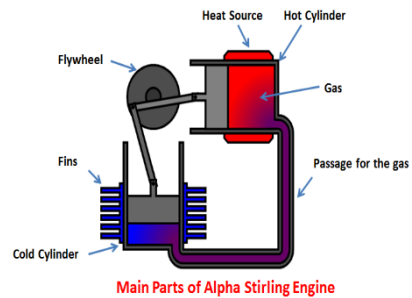
Llavors, tots dos cilindres efectuen el moviment contrari i el gas refredat torna a entrar en la càmera exposada a la calor, repetint una vegada més tot el procés. D'aquesta manera, el motor Stirling és capaç de convertir l'energia tèrmica en treball mecànic.

TIPUS DE MOTORS STIRLING

Els enginyers classifiquen els motors Stirling en tres tipus diferents. El motor tipus Alpha es basa en la interconnexió dels pistons de potència de múltiples cilindres per a moure el gas de treball, amb els cilindres mantinguts a diferents temperatures. Els motors Stirling de tipus Beta i Gamma utilitzen un pistó desplaçador per a moure el gas de treball d'un costat a un altre entre els intercanviadors de temperatura en el mateix cilindre.

Motor Alfa Stirling

Un motor Stirling Alfa conté dos pistons de potència separats en cilindres separats, un pistó "calent" i un pistó "fred". El cilindre de pistó calent està situat dins de l'intercanviador de calor de temperatura més alta i el cilindre de pistó fred està situat dins del bescanviador de calor de baixa temperatura. Aquest tipus de motor té una relació potència-volum molt alta, però té problemes tècnics a causa de la temperatura generalment alta del pistó "calent" i la durabilitat dels seus segells.

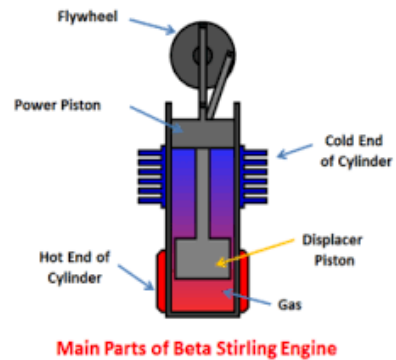


Il·lustració 56. Parts principals d'un motor Stirling Alfa. Font: Ohio University.

Motor Beta Stirling

Un beta Stirling té un sol pistó de potència disposat dins del mateix cilindre, en el mateix eix que un pistó desplaçador. El pistó que es desplaça té un ajust flux i no extreu cap potència del gas en expansió, sinó que només serveix per a transportar el gas de treball des del bescanviador de calor calenta al bescanviador de calor freda. Quan el gas de treball s'empeny cap a l'extrem calent del cilindre, s'expandeix i empeny el pistó de potència.

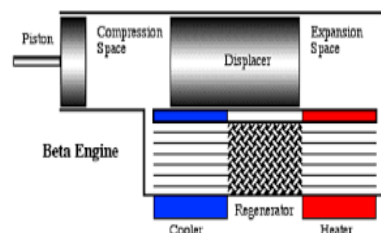
Quan s'empeny cap a l'extrem fred del cilindre, es contreu i l'impuls de la màquina, generalment millorat per un volant, empeny el pistó de potència cap a l'altre costat per a comprimir el gas.



Il·lustració 57. Parts principals d'un motor Stirling Beta. Font: Ohio University.

Gamma Stirling

En tercer lloc, un motor Stirling del tipus gamma és simplement un beta Stirling en el qual el pistó de potència està muntat en un cilindre separat al costat del cilindre del pistó desplaçador, però encara està connectat al mateix volant. El gas en els dos cilindres pot fluir lliurement entre ells i roman com un sol cos. Aquesta configuració produeix una relació de compressió més baixa, però és mecànicament més simple i s'usa sovint en motors Stirling de diversos cilindres.

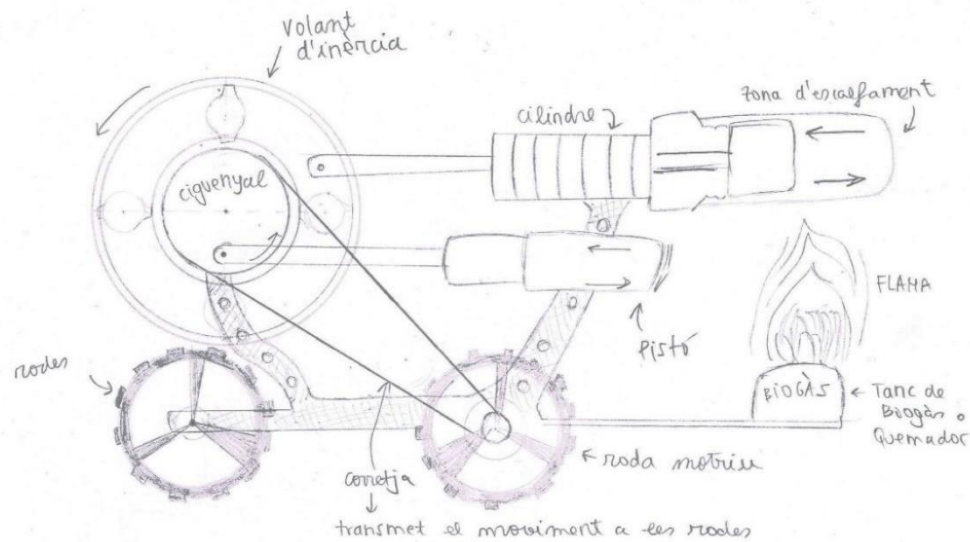


Il·lustració 58. Parts principals d'un motor Stirling Gamma. Font: Ohio University.

8.3.2. EXECUCIÓ I PLA DE TREBALL

8.3.2.1. DISSENY PREVI

L'esbós o disseny previ es va portar terme considerant que el vehicle de biogàs havia de ser un híbrid entre un motor Stirling i una base amb rodes. El motor, al fer girar un cigonyal, transmetria el moviment rotatiu a les rodes a través d'una corretja de transmissió.



Il·lustració 59. Esbós del cotxe de biogàs on es poden diferenciar els seus components principals. Font: pròpia.

Tot i que es va contemplar la idea de fer girar un alternador, mitjançant el motor Stirling, i crear un corrent elèctric per impulsar finalment un motor de corrent continu, a l'igual que als altres vehicles, la solució triada era l'alternativa més eficient i senzilla.

8.3.3. INCONVENIENTS I LIMITACIONS

Un cop solucionat l'ítem del motor, es presentava altre gran inconvenient. Es va poder observar com el biogàs obtingut a través del biodigestor era un combustible altament inflamable i totalment capaç de crear una flama constant per fer funcionar el motor Stirling. Tanmateix, aquest gas ocupa un gran volum i per utilitzar-lo al cotxe aquest gas hauria de comprimir-se. És a dir, en proporció a les dimensions del motor i del vehicle, el gas hauria d'emmagatzemar-se en un tanc o dipòsit proporcional a la resta del d'elements. En aquest punt, vaig trobar una gran limitació per continuar amb el projecte, doncs no constava amb els medis, eines, coneixements ni suports necessaris per comprimir el biogàs obtingut amb el biodigestor.

Tot i no poder portar a terme la construcció del vehicle impulsat per biogàs, aquest projecte tecnològic ha demostrat que és possible crear biogàs, per tal d'aprofitar la gran quantitat de residus orgànics que es produeixen als domicilis cada dia i per tal de ser una alternativa més sostenible als combustibles fòssils.

8.4. RESULTAT

Seguint la dinàmica de plasmar en curtsmetratges els resultats obtinguts, si s'escaneja la imatge 56 es podrà accedir a un vídeo de dos minuts i mig de durada que mostra tot el procés de construcció, es fa una descripció dels materials i eines emprats, es mostren els substrats utilitzats i finalment es demostra com el gas obtingut és inflamable.



(VIDEO NO DISPONIBLE PER LA SEGURETAT DE LES DADES) Il·lustració 60. Al escanejar el següent codi QR es podrà tindre accés a un vídeo on es mostra el resultat final del projecte tecnològic del biodigestor. Font: pròpia.

8.5. AVALUACIÓ

Recordant que l'objectiu del projecte d'obtenció de biogàs era crear biogàs tot seguint la recerca d'informació que es va fer prèviament, es pot afirmar que s'han aconseguit els objectius de manera excel·lent. A més, com mostren les proves visuals mostrades amb anterioritat, el resultat de la descomposició durant dues setmanes d'un material totalment orgànic van crear un gas àmpliament inflamable. Això demostra, que el biogàs és una perfecta alternativa sostenible als combustibles fòssils, tant en el transport, la indústria o l'ús quotidià com per exemple a la cuina, les estufes o la lluminària.

Els humans hem comprès que la nostra activitat en el planeta, així com el nostre benestar, comporten una sèrie de perjudicis per al mateix. Això, unit a l'esgotament pròxim de les principals fonts d'energia actuals com són el carbó, el petroli i derivats, el gas natural, entre d'altres, està fent que es plantegin alternatives renovables i d'emissions zero per a disminuir la petjada ecològica que deixem els humans en forma de residus i contaminants.

Evidentment, les energies renovables com ara l'eòlica o la solar estan molt més desenvolupades i probablement són més eficients. No obstant això, alternatives com les que planteja aquest treball poden ser adequades en uns certs entorns o per a unes certes aplicacions, com per exemple en països amb una gran activitat agrícola. El que és clar és que ens trobem en un moment en el qual estem tractant d'estudiar i explotar totes les fonts d'energia que podem, amb la fi de reduir la nostra petjada sobre el planeta, i en aquest sentit els sistemes de biodigestió representen un excel·lent aprofitament de les restes orgàniques, que no són poques. Qui sap, potser en un futur emprem les deixalles orgàniques que es generen tant en el cultiu com en les llars per a la generació d'energia elèctrica de manera sostenible i potser en això jugui un important paper el biogàs.

8.6. PROPOSTES DE MILLORA

Tindre una visió crítica sobre els resultats obtinguts és essencial per poder millorar en projectes futurs. Es per això que en aquest apartat es mostraran quatre possibles aspectes on el biodigestor construït té marge de millora.

La primera millora es situa en el sistema de la tapa del dipòsit o barril. Amb el pas del temps, el barril, junt amb tot el sistema de la càmera d'emmagatzematge i tubs de distribució, van anat guanyant pressió. Això mostrava que el biogàs s'estava creant, però al mateix temps aquelles parts dels sistema que no havien quedat segellades correctament van presentar pèrdues de gas, especialment a la tapa del biodigestor, en específic al broquet. Es creu que la fuga va estar causada per la mala qualitat del pegament utilitzat o potser perquè la seva instal·lació va ser inexacta. És important reparar aquestes fugues, perquè del contrari s'estaria perdent biogàs molt valuós, alhora que disminuiria l'eficiència del conjunt i hi hauria un olor desagradable i perillós degut al metà.

En segon lloc, per fer el sistema més segur a l'hora d'utilitzar el biogàs per la combustió, es podria afegir una vàlvula antiretorn en un punt mig entre l'aixeta 2 i la càmera d'emmagatzematge. D'aquesta manera ens assegurem que en una combustió del biogàs, el foc no faci el camí contrari i arribi a la càmera d'emmagatzematge, produint un efecte no desitjat.

L'aplicació d'un manòmetre a la càmera d'emmagatzematge, per regular la pressió i fer el sistema més segur, podria considerar-se una tercera millora. En quart lloc, per fer el biodigestor més efectiu i tractar de produir biogàs a major escala, es podria afegir al reactor un conducte d'introducció de substrat, un conducte de sortida dels excedents i un conducte de sortida dels excedents més pesats. És clar, que això fa referència a un biodigestor notablement diferent al construït en aquest projecte. Aquests elements serien útils per poder introduir substrat regularment i extreure el biofertilitzant més fàcilment.

9. MEMORIA TÈCNICA DEL COTXE SOLAR

9.1. DESCRIPCIÓ I ANÀLISI DEL PROBLEMA

L'objectiu del projecte tecnològic del cotxe solar és construir una maqueta funcional impulsada amb energia solar.

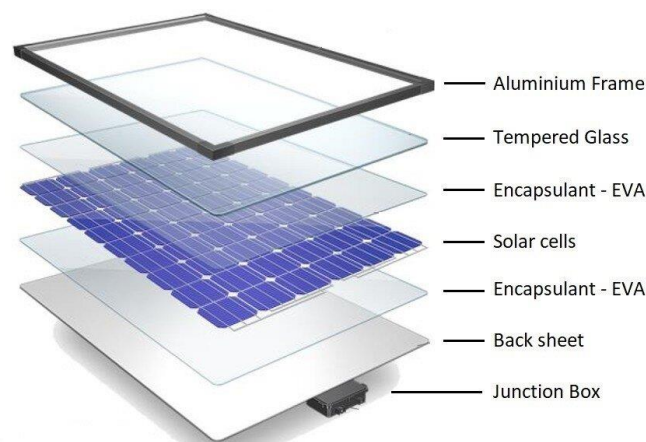
L'energia solar és una font d'energia renovable, que està en auge en els últims anys en tractar-se d'un recurs inesgotable i respectuós amb el medi ambient. A més, existeixen un gran nombre d'aplicacions de gran importància social en el camp de l'arquitectura per al disseny d'edificacions, així com en enginyeria o l'agricultura, per citar només alguns exemples. Espanya per la seva posició i climatologia és un país especialment afavorit de cara a l'aprofitament d'aquesta mena d'energia. Per aquest motiu, les tecnologies solars apunten a ser un fort vector energètic en el futur i aquesta energia no es limita a l'automoció, si no que cada dia és més comú veure-la implementada a la urbanització, ja sigui en terrats d'edificis, parquímetres, semàfors, radars, etc. És per això que en aquest projecte tecnològic es planteja demostrar de manera pràctica, la viabilitat de l'energia solar en els cotxes, i donar així suport a una comunitat que tendeix a ser la base energètica de la nostra societat futura.

9.2. RECERCA D'INFORMACIÓ

9.2.1. QUÈ SÓN LES CÈL·LULES SOLARS

Un mòdul solar es compon de sis components diferents, però podria dir-se que el més important és la cèl·lula fotovoltaica, ja que és l'encarregada de generar l'electricitat. La conversió de la llum solar, composta de partícules anomenades fotons, en energia elèctrica per una cel·la solar es denomina "efecte fotovoltaic".

Les cèl·lules solars fotovoltaiques generen electricitat en absorbir la llum solar i usar aquesta energia lluminosa per a crear un corrent elèctric. Hi ha moltes cel·les fotovoltaiques dins d'un sol mòdul solar, i el corrent creat per totes les cel·les juntes suma suficient electricitat per a representar una important font d'alimentació elèctrica. Per exemple, un panell base sol contenir entre 60 i 72 cèl·lules fotovoltaiques o també conegudes com PV.



*Il·lustració 61. Parts d'un panell solar, on s'observen les diverses cèl·lules fotovoltaiques que formen un panell solar.
Font: Clean Energy Reviews.*

9.2.2. L'EFECTE FOTOVOLTAIC

Una cel·la solar funciona en tres passos generalitzats. En primer lloc la llum és absorbida i solta els electrons. Després els electrons flueixen, creant un corrent elèctric. Finalment, el corrent és capturat i transferit als cables.

Encara que l'efecte fotovoltaic és un procés complicat, aquests són els tres passos bàsics en què l'energia del sol es converteix en electricitat utilitzable mitjançant cèl·lules solars en panells solars. Una cel·la fotovoltaica està feta de materials semiconductors, la qual cosa permet que hi hagi una absorció dels fotons del sol i per tant es creï un flux d'electrons. Quan els electrons són excitats pels fotons, es crea un flux d'electricitat conegut com a corrent continu.

9.2.3. PRINCIPALS TIPUS DE CÈL·LULES SOLARS

Avui dia, els dos tipus principals de cèl·lules fotovoltaïques utilitzades són les monocristal·lines i les policristal·lines. Si bé existeixen altres maneres de fabricar cèl·lules fotovoltaïques com per exemple cel·les de pel·lícula prima, cel·les orgàniques o perovskites, les cel·les solars monocristal·lines i policristal·lines són les més utilitzades comercialment.

9.2.3.1. CÈL·LULES SOLARS DE SILICI: MONOCRISTAL·LINES I POLICRISTAL·LINES

Tant les cèl·lules solars policristal·lines com les monocristal·lines es fabriquen inicialment a partir d'oblies de silici, unes fines làmines de silici. Una cel·la solar monocristal·lina està feta d'un sol cristall de silici. Per contra, les cel·les solars de silici policristal·lí es fabriquen fusionant molts fragments de cristalls de silici.

Això porta a dos diferències clau entre les mono cèl·lules i les policèl·lules. D'una banda, en termes d'eficiència, les cel·les solars monocristal·lines són generalment més eficients que les policristal·lines. Això és pel fet que l'ús d'un únic cristall de silici alineat, facilita el flux dels electrons generats a través de l'efecte fotovoltaic. Les cèl·lules policristal·lines tenen fragments de silici alineats en moltes direccions diferents, la qual cosa dificulta una mica el flux d'electricitat. No obstant això, els mòduls solars fabricats amb cèl·lules solars monocristal·lines solen ser menys costosos que les opcions policristal·lines. Això es deu al fet que el procés de fabricació d'una cel·la policristal·lina és més simple i requereix menys processos especialitzats.

9.2.3.2. CÈL·LULES SOLARS DE PEL·LÍCULA PRIMA

Les cèl·lules solars de pel·lícula prima són cèl·lules solars molt més primes i lleugeres que sovint són flexibles, sense deixar de ser duradores. Hi ha quatre materials comuns que s'utilitzen per a fabricar cèl·lules fotovoltaïques de pel·lícula prima: telururo de cadmi (CdTe), silici amorf (a-Si), seleniur de coure, indi i gal·li (CIGS) i arsenur de gal·li (GaAs).

9.2.3.3. CÈL·LULES SOLARS ORGÀNIQUES

Els panells solars fets amb cèl·lules solars orgàniques encara no són comercialment viables, però tenen molts dels mateixos beneficis que els panells de pel·lícula prima. El que més marca la diferència de les cèl·lules solars orgàniques és la seva composició: mentre que els panells solars tradicionals i de pel·lícula prima estan fets de silici o altres semiconductors similars, les cèl·lules solars orgàniques estan fetes de materials a base de carboni. Per aquest motiu, sovint se les denomina "cèl·lules solars de plàstic" o "cèl·lules solars de polímer".

Les cèl·lules solars orgàniques són flexibles, duradores i fins i tot poden fer-se transparents.

9.2.3.4. CÈL·LULES SOLARS DE PEROVSKITA

Finalment, una “perovskita” és qualsevol material que té la mateixa estructura cristal·lina que el compost d'òxid de titani i calci, un material semiconductor amb propietats semblants al silici. Aquest material a base d'òxid de titani i calci, que utilitzen les cel·les perovskita, són creades artificialment per l'home.

Igual que les cèl·lules solars orgàniques, les perovskites encara no estan àmpliament disponibles. No obstant això, els seus baixos costos de producció i el seu alt potencial d'eficiència els converteixen en una opció interessant a mesura que la indústria solar continuï expandint-se i desenvolupant millors opcions productes de captació solar.

9.2.4. AGRUPACIONS DE CÈL·LULES SOLARS

Una cel·la fotovoltaica per si sola no pot produir suficient electricitat utilitzable per a més que un petit aparell electrònic. Per a produir la quantitat d'energia que necessita una casa, les cèl·lules solars es connecten entre si i s'instal·len sobre un substrat com a metall o vidre per a crear panells solars, que s'instal·len en grups per a formar un sistema d'energia solar. Un panell solar residencial típic amb 60 cel·les fotovoltaïques combinades podria produir entre 220 i més de 400 watts de potència .

9.2.5. EL COTXE SOLAR I EXEMPLES

Els vehicles solars són vehicles elèctrics que utilitzen cèl·lules solars autònomes per a alimentar-se totalment o parcialment de la llum solar. Els vehicles solars normalment contenen una bateria recarregable per a ajudar a regular i emmagatzemar l'energia de les cèl·lules solars i del frenat regeneratiu. Alguns automòbils solars es poden connectar a fonts d'energia externes per a complementar l'energia de la llum solar que s'utilitza per a carregar la seva bateria. El disseny dels vehicles solars sempre posa l'accent en l'eficiència energètica per aprofitar al màxim la quantitat limitada d'energia que poden rebre de la llum solar.

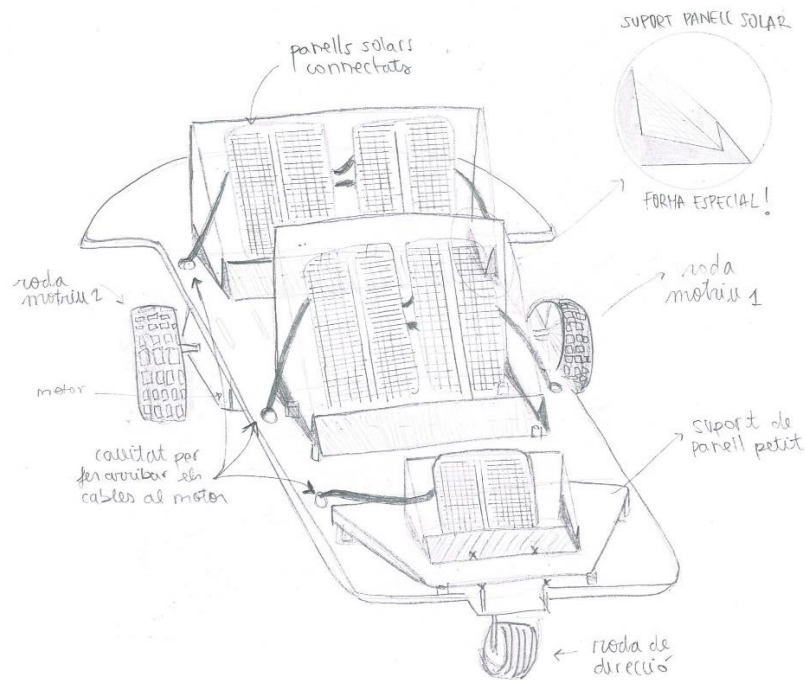
Això, que pot sonar com una utopia, està cada vegada més prop de ser una realitat. La majoria de vehicles solars han estat construïts amb el propòsit de projectes universitaris o simple experimentació. Tanmateix, s'han dissenyat i construït recentment diversos prototips de cotxes solars per al seu ús en la via pública. Com per exemple el Lightyear 0, un cotxe elèctric amb un disseny exòtic, allargat i en el qual l'estètica ha quedat subordinada a la funció, primer, buscant l'optimització de la seva aerodinàmica i, segon, aconseguir la major superfície possible per a dotar-ho dels panells solars que permeten que carregui les seves bateries mentre roman aparcats al sol. Un altre exemple, en aquest cas d'origen estatunidenc, és el cotxe solar de Aptera Motors. Un vehicle biplaça amb un disseny molt futurista, que ofereix la millor relació cost per quilòmetre del mercat.



Il·lustració 62. La primera imatge correspon al Lightyear 0, que preveu entrar al mercat l'any 2023, després de que una subvenció dels Països Baixos permetés a la companyia iniciar la seva producció en massa. La segona imatge correspon al cotxe solar de Aptera Motors, el vehicle elèctric solar més eficient, que no requereix càrrega per a la major part de l'ús diari, la qual cosa brinda la llibertat de fer més amb menys impacte en el planeta.

9.3. EXECUCIÓ I PLA DE TREBALL

9.3.1. DISSENY PREVI



Il·lustració 63. Esbós sobre el cotxe solar, on es poden observar les seves parts principals. Font: pròpia.

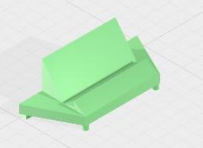
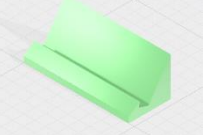
9.3.2. MEMÒRIA DESCRIPTIVA

9.3.2.1. COMPONENTS

COMPONENT	IMATGE	QUANTITAT	PES (g)
Motor de rotació de corrent continua		2 unitats	49g
Base del prototip		1 unitat	51
Rodes		2 unitats	57g

VEHÍCLES IMPULSATS PER ENERGIES ALTERNATIVES

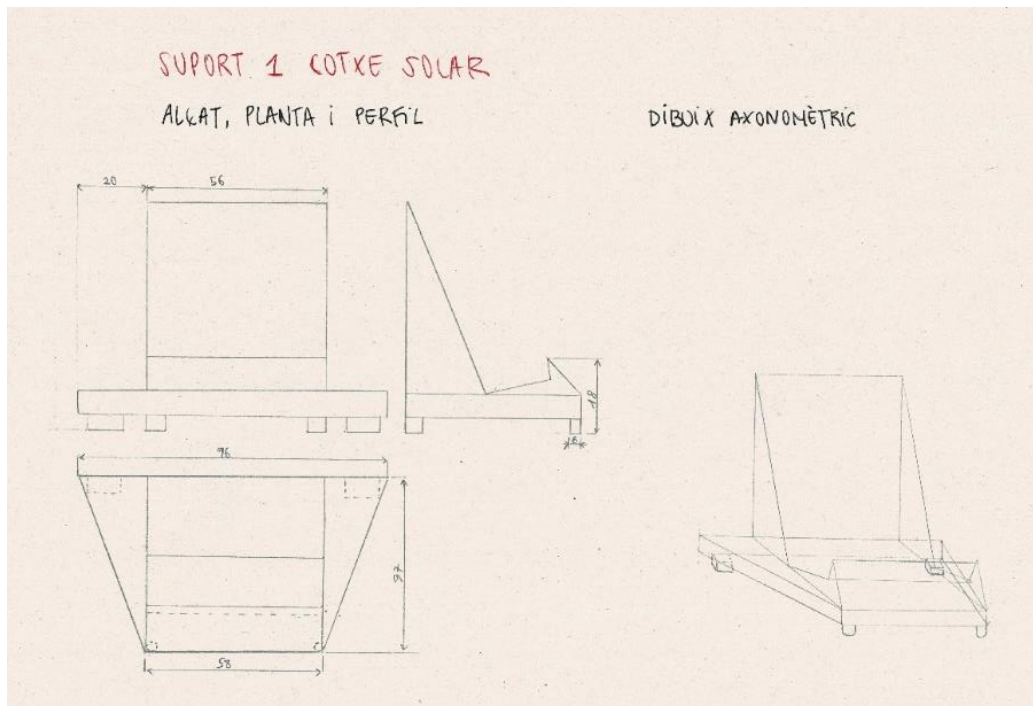
Caixa d'engrenatges		2 unitats	50g
Cargols		12 unitats	10g
Panell solar 2V i 0.5V		5 unitats (2V) i 1 unitat (0.5V)	120g
Femella		6 unitats	3g
Peça passadora en forma de T		4 unitats	2g
Peça espiadora		4 unitats	4g
Roda universal		1 unitat	28g
Interruptor		1 unitat	5g
Regleta		2 unitats	9g

COMPONENTS ESPECIALS			
PEÇA 1 3D: Suport 1 cotxe solar (frontal)		1 unitat	23g
PEÇA 2 3D: Suport 2 cotxe solar (al mig)		1 unitat	48g
PEÇA 3 3D: Suport 3 cotxe solar (al darrere)		1 unitat	52g

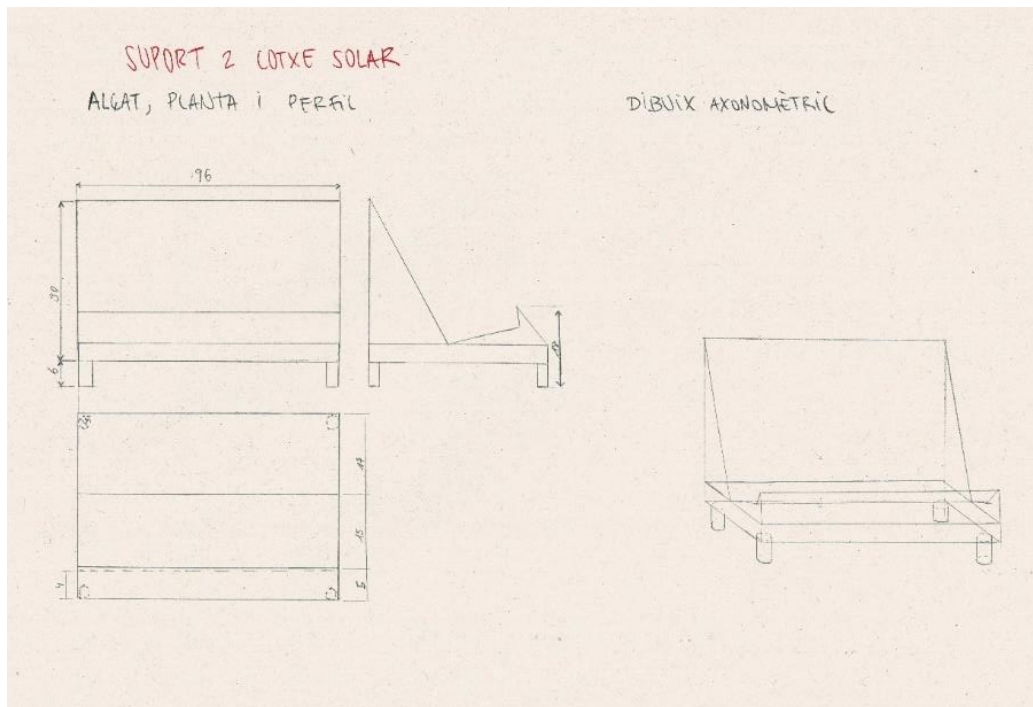
9.3.2.2. EINES I MATERIALS

EINES	MATERIALS
Soldador	Estany
Pistola de silicona	Silicona
Alicates	Filament de plàstic 3D
Tornavís	
Pelador de cables	
Voltímetre	
Impressora 3D (servei extern)	
Bàscula	

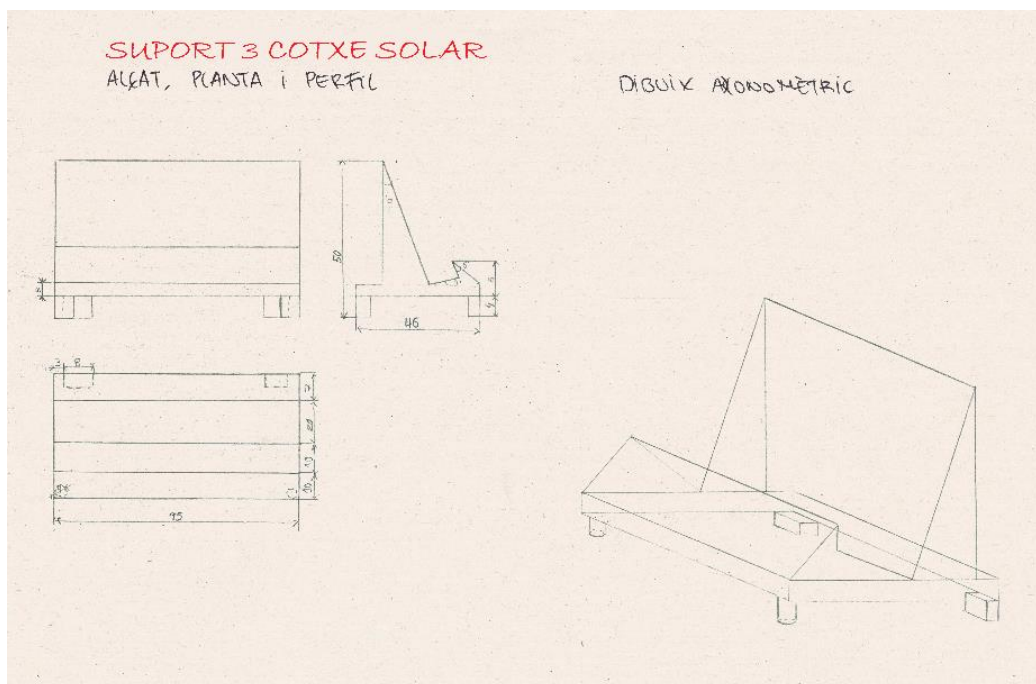
9.3.3. PLÀNOLS DE LES PECES 3D



Il·lustració 64. Planta, alçat, perfil i dibuix axonomètric del suport 1 de les plaques solars del cotxe solar. Font: pròpia



Il·lustració 65. Planta, alçat, perfil i dibuix axonomètric del suport 2 de les plaques solars del cotxe solar. Font: pròpia

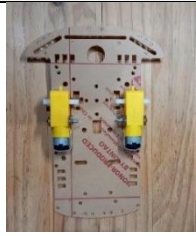


Il·lustració 66. Planta, alçat, perfil i dibuix axonomètric del suport 3 de les plaques solars del cotxe solar. Font: pròpia

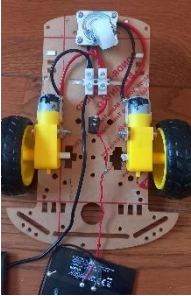
9.3.4. PRESUPOST

CONCEPTE	QUANTITAT	LLOC D'ADQUISICIÓ	IMPORT (EUROS)
Motor Smart Car Chassis for Arduino- with 2 Gear Motor	1 unitat	Amazon	16.88 €
Plaques solars 2V	5 unitats	Electro DH TGN	15.00 €
Cables roig	1 unitat	Electro DH TGN	0.58 €
Cable negre	1 unitat	Electro DH TGN	0.58 €
Bovina d'estany per a soldar	1 unitat	Leroy Merlín	1.00 €
COMPONENTS ESPECIALS			
Peces impreses en 3D	3 unitats	INS el Morell	0.00 €
IMPORTE TOTAL:			34.04 €

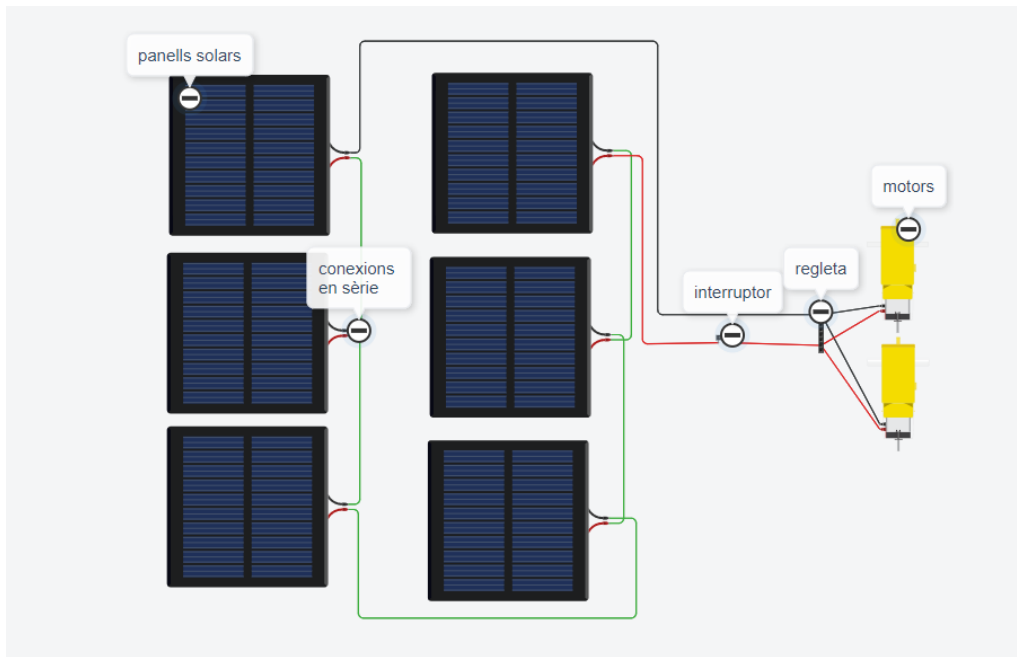
9.3.5. CONSTRUCCIÓ

PROCEDIMENT	INSTRUCCIONS		IMATGE
1	Per muntar la base del prototip s'han de seguir els següents passos:	Cargolar el motor i la caixa d'engrenatges a la base	
		Encaixar les rodes als eixos de transmissió del motor	
		Col·locar i cargolar la roda universal amb els cargols, les femelles i els espaiadors a la base.	
2	Un cop muntada l'estructura, s'han de soldar les plaques solars. En el nostre cas es van necessitar quatre plaques de 2V i una de 0.5V. Es van soldar en sèrie, per tal d'aconseguir que el voltatge es sumés i d'aquesta manera aconseguir moure els motors que eren de 3-4V cadascun.		

VEHÍCLES IMPULSATS PER ENERGIES ALTERNATIVES

3	Instal·lació dels suports 1, 2 i 3 dels panells solars. Es van fer tres suports diferents amb tres dissenys diferents, que permetien la correcta acomodació de la peça en qüestió al xassís. A més, també asseguraven la correcta inclinació de la placa cap al sol. Seguidament, ja només s'havien de col·locar les plaques a sobre.	
4	Tot seguit, és necessari instal·lar un interruptor per tal de tindre un control sobre l'energia aportada de les plaques al motor. Amb aquest interruptor es podrà decidir quan deixar el circuit obert o tancat, amb altres paraules, engegar cotxe o apagar-lo.	
5	El cinquè pas consisteix en soldar dos cables al cada motor. El cable roig pel pol positiu i el negre al negatiu. Es recomana comprovar la polaritat del motor, per assegurar-se que el motor gira en el sentit desitjat. És a dir, que avança i no retrocedeix.	
6	Per últim, només caldrà connectar els motors amb els panells solars. Per això, s'ha decidit emparar una regleta, ja que a més de ser menys complexa, a l'hora de connectar tres cables junts assegurava una millor connexió. També seria més útil en cas d'haver de retocar o reemplaçar alguna peça, com per exemple un panell solar.	

Per tal de que quedi el més clar possible, s'ha representat mitjançant diagrames les connexions entre els diversos elements del cotxe solar. En primer lloc els panells solars es troben connectats en sèrie. El cable roig o positiu passa per un interruptor, que permet obrir o tancar el circuit per tal d'encendre o apagar els motors. De l'altra terminal de l'interruptor el cable roig es connecta amb una regleta. D'altra banda, el cable positiu que surt directament del panell solar també va a parar a la regleta. En aquesta regleta es troben tots els positius i tots els negatius. És a dir, el cable positiu de l'alimentació (de la placa solar) reparteix la corrent entre els cables restants provinents del motor. El mateix succeeix amb el cable negre. Aquesta regleta permet repartir el corrent elèctric de manera equitativa entre els dos motors.



Il·lustració 67. Diagrama que mostra les connexions entre els diferents elements del vehicle solar. Font: pròpia.

9.4. RESULTATS

Mitjançant un total de 5 panells solars, que donaven un voltatge aproximat de 10V, es va aconseguir moure una de les rodes del cotxe. Això no significa, però, que el projecte de creació d'un vehicle solar hagi fracassat, tot el contrari, s'ha aconseguit convertir un raig de llum en energia elèctrica mitjançant l'efecte fotovoltaic i aquesta en moviment, com mostra el vídeo que pot ser vist si s'escaneja el codi QR de la imatge 68.

El cotxe solar està format per una base més petita que la del cotxe de biogàs i a sobre d'aquesta hi ha tres peces que van ser dissenyades i impreses en 3D per tal de fer la funció de suport dels múltiples panells solars. Entre els suports destaca un més petit, degut a que només ha de sostenir un petit panell de 0.5V. La resta són més o menys iguals i suporten a dos panells cadascú, un d'ells de 1.5V i l'altre de 2V. A mig camí entre els panells i la regleta que reparteix l'electricitat entre els motors, es troba un interruptor, la funció del qual és obrir o tancar el circuit, per tal d'encendre'l o apagar-lo. Altrament, per tal d'organitzar el cablejat a la part inferior del cotxe, es va utilitzar l'espai entre la roda de direcció i la base, com a conseqüència dels separadors, per passar els cables i assegurar així que no toquessin el terra. Finalment el vehicle va acabar tenint una massa total de 383 grams, respectivament més lleuger que el cotxe d'hidrogen.



Il·lustració 68. Vídeo que mostra el moviment d'una roda individual, aïllada de l'estructura del vehicle i impulsada per l'energia dels panells solars del cotxe solar. Font: pròpia.

9.5. AVALUACIÓ

El cotxe solar no es presentava en primer moment com una gran adversitat, degut pot-ser a que entre els vectors energètics tractats al present treball, l'energia solar era la més coneguda. Tot i així, va acabar sent un dels més complexos.

Teòricament, el conjunt dels panells solars connectats en sèrie aportaven un voltatge de deu volts als motors. Considerant que els motors eren de 3-5 volts, el corrent aportat pel sistema de captació solar hauria de ser més que suficient per moure el vehicle, tot i així això no succeïa. Tenint una visió crítica del conjunt, es poden extreure dues grans conclusions d'aquest projecte.

D'una banda, com es pot veure a la gravació de la imatge 68, l'energia solar sí és una alternativa energètica als combustibles fòssils, doncs és capaç de moure una de les rodes del vehicle solar. D'altra banda, però, i pel que correspon a la segona conclusió, la superfície de panells solars necessària per moure un vehicle solar és tan gran que resulta quasi impossible extrapolar aquest concepte a la realitat. És a dir, els cotxes tenen una superfície limitada (sostre, capó...) per posar panells solars, i aquesta és massa petita com per crear l'energia per moure el vehicle, considerant que l'energia solar és l'única font d'alimentació elèctrica. D'aquesta manera, el problema que s'ha trobat en aquest projecte, la limitació de superfície de panells solars, és també un dels problemes que afronta l'indústria automobilística actual. Segurament aquest és el motiu pel qual no són gens freqüents els cotxes solars a les nostres carreteres.

Tanmateix, és important no mal interpretar el missatge. Que no hi hagin vehicles solars en l'actualitat no significa que sigui impossible, l'energia solar segueix sent una de les millors fonts d'energia renovable, però aquesta ha de trobar altres aplicacions com el de proveir l'electricitat de les llars, ja que en aquest cas sí consta amb una superfície (la teulada) molt més generosa en la que instal·lar-se. Per altre costat, aquest treball recolza la continuació de la investigació de la fotovoltaica als automòbils, perquè de ben segur si es continua investigant s'acabarà trobant la manera de fer-les més eficients i més potents, i llavors tot-hom buscarà aplicar-les als seus cotxes.



Il·lustració 69. Imatges que mostren el voltatge entregat pels panells solars i el pes total del prototip. Font: pròpia.

9.6. PROPOSTES DE MILLORA

En aquest cas, l'única possible millora seria l'augment de la superfície útil per instal·lar panells solars. L'increment de panells significaria l'augment considerable del corrent aportat als motors i potser d'aquesta manera seria possible fer funcionar els dos de manera simultània.

10. CONCLUSIONS GERNALS I VALORACIÓ PERSONAL

El present treball de recerca es va iniciar amb l'objectiu de demostrar com tres vectors energètics emergents (l'hidrogen, el biogàs i l'energia solar) eren realment alternatives sostenibles al caduc sistema energètic actual basat en els combustibles fòssils. Un dels principals causants dels problemes mediambientals del planeta.

Concretament, es va voler demostrar si aquests vectors energètics eren aplicables al sector de l'automoció, mitjançant la creació de tres petites maquetes o prototips de vehicles impulsats per les energies a estudiar. Per fer-ho, es va estructurar el treball en dues parts, una essencialment teòrica i una altra més enfocada en la pràctica, tot i que també recopila coneixements més específics i necessaris per al treball pràctic posterior.

En la part teòrica vaig iniciar-me estudiant l'afectació de l'ús dels combustibles fòssils en el medi ambient, que darrerament veiem palès del canvi climàtic en els extrems fenòmens atmosfèrics que s'han produït en els darrers mesos (pujada de temperatures a l'estiu, sequeres, aiguats, etc.) i, en definitiva, la ràpida degradació del medi, que no segueix el seu ritme natural.

Tot indicava que la dependència de la societat actual als combustibles fòssils havia derivat en unes conseqüències mediambientals que amenacen al futur del planeta. És per això que es va decidir fer un estudi exhaustiu dels combustibles fòssils, el seu ús i quin era el seu impacte mediambiental. Això va derivar en voler saber com era l'ús que s'estava donant als vehicles i si en ells predominava una energia neta com a combustible o per contra si aquests vehicles estaven sent alimentats amb més combustibles fòssils. Per esbrinar-ho, es va realitzar una enquesta amb tres objectius clars:

1. Determinar l'ús dels vehicle
2. Conèixer la flota de vehicles actual
3. Esbrinar quina era la consciència de canvi de la població

Tot plegat, i en un temps rècord, es van obtenir un total de 1089 respostes, que va representar una base sòlida per continuar investigant sobre les alternatives als combustibles fòssils, donat que es va confirmar la hipòtesi inicial que es feia un ús excessiu del vehicle i que la gran majoria dels cotxes, motocicletes, furgonetes, etc. que estaven sent utilitzades pels enquestats funcionaven amb derivats del petroli com a combustibles. L'escassetat de vehicles que funcionessin amb combustibles verds, que va mostrar l'enquesta, va remarcar la importància d'investigacions com la que s'ha portat a terme en aquest TdR per promoure una mobilització més sostenible que redirigeixi la societat cap a un desenvolupament sostenible.

Amb aquest context, el treball va centrar-se en la recerca de no només una, sinó tres alternatives als combustibles fòssils. D'aquesta manera es va iniciar la part pràctica. Des del meu punt de vista, la part pràctica és l'element amb més pes del treball de recerca. L'aplicació pràctica dels coneixements adquirits a la part teòrica ha sigut tot un repte a escala personal. He après, entre molts altres valors, que la persistència és el millor aliat per aconseguir allò que et proposes. Durant la creació tant del biodigestor, del cotxe d'hidrogen, com del cotxe solar, res va sortir al primer intent, i va ser gràcies a la perseverança, al fet de no llençar la tovallola i no perdre la bona actitud, que va fer que al final poguéssim assolir els resultats desitjats.

El gran inconvenient que experimenta en l'actualitat la creació de l'automòbil solar, es va reflectir a la perfecció al projecte tecnològic del cotxe solar.

La idea d'un vehicle veritablement sostenible, lliure d'emissions i amb una font d'energia inesgotable, hauria d'emocionar a part de la indústria, però els turismes alimentats pel sol no acaben de quallar.

Entre els inconvenients principals apareix l'eficiència dels panells solars. La cèl·lula fotovoltaica més eficient creada fins al moment ofereix una eficiència d'un 26%, és a dir, el desaprofitament de llum natural resulta considerable. Es fa imprescindible una enorme quantitat de panells que recullin la llum, massa perquè càpiguen en un turisme normal. Aquest tipus de problemes es van veure reflectits durant la creació del cotxe solar, ja que els 5 panells solars instal·lats en el vehicle solament van ser capaços de moure una única roda. Per tant, la utopia del cotxe solar, avui dia, topa amb unes limitacions físiques i tecnològiques que demostren la necessitat de continuar investigant, per a així poder parlar algun dia d'un vehicle autosuficient energèticament parlant.

D'altra banda, el vehicle d'hidrogen va suposar el repte més complex en comparació amb les altres creacions. Això és degut al fet que el coneixement de partida sobre l'hidrogen era gairebé nul, el que va suposar una dificultat afegida al projecte.

La pila de combustible d'hidrogen ha aconseguit un grau de maduresa tecnològica històrica i el descobriment personal d'aquest tipus de tecnologia química em va resultar fabulós. Penso que un dels elements més abundants de l'univers, l'aigua, podria ser la solució a molts dels maldecaps mediambientals als quals l'automoció s'enfronta.

Tanmateix, ningú estaria disposat a comprar un cotxe, per sostenible que sigui, si el seu preu és desorbitadament alt. És essencial recolzar la indústria química perquè impulsi la producció en sèrie de les piles de combustibles i així abaratir el seu preu. Altrament, tan sols una minoria podrà adquirir aquest tipus de vehicles. Això té una gran relació amb la creació pràctica del vehicle d'hidrogen, puix que un dels majors limitants que es van presentar en la seva construcció era l'alt preu que suposa l'adquisició de les 3 piles PEM que el formen. És a dir, penso que el desenvolupament sostenible ha de ser econòmicament assolible.

L'últim punt pel que respecta a l'hidrogen, seria la distribució de les hidrolineres o punts de recàrrega del combustible. Tot i que el vehicle construït a la part pràctica té la capacitat de generar l'hidrogen i l'oxigen, d'una banda, i produir electricitat a partir d'aquests, d'altra banda, això no s'extrapolaria de manera literal al pla real. És a dir, la diferència entre el cotxe d'hidrogen creat i un vehicle d'hidrogen real seria que el primer, gràcies a les propietats de la pila PEM, s'hauria d'alimentar només amb aigua. En canvi, el segon necessitaria uns punts de recàrrega, també coneguts com a hidrolineres, on es proveïrien de l'hidrogen verd necessari. Paral·lelament, això planteja un altre gran interrogant i és com arribaria aquest hidrogen a les hidrolineres. Mitjançant camions, gasoductes, es produiria allà mateix? Tot apunta a l'aprofitament d'antics gasoductes de gas natural, però és una qüestió a la qual no s'ha donat resposta encara.

L'últim i tercer vector energètic estudiat va ser el biogàs. No es pot discutir que el gas és un dels productes més consumits i necessaris del món. La humanitat l'utilitza per produir electricitat, moure vehicles, escalfar llars, a les cuines, etc. No obstant, existeix una alternativa sostenible a aquests gasos fòssils i és el biogàs. Les seves propietats permeten convertir els residus en una matèria valuosa. Fent servir la premissa de res es destrueix, tot es transforma, el biogàs és un vector energètic emergent que apunta a convertir-se en una de les millors energies renovables.

El biogàs ha resultat ser, en l'àmbit personal, la branca més entretinguda del treball, de la qual he après moltíssimes coses. Aquest biogàs no suposa grans reptes per a la seva producció, fins i tot de manera particular, a condició que es prenguin les mesures de seguretat necessàries. Per aquest motiu, considero que s'hauria de donar més veu a aquest biocombustible, que sembla desconegut entre la societat, tot i haver-se demostrat el seu gran potencial.

Encara que inicialment es va plantejar la seva producció amb el fi de funcionar com a combustible d'un prototip de vehicle de biogàs, les limitacions tècniques i de medis van fer que això no fos possible. Tot i això, el biogàs produït va demostrar ser un perfecte combustible per aplicacions com la cuina, ja que era considerablement inflamable i d'aquesta manera no feia falta sotmetre'l a cap procés industrial.

En últim lloc, i pel que respecta a la meva valoració personal sobre el TdR portat a terme, considero que la realització del mateix ha contribuït de manera directa al desenvolupament d'una de les competències més importants d'un estudiant: la competència en recerca. Al mateix temps, també es posen en pràctica les competències de gestió i tractament de la informació, a l'hora de cercar, seleccionar i sintetitzar informacions de fonts diverses; digital, ja que implica una cerca i ús d'informació en xarxes; comunicativa, a conseqüència de la presentació escrita del treball i l'exposició oral de la recerca; i també les competències personal i interpersonal, pel fet que recolza l'autonomia, l'emprenedoria, l'empatia i el maneig encertat de les habilitats socials.

Aquest treball de recerca m'ha permès posar en pràctica tot allò que he anat aprenent durant tota la meua vida. El TdR és molt més que un treball de recerca, junt amb ell hi ha una aurora de valors com la dedicació, el desenvolupament personal i cognitiu, els reptes, la visió crítica, l'autosuperació, la persistència i la formalitat. Sento que el meu pas per l'Educació Secundària Obligatoria i el Batxillerat m'han entrenat per poder afrontar aquest projecte amb amplis coneixements, que sense cap mena de dubte s'han vist reflectits. Gràcies a les llengües he pogut fer un bon redactat amb cohesió, correcció i coherència. Les ciències exactes com les matemàtiques, la física, la química o la biologia han tingut un pes important en la interpretació de les reaccions químiques del biodigestor i la pila de combustible, la interpretació de gràfics, el medi ambient, etc. El gran nombre de fonts d'informació en llengua anglesa han donat sentit a la meua formació d'anglès. La història també ha sigut rellevant, ja que s'ha fet referència a diversos períodes històrics com la història de l'automòbil o els inicis dels combustibles fòssils. Però tot això hauria sigut impossible sense uns coneixements previs de tecnologia. La tecnologia ha estat present al 100% dels processos portats a terme a la part pràctica, des de la recerca de materials i els esbossos, fins a la construcció i avaluació de resultats.

I per acabar, en l'àmbit personal, he de dir que m'ha sigut de gran ajuda la tria d'un tema pel qual sentia realment interès, puix que la meua implicació, eficiència i persistència es van veure afavorides gràcies al fet que mai he vist el treball com una obligació sinó com una oportunitat de redescobrir-me. M'he adonat que és el què realment m'agrada i en certa manera aquest projecte m'ha ajudat a tenir més clara la meua visió sobre els meus estudis futurs.

11. BIBLIOGRAFIA

El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible. 2016-01-11. Scott Foster y David Elzinga. <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>

Cambio climático: El ser humano ha calentado el planeta a un nivel nunca visto en los últimos 2000 años. Naciones Unidas: <https://news.un.org/es/story/2021/08/1495262>

Imatges impactants relacionades amb el canvi climàtic. National Geographic Espanya: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/grandes-reportajes/el-tiempo-esta-loco-2_6414

Global Footprint Network: <https://data.footprintnetwork.org/#/>

11.1. COMBUSTIBLES FÒSSILS

Recursos naturales i fonts d'energia, "Combustibles fòssils", Mòduls Universitaris en ciència del Desenvolupament Sostenible (MOUDS), Càtedra de desenvolupament sostenible Dow i URV: <http://desenvolupamentsostenible.org/ca/recursos-naturals-i-fonts-denergia/3-recursos-naturals-que-son-fonts-denergia/3-1-fonts-denergia-no-renovables/3-1-1-combustibles-fossils>

Definició de combustible fòssil. Termcat centre de terminologia. Any 2022: <https://www.termcat.cat/es/cercaterm/fitxa/NDMxOTIwNw%3D%3D>

¿Qué es el combustible fósil? La energía que se obtiene de la materia orgánica. BBVA. Act. 21 gener 2022: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-combustible-fosil-la-energia-que-se-obtiene-de-la-materia-organica/>

Qué son los combustibles fósiles y cómo se formaron. Irene Juste, Directora de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/que-son-los-combustibles-fosiles-y-como-se-formaron-1349.html>

11.2. CARBÓ

El carbón en Castilla y León. Junta de Castilla y León. Any 2009: <https://www.siemcalsa.com/images/pdf/EI%20Carbon.pdf>

"Data and statistics", electricity information, electricity production. IEA (International Energy Agency): <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-products/?filter=coal>

¿Por qué carbón? Drummond Company Ind: <https://www.drummondco.com/por-que-carbon/?lang=es>

Impacte medioambiental: El lado oscuro del carbón. Greenpeace: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/cambio-climatico/carbon/el-lado-oscuro-del-carbon/>

Carbón. Greenpeace: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/cambio-climatico/carbon/>

Preguntas frecuentes acerca del carbón. SGK planet: <https://sgkplanet.com/como-afecta-el-carbon-al-medioambiente/>

El lado oscuro del carbón. Greenpeace: [El lado oscuro del carbón | Greenpeace](https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/cambio-climatico/carbon/)

11.3. GAS NATURAL

Dónde se encuentran las reservas de gas natural más importantes del mundo. Gas & Go. Sergio Delgado: <http://gasngo.es/es/sin-categoria/donde-se-encuentran-las-reservas-de-gas-natural-mas-importantes-del-mundo/>

ENERGÍA Y MINERÍA en Castilla y León. CONSIDERACIONES AMBIENTALES. Junta de Castilla y León:

<https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/gas-natural-consideraciones-ambientales.html>

Gas Natural y Medio Ambiente. Gobierno de España:
<https://energia.gob.es/gas/Gas/Paginas/gasnatural.aspx>

11.4. PETROLI

¿Cuál es el origen del petróleo? Repsol: <https://youtu.be/pabu3y1Wlxs>

Cuál es el origen, la historia y el impacto del petróleo en el medioambiente. BBVA. Act. 22 abril 2022: [Cuál es el origen, la historia y el impacto del petróleo en el medioambiente](#)

Petróleo. Wikipedia. 17 de noviembre de 2018: [Petróleo - Wikipedia, la enciclopedia li](#)

El petróleo. Ecco Freight Sustainable Logistics. 4 de Maig de 2022:
https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/el_petroleo.aspxbre

EL PETRÓLEO EN TU DÍA A DÍA. AOP: <https://www.aop.es/sector/el-petroleo-en-tu-dia-a-dia/>

El petróleo y su comportamiento. Gobierno de España:
https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/plan-ribera/contaminacion-marina-accidental/petroleo_y_comportamiento.aspx

Reserves de petroli al món. 11 octubre, 2021. Álvaro Merino:
<https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/el-mapa-de-los-yacimientos-de-petroleo-y-gas-en-el-mundo/>

Reserves i localitzacions de petroli al món. Wikipedia:
https://es.wikipedia.org/wiki/Reservas_de_petr%C3%B3leo

LOS IMPACTOS DE LA EXPLOTACIÓN PETROLERA EN ECOSISTEMAS TROPICALES Y LA BIODIVERSIDAD. ELIZABETH BRAVO. Maig de 2007:
https://www.inredh.org/archivos/documentos_ambiental/impactos_explotacion_petrolera_es_p.pdf

EFFECTOS GENERALES DEL PETRÓLEO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE. Greenpeace:
<http://www.ceida.org/prestige/Documentacion/petro-efectos.pdf>

11.5. HISTÒRIA DE L'AUTOMÒBIL

¿Quién inventó el coche? La verdadera Historia del automóvil. Motor.es. Carlos Gonzalez:
<https://www.motor.es/noticias/inventor-coche-202064937>.

Resumen Historia del Automóvil. Características.co: <https://www.caracteristicas.co/historia-del-automovil/>

La historia del coche Rivekids: <https://www.rivekids.com/la-historia-del-coche/>

History of the automobile. Britannica:

<https://www.britannica.com/technology/automobile/History-of-the-automobile>

Historia de la automoción. Wikipedia:

https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_automoci%C3%B3n

11.6. COMBUSTIBLE A L'AUTOMOCIÓ

Fin de los combustibles fósiles en los coches. Greenpeace: https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2018/09/POD-Media-Report_ES.pdf

Los motores y combustibles de los automóviles de hoy y del futuro. Universidad de Murcia. Mariano Alarcón García:

<https://www.um.es/documents/3239701/10859838/1motores+%281%29.pdf/eb564934-b91f-4507-b859-412694652132>

11.7. CANVI CLIMÀTIC

El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible. Naciones Unidas: <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>

ASÍ NOS AFECTA EL CAMBIO CLIMÁTICO. Greenpeace: <https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2018/11/GP-cambio-climatico-LR.pdf>

EFFECTES DEL CANVI CLIMÀTIC EN EL MEDI AMBIENT. Greenpeace:

<https://es.greenpeace.org/ca/trabajamos-en/cambio-climatico/asi-afecta-el-cambio-climatico/efectos-del-cambio-climatico-en-el-medio-ambiente/>

Aproximació a la petjada ecològica de Catalunya.

Gencat: http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/n7_ddr_7_petjada_ecologica.pdf

Emissions de GEH a Catalunya. Gencat:

https://canviclimatic.gencat.cat/ca/canvi/inventaris/emissions_de_geh_a_catalunya/

El CO2 sigue en niveles récords. Meteored. Francisco Martín León. 23 noviembre 2020:

<https://www.tiempo.com/ram/el-co2-sigue-en-niveles-records.html>

Cómo hacer un informe de encuesta fácilmente. Question Pro: .

<https://www.questionpro.com/blog/es/informe-de-encuesta/>

Què és la Petjada Ecològica? Sostenibleosustentable:

<https://sostenibleosustentable.com/ca/medi-ambient/petjada-ecologica/#definicio-de-petjada-ecologica>

BOLETÍN DE LA OMM SOBRE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO. Organització

Meteorològica Mundial: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10459

11.8. BIOGÀS

¿Qué es el biogás, cómo se obtiene y para qué se utiliza? BBVA:

<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-biogas-como-se-obtiene-y-para-que-se-utiliza/>

Biogas. “Realidad, Impacto y Oportunidades de los Biocombustibles en Guatemala (Sector Productivo)”:

<http://www.oas.org/dsd/Energy/Documents/SimposioG/3%20Panel%20I%20Biogas.pdf>

Manual de biogás. Gobierno de Chile. Ministerio de Energía. Santiago de Chile, 2011:

<https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. 2019:

http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/GuiadeBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf

Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A. Jorge A. Hilbert:

[Manual de biogas \(inta.gov.ar\)](http://www.inta.gov.ar)

<http://www.oas.org/dsd/Energy/Documents/SimposioG/3%20Panel%20I%20Biogas.pdf>

El estudio de los residuos: definiciones, tipologías, gestión y tratamiento. Universidad de Alcalá de Henares. Montserrat Grómez Delgado:

<https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/1037/El%20Estudio%20de%20los%20Residuos.%20Definiciones%20Tipolog%C3%ADas%20Gesti%C3%B3n%20y%20Tratamiento.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

El problema de los residuos en la sociedad del bienestar. Alfonso del Val. Madrid (España), noviembre de 2009. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n50/aaval.html>

Motor Stirling: El conjunto casero que revolucionó las mecánicas de combustión externa.

Autonocion.com. 17 julio, 2018. Álvaro Prieto Amaya: <https://www.autonocion.com/motor-stirling-conjunto-casero-funcionamiento/>

11.9. ENERGIA SOLAR

Energía solar: tot el que has de saber. Factorenergia:

<https://www.factorenergia.com/ca/blog/autoconsum-electric/energia-solar-tot-el-que-has-de-saber/>

¿Qué es la energía solar y cómo se produce? Cuando el sol es el protagonista:

<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-energia-solar/>

Energía solar. Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADasolar>

11.10. PILA DE COMBUSTIBLE I HIDROGEN VERD

El hidrógeno verde: una alternativa para reducir las emisiones y cuidar nuestro planeta.

Iberdrola: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/hidrogeno-verde>

El hidrógeno verde: la energía del futuro clave para la descarbonización:

<https://www.acciona.com/es/hidrogeno-verde/#1>

Green hydrogen. Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Green_hydrogen

H2planet. Compra de la pila de combustible:

<https://www.h2planet.eu/en/detail/RewPowerMINI>

PILAS DE COMBUSTIBLE. Energía sin humos. Pedro Gómez Romer:

<https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/25/25060/pilascombustible.pdf>

Pilas de Combustible. Ingemecánica. Hermenegildo Rodríguez Galbarro:

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn115.html>

Hydrogen fuel cells, explained. Airbus. Innovation. 15 October 2020:

<https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2020-10-hydrogen-fuel-cells-explained>

Pilas de Combustible. Centro Nacional del Hidrogeno: <https://www.cnh2.es/pilas-de-combustible/>

¿Cómo funciona una pila de combustible de hidrógeno? Apilados. 14 de enero, 2016:

<https://apilados.com/blog/como funciona una pila de combustible de hidrogeno/>

Tipos de pilas de combustible y su clasificación. Apilados. 16 de octubre, 2016:

<https://apilados.com/blog/tipos-de-pilas-de-combustible-su-clasificacion/>

¿QUÉ ES EL HIDRÓGENO? Centro Nacional del Hidrogeno: <https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/>

PEM Blue Reversible Fuel Cells. Fuel Cell Earth. *Caractéristiques techniques de la pila de combustible adquirida*: <https://www.fuelcellearth.com/fuel-cell-products/pem-blue-reversible-fuel-cells/>

Horizon DIY Fuel Cell Car. Fuel Cell Earth. *Cotxe d'hidrogen d'inspiració*:

<https://www.fuelcellearth.com/fuel-cell-products/fc-rover-01/>

PEM Blue Reversible Fuel Cell - 1 unit. Horizon educational. *Pila adquirida*:

<https://www.horizoneducational.com/pem-blue-reversible-fuel-cell-1-unit/p1239>

Hidrogeno Solar. Monografías técnicas de energías renovables. Lali Roca. Fundación Tierra.

11.11. PLA DE TREBALL (PASSOS DEL PROJECTE TECNOLÒGIC)

El projecte tecnològic i el procés tècnic. Slidesgo:

<https://www.slideshare.net/davidsanz50/tema-5-el-procs-tecnologic-i-el-projecte-tnic-imprimir>

12. ANNEX

12.1. ANNEX 1: ENQUESTA SOBRE L'ÚS DEL VEHÍCLE



L'ús del vehicle

Hola! Em dic [REDACTED] i sóc estudiant de 1r de batxillerat de l'Institut El Morell. Necessito la teva col·laboració pel meu Treball De Recerca. Aquest tracta sobre les alternatives als combustibles fòssils.

Aquesta enquesta és per a una única persona i vehicle. Si disposes d'un altre vehicle podràs tornar a omplir-la un cop finalitzada aquesta.

Quina edat tens? *

- ☐ entre 18 i 25
- ☐ entre 25 i 35
- ☐ entre 35 i 45
- ☐ més de 45

Vius en un/una... *

- ☐ Poble
- ☐ Ciutat
- ☐ Urbanització
- ☐ Altres: _____

VEHÍCLES IMPULSATS PER ENERGIES ALTERNATIVES

Concretament a... *

- ☐ Camp de Tarragona
- ☐ Província de Barcelona
- ☐ Altres zones de Catalunya
- ☐ Fora de Catalunya

Tens vehicle propi (cotxe, motocicleta, furgoneta, ciclomotor, patinet elèctric...) *

- ☐ Sí
- ☐ No

Indica de quin tipus és el teu vehicle (recorda que si disposes d'un altre vehicle podràs tornar a omplir l'enquesta un cop finalitzada aquesta). *

- ☐ Cotxe
- ☐ Motocicleta
- ☐ Furgoneta
- ☐ Ciclomotor
- ☐ Patinet elèctric
- ☐ Altres: _____

On aparkes el vehicle a la nit? *

- ☐ Parking individual
- ☐ Parking comunitari
- ☐ Al carrer

Quina és l'antiguitat del teu vehicle? *

- ☐ 0 anys
- ☐ 1-4 anys
- ☐ 4-10 anys
- ☐ 10-15 anys
- ☐ Més de 15 anys

VEHÍCLES IMPULSATS PER ENERGIES ALTERNATIVES

El teu vehicle privat funciona amb combustibles fòssils, electricitat o híbrid? *

- ☐ Gasoil
- ☐ Gasolina
- ☐ Híbrid
- ☐ Elèctric
- ☐ Altres: _____

Quantes vegades al dia utilitzes el vehicle, en una setmana de rutina habitual? *
(cada vegada que pugues al vehicle conta com a una)

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5
- ☐ 6 o més

Quantes vegades al dia utilitzes el vehicle, en una setmana de rutina habitual? *
(cada vegada que pugues al vehicle conta com a una)

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5
- ☐ 6 o més

VEHÍCLES IMPULSATS PER ENERGIES ALTERNATIVES

Per a què utilitzes el vehicle? *

- ☐ Anar a treballar
- ☐ Anar a l'escola/institut/universitat
- ☐ Anar a comprar
- ☐ Desplaçar-se per fer esport
- ☐ Temps d'oci
- ☐ Altres: _____

Quant et preocupa el paper que tenen els vehicles en en el canvi climàtic? *

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Molt poc	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Molt

Utilitzes el transport públic? (autobús, metro, tren, tramvia...) *

- ☐ Cada dia
- ☐ Sovint
- ☐ De tant en tant
- ☐ Molt poc
- ☐ Mai

Quin tipus de transport públic utilitzes? *

- ☐ Autobús
- ☐ Metro
- ☐ Tren
- ☐ Tramvia
- ☐ Altres: _____

VEHÍCLES IMPULSATS PER ENERGIES ALTERNATIVES

Per què no utilitzes el transport públic amb més freqüència? *

- ☐ Comoditat
- ☐ Falta de freqüència
- ☐ Preu
- ☐ Recorreguts incompatibles
- ☐ Temps d'espera
- ☐ Duració del trajecte
- ☐ Altres: _____

Quines d'aquestes energies alternatives coneixes?

- ☐ Hidrogen verd
- ☐ Biogas
- ☐ Solar
- ☐ Olis reciclats (HVO)

Estaries disposat/da a canviar el teu vehicle per a que funcioni amb alguna d'aquestes energies? *

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ Ja funciona amb una d'aquestes energies

Per què no l'has canviat encara per un de més sostenible? *

- ☐ Preu del vehicle
- ☐ Preu del combustible
- ☐ Dificultat per trobar un punt de recàrrega
- ☐ Dificultat per instal·lar un punt de recàrrega
- ☐ Considero que el meu vehicle actual ja és sostenible
- ☐ Al meu vehicle actual encara li queden molts anys de vida
- ☐ Altres: _____

Moltes gràcies per la seva col·laboració! En cas de disposar d'un altre vehicle, recorda que pots tornar a omplir l'enquesta un cop finalitzada aquesta.

12.2. ANNEX 2: PLA DE TREBALL DEL PROJECTE TECNOLÒGIC DEL COTXE D'HIDROGEN

DATA	TEMPS	TASCA
Dissabte 25 i diumenge 26 de Juny	16 hores	Recerca d'informació
Dilluns 27 Juny	6 hores	Investigació dels components del prototip i dels materials necessaris
Dimarts 28 de Juny	6 hores	Disseny i esbós del prototip
Dimecres 29 de Juny	6 hores	Anotar les incidències i tornar a buscar peces adequades per al projecte. Comprar les peces.
Dijous 30 de Juny	3 hores	Recerca i visita d'establiments d'impressió 3D.
Divendres 1 de Juliol	6 hores	Estudi de la pila de combustible.
Dimecres 20 de Juliol	3 hores	Rebuda de les peces i comprovació del seu estat. Inici del muntatge, ens adonem que falten components electrònics i que alguns no coincideixen en mesura.
Dijous 21 de Juliol	5 hores	Visita de diferents establiments per buscar les terminals "bananes" que coincideixin amb la mesura desitjada. Investigar com soldar cables i buscar les eines i materials necessaris.
Divendres 22 de Juliol	8 hores	Muntatge de la base, rodes i caixa d'engranatges del prototip. Preparació de la reunió i recopilació de dubtes per consultar. Reunió amb Ricard Garcia Valls, Doctor en Ciències Químiques de la URV.
Dissabte 23 de Juliol	8 hores	Confecció del projecte tecnològic. Continuació del muntatge, específicament la soldadura dels components electrònics. Incidències: Problemes en la soldadora, doncs els components eren molt petits i l'estany massa gros. A més la poca experiència va dificultar la tasca. D'altra banda, ens vam adonar de que la pila de combustible potser no entregaria el voltatge suficient per fer funcionar els motors. Es va decidir buscar un voltímetre per comprovar-ho de manera més exacta.
Diumenge 24 de Juliol	10 hores	Seguiment del projecte tecnològic, resoldre incidències del dia anterior. Tractar de fer funcionar la pila de combustible de manera individual per primera vegada. Incidències: Un cop muntada la pila de combustible per tractar de fer-la funcionar, aquesta es va deixar al sol però no es va aconseguir que treballés. Una de les hipòtesis era que una sola

VEHÍCLES IMPULSATS PER ENERGIES ALTERNATIVES

		placa solar no tenia el voltatge suficient per alimentar la pila. Per aquest motiu es va procedir a connectar un altre panell, en sèrie. Tot i així tampoc va funcionar.
Dilluns 25 de Juliol	3 hores	Tractant de trobar la falla que feia que no funcionés la pila, es va observar que els tubs de recol·lecció d'hidrogen i oxigen tenien fugues. Després de comprar tubs més petits es va tornar a intentar, però desafortunadament tampoc es va poder fer funcionar la pila de combustible.
Dimarts 26 de Juliol	3 hores	Es va continuar la recerca d'informació, mitjançant la lectura d'un llibre relacionat amb l'hidrogen. També es va intentar establir contacte amb el Ricard Garcia, per poder fer una quedada presencial i aprofitar per buscar ajuda per fer funcionar la pila de combustible.
Dimecres 27 de Juliol	3 hores	Confecció dels primers esbossos de la peça 3D encarregada d'assegurar la pila de combustible a la base del vehicle i del suport dels panells solars.
Dijous 28 de Juliol	4 hores	Disseny en 3D de les peces
Divendres 29 de Juliol	2 hores	Enviar a imprimir les peces 3D. Es va acordar restablir el contacte amb el professor Ricard Garcia Valls a la tornada de les seves vacances.
Diumenge 18 d'Agost	4 hores	Es va reactivar la comunicació amb el Ricard Garcia Valls i es va establir una data de quedada per tractar de fer funcionar la pila d'hidrogen al seu despatx de la URV, ja que fins a les hores no s'havia aconseguit.
Diumenge 29 d'Agost	3 hores	Després d'un parell de dies parlant amb el Ricard, mitjançant correus electrònics, es va establir el divendres 2 de Setembre a les 10.30h com la hora de quedada. A més, en aquests correus electrònics també es va intentar trobar la falla que estava fent que la pila de combustible no funcionés.
Divendres 2 de Setembre	6 hores	Quedada amb el professor de la URV en Ricard Garcia Valls. Es va poder fer funcionar la pila de combustible i ens van cedir material útil pel muntatge del cotxe. Com per exemple, dos piles de combustible PEM, entre d'altres coses. Posteriorment es va continuar amb la recerca d'informació i es va fer funcionar la pila tot connectant-la al motor, de manera exitosa.

VEHÍCLES IMPULSATS PER ENERGIES ALTERNATIVES

Dilluns 5 de Setembre	3 hores	Degut a la possibilitat d'utilitzar més piles de combustible PEM al cotxe d'hidrogen, la base inicial es va quedar petita. Per això es va visitar una fusteria local on es van comprar els materials necessaris per elaborar una base amb unes dimensions majors. Finalment, després de dissenyar, marcar, tallar i polir la fusta es va obtenir una base major.
Dimarts 6 de Setembre	1.5 hores	Muntatge dels elements mòbils (rodes motores, roda universal i reductores) a la nova base.
Dimecres 8 de Setembre	0.5 hores	Redacció d'un nou correu al Ricard G. on es preguntava per informació relacionada amb la connexió en sèrie de les piles d'hidrogen. S'obre la possibilitat d'un altra quedada a la URV.
Dilluns 12 de Setembre	1.5 hores	Un cop es van enviar a imprimir les peces en 3D per al cotxe d'hidrogen, s'esperava que en un parell de dies es pogués procedir al seu muntatge. Desafortunadament això no va ser així, doncs fins al 13 de setembre les peces no van ser impreses. Es va comprovar que el seu estat era correcte i que no havia incorreccions al disseny.
Dimarts 13 de Setembre	1.5 hores	Es va aprofitar la reunió amb la tutora del dia anterior, per acordar imprimir les peces en 3D restants, a la impressora 3D de l'institut i intentar recollir-les entre el divendres 16 i dilluns 19.
Divendres 16 de Setembre	6 hores	Es van rebre tres de les cinc peces impreses a l'institut per la tutora. Posteriorment es van instal·lar al cotxe. Concretament, es va muntar el suport de les cèl·lules fotovoltaïques. Inconvenient: es van haver de rectificar alguns dels punts de subjecció de la base al suport de les plaques solars degut a imperfeccions a la impressió.
Dilluns 26 de Setembre	4 hores	Es va quedar finalment, per segona vegada, amb el Ricard Gracia Valls. En la quedada em va mostrar com portar a terme les connexions en sèrie entre les 3 piles de combustible que impulsaran el vehicle d'hidrogen.
Dissabte 25 de Setembre	2 hores	Es va assistir a la fira de ciència a Tarragona. On, entre altres exposicions sobre ciència, hi havia una dedicada a l'hidrogen verd i la proposta del Vall de l'Hidrogen a Catalunya.

12.3. ANNEX 3: PLA DE TREBALL DEL PROJECTE TECNOLÒGIC DEL BIODIGESTOR

DATA	TEMPS	TASCA
Dimarts 2 d'agost	7 hores	Recerca d'informació sobre els possibles sistemes d'obtenció de biogàs aplicables a les necessitat del treball
Dimecres 3 d'agost	5 hores	Continuació de la recerca d'informació i esbós de les primeres idees
Dijous 4 d'agost	4 hores	Llistat de peces necessàries per la construcció i recerca de les peces per internet
Divendres 5 d'agost	4 hores	Visita a diferents establiments en busca de les peces. Incident: no es van trobar barrils menors de 50 litres, el que era massa gran per les dimensions del treball. Es va visitar una granja local amb bestiar porcí en busca de fems, però no els responsables ens van comunicar que les úniques fems que tenien eren sòlides i amb gran quantitat de sorra. Això no era útil, perquè si el substrat no era pur la reacció seria ineficient.
Dissabte 6 d'agost	6 hores	Visita d'altres establiments on, finalment, es va poder trobar el barril de 30 litres. Es va començar la construcció del sistema d'obtenció de biogàs. Específicament la preparació de la tapa del biodigestor. Es va foradar la tapa i seguidament es va instal·lar el broquet. A continuació es va seguir amb la construcció. Després de col·locar el broquet, van seguir els tubs de silicona, les vàlvules i finalment la càmera. (passos explicats al punt 7.2.2.5)
Diumenge 16 d'agost	3 hores	Un cop finalitzada la construcció del sistema de biogàs, es va buscar una localització que presentés les condicions adequades per la generació del biogàs. Es va buscar una altra granja amb bestiar porcí. Aquest cop si es van poder obtenir les fems de forma líquida, fins i tot diluïdes amb aigua. A continuació es van introduir els substrats i es va segellar hermèticament el sistema.
Dimarts 23 d'agost	1 hora	Després de 16 dies, es va observar que la càmera d'emmagatzematge s'havia omplert de biogàs ja que aquesta estava bastant inflada, el que demostrava que el projecte tecnològic havia sigut tot un èxit. Inconvenients: amb la creació del biogàs, la pressió del sistema va augmentar notòriament i desafortunadament van aparèixer fuges a la tapa del biodigestor, que era un dels punts més crítics i febles del sistema.
Dimecres 24 d'agost	5 hores	Al dia següent es van intentar arreglar les fugues de gas mitjançant adhesiu especial. Tot i que no era la solució més eficaç, va ser suficient per solucionar el problema. També es van gravar diversos vídeos explicatiu sobre el projecte tecnològic que s'havia portat a terme.
Dijous 25 d'agost	4 hores	El següent punt pendent era fer la demostració de que el biogàs obtingut era inflamable i capaç de portar a terme una combustió. Per això es va gravar un altre vídeo, a la nit, on es va poder veure el gran potencial del biogàs com a vector energètic.
Divendres 26 d'agost	3 hores	Neteja del sistema d'obtenció de biogàs
Dissabte 27 d'agost	7 hores	Treball de camp (continuació del projecte tecnològic de manera més teòrica i anotació dels resultats)
Diumenge 28 d'agost	6 hores	Treball de camp (continuació del projecte tecnològic de manera més teòrica i anotació dels resultats)

12.4. ANNEX 4: PLA DE TREBALL DEL PROJECTE TECNOLÒGIC DEL COTXE SOLAR

DATA	TEMPS	TASCA
Dissabte 2 i diumenge 3 de Juliol	15 hores	Recerca d'informació.
Dilluns 4 de Juliol	6 hores	Investigació dels components del prototip i dels materials necessaris.
Dimarts 5 de Juliol	7.5 hores	Disseny i esbós del prototip, més creació de les peces 3D al Tinkercad.
Divendres 8 de Juliol	5 hores	M'adono de que l'esbós no és adequat i el repeteixo.
Dilluns 11 de Juliol	4 hores	Comprar les peces i els components del cotxe solar a diferents establiments a Tarragona, incloent panells solars i material electrònic.
Dimarts 12 de Juliol	5 hores	Observació i comprovació del voltatge aportat pels panells en sèrie.
Dimecres 13 de Juliol	6 hores	Es van realitzar diferents proves per tal d'encendre un LED de 3V amb conjunt de cinc panells solars connectats en sèrie. Posteriorment, es va fer funcionar un dels motors del cotxe i no va funcionar.
Dijous 14 de Juliol	4 hores	Inici del muntatge de l'estructura principal del cotxe solar incloent la base, els motors i les rodes.
Divendres 15 de Juliol	6 hores	Finalització del conjunt, i me n'adono que no funciona res. Cal tornar a plantejar-ho tot.
Dissabte 16 de Juliol	8 hores	Valoració dels errors comesos; els panells solars que impulsaven les rodes estaven col·locats de manera individual. És a dir, tres panells per un motor i altres tres per altre motor, però això no va resultar exitós. S'inicia un estudi de possibles solucions.
Diumenge 17 de Juliol	8 hores	Es prova com una possible solució, la instal·lació d'una regleta per tal de distribuir el corrent aportat dels 5 panells solars de maner equitativa als dos motors. Tampoc funciona.
Dilluns 18 de Juliol	9 hores	Es desmunta el cotxe de nou, per tal de trobar quin és l'error. Es fa un estudi dels components (com per exemple de l'interruptor, per tractar de trobar si estava fos), exposo els panells solar en diferents hores del dia per veure si hi ha una diferència significativa entre els voltatges aportats (elaboro una taula amb els resultat obtinguts) i es fa una recerca d'informació on es troba que potser el problema es troba als motors, que segons la font haurien de ser especials per funcionar amb panells solars.

Dissabte 10 de Setembre	3 hores	Represa de la construcció. Després d'un temps, es reprèn la construcció del cotxe solar amb l'actitud de trobar els motius pel qual no funciona.
Diumenge 11 de Setembre	3 hores	Nou disseny d'una peça 3D (suport del panell solar frontal) que va ser dissenyada erròniament ja que tenia una inclinació massa gran que feia que els panells no captessin tota la llum solar de la que disposaven.
Dimarts 13 de Setembre	2 hores	Quedada amb la tutora per parlar sobre els avanços d'estiu, incloent l'estat del cotxe solar. La Susana ofereix la impressora 3D de l'institut per imprimir les peces restants del cotxe solar. S'envien els documents respectius a les tres peces 3D per rebre-les en els proper dies.
Dissabte 14 de Setembre	5 hores	S'aprofita la gran disposició de temps per provar una possible solució al no moviment dels motors. Es creu que una possible solució seria la instal·lació d'una pila recarregable, que sigui recarregada pels panells solars i posteriorment que sigui la pila l'encarregada d'aportar l'energia als motors. Després d'adquirir la pila es va comprovar que els panells no tenien el voltatge suficient per recarregar-la.
Divendres 23 de Setembre	2 hores	Instal·lació dels suports 3D, impresos en 3D a l'institut, a la base del cotxe.
Dissabte 24 de Setembre	4 hores	Amb els nous suports, es prova de fer funcionar de nou el cotxe, amb l'esperança de que la bona inclinació que aporten els nous suports facin funcionar el conjunt, però no funciona.
Dissabte 10 de Octubre	3 hores	Avaluació de tots els passos portats a terme. Es considera fer funcionar un únic motor en últim instant i es grava un vídeo. Aquest cop sí funciona.

12.5. ANNEX 5: VISITA DE L'INSTITUT CATALÀ D'INVESTIGACIÓ QUÍMICA I QUEDADA AMB JOSEP RAMON GALAN-MASCAROS I LAURA HERNÁNDEZ EGUÍA.

En primer lloc, es va fer una visita guiada per la Laura Hernández Eugía per tot el complex de l'Institut Català d'Investigació Química. La Laura ens va mostrar els principals sectors de l'edifici i vam entrar a un parell de laboratoris d'investigació.

Posteriorment, ens vam dirigir al despatx de Josep Ramon Galan-Mascaros, líder d'un grup d'investigació centrat en les futures aplicacions de la química de coordinació per les Energies Renovables i les Ciències dels Materials i professor d'investigació d'ICREA. Un cop aquí, es va portar a terme una conversa dirigida a profunditzar en l'àmbit de l'hidrogen i també el biogàs. Entre els punts tractats, destaquen:

- Distribució de l'Hidrogen: es podrien aprofitar els gasoductes de gas natural existents i crear així les hidrolineres que repartissin l'hidrogen verd pel territori?
- Tarragona contamina més que Barcelona degut la petroquímica.

- Un dels majors interrogants d'aquets projecte és que si per fer funcionar la pila d'hidrogen hem de fer servir electricitat, per què hem de passar pel camí de l'hidrogen? Per què no utilitzem aquesta energia directament per moure un cotxe sense necessitar l'electròlisi, ja que hi ha un rendiment (a la pila d'hidrogen) que fa tenir pèrdues?
Segons J.R. Galán les bateries presenten un gran inconvenient, que al seu torn l'hidrogen no. La realitat és que les bateries són elements molt pesats, per això l'hidrogen presenta un avantatge, perquè si els futurs camions elèctrics haguessin de dependre només de les bateries, aquests serien massa pesats.
- L'hidrogen és un vector energètic.
- Hi ha un grandíssim nombre d'empreses que utilitzen hidrogen per funcionar. Però moltes vegades aquest H és extret per mitjà de gas natural i no és hidrogen verd. El canvi, l'hidrogen verd té futur i podria substituir l'hidrogen no verd.
- El biogàs és més difícil d'aplicar al transport. La seva obtenció és viable, però com podem aplicar-lo a un cotxe petit?

12.6. ANNEX 6: RECULL D'ARTICLES RELACIONATS

S'ha realitzat un recull de d'articles relacionats amb l'hidrogen, el biogàs i l'energia solar que m'han resultat interessants a l'hora de seguir avançant els passos en la investigació i plantejar-me nous reptes de futur.

- LA VERDAD. "Bodegas de hidrógeno para un futuro energético autosuficiente". ODS 7 | ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE. Jose A. González, Martes, 12 abril 2022, 07:22. <https://www.laverdad.es/antropia/bodegas-hidrogeno-energia-autosuficiente-20220412162842-ntrc.html? tcode=cjJlX3Mz>

Bodegas de hidrógeno para un futuro energético autosuficiente

ODS 7 | ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE

Suecia ya tiene medio excavada su primera infraestructura geológica para almacenar este vector energético



Excavación caverna. / J. R. GALÁN

- AS. "Unos estudiantes inventan un coche solar que dobla su tamaño para acampar". 2 de abril de 2022 08:00. https://as.com/deportes_accion/2022/04/02/mas_accion/1648879229_937735.html?utm_term=Autofeed&utm_medium=Social&ssm=CM_AA_FB&utm_source=Facebook#Echobox=1648882317

Unos estudiantes inventan un coche solar que dobla su tamaño para acampar

22 alumnos de la Universidad de Eindhoven han creado un híbrido entre coche, camper y autocaravana que funciona con energía solar.

De Acción

Actualizado el 2 de abril de 2022 08:00 CEST



- 3/24, TV3. “Fan volar un Airbus A380 amb oli de cuina i greixos residuals”. Medi ambient, mobilitat. 30/03/2022 - 22.28. <https://www.ccma.cat/324/fan-volar-un-airbus-a380-amb-oli-de-cuina-i-greixos-residuals/noticia/3155454/>



- 3/24, TV3. “Una planta del Montsià perd tot el biogàs que genera perquè no pot accedir a la xarxa”. 26/03/2022 - 13.24. <https://www.ccma.cat/324/una-planta-del-montsia-perd-tot-el-biogas-que-genera-perque-no-pot-accedir-a-la-xarxa/noticia/3154613/>



- El horticultor. “Ingeniero jubilado crea un coche solar biplaza hecho con dos bicicletas eléctricas”. Noviembre 2 de 2022. Martin Reid. <https://elhorticultor.org/ingeniero-jubilado-crea-un-coche-solar-biplaza-hecho-con-dos-bicicletas-electricas/>

