Universitat Autònoma de Barcelona

INVESTIGACIÓ SOBRE EL FUTUR CENTRE AERI D'HIDROGEN A L'AEROPORT DE LLEIDA-ALGUAIRE

Memòria del Treball de Fi de Grau en Gestió Aeronàutica

Realitzat per

Montse Martí Gonzalez

I dirigit per

Ramon Anton Piera Eroles

Escola D'enginyeria

Sabadell, a *26* de Juny de *2023*

[El/La] sotasignat, Ramon Anton Piera Eroles director/a del Treball de Fi de Grau, professor[/a] de l'Escola d'Engineria de la UAB,

CERTIFICA:

Que el treball al que correspon la present memòria ha estat realitzat sota la seva direcció per Montse Martí Gonzalez

I per a que consti firma la present.
Sabadell, Juny del 2023

RAMON ANTON PIERA EROLES - DNI 46656113S

Firmado digitalmente por RAMON ANTON PIERA EROLES - DNI 46656113S
Fecha: 2023.06.27 19:54:49 +02'00'

Firmat: Ramon Anton Piera Eroles

FULL RESUM - TREBALL DE FI DE GRAU DE L'ESCOLA D'ENGINYERIA

Títol del Treball de Fi de Grau: Investigació sobre el futur centre aeri d'hidrogen a l'aeroport de Lleida-Alguaire	
Autor: Montse Martí Gonzalez	**Data:** Juny del 2023
Tutor: Ramón Anton Piera Eroles	
Titulació: Gestió Aeronàutica	

Paraules clau:

- **Català:** Hidrogen, biomassa, gasificació, aigua, aeroport Lleida-Alguaire
- **Catellano:** Hidrógeno, biomasa, gasificación, agua, aeropuerto Lleida-Alguaire
- **English:** Hydrogen, biomass, gasification, water, Lleida-Alguaire airport

Resum del Treball de Fi de Grau:

- **Català:** Aquest treball de fi de grau té com a objectiu investigar l'impacte d'un projecte de creació d'un centre aeri d'hidrogen a l'aeroport de Lleida-Alguaire en el model de mobilitat actual. S'analitza la situació actual de l'aeroport i es busca determinar els canvis necessaris en els processos i les infraestructures per a la implementació d'aquest projecte. També es compara aquest model amb altres aeroports, com l'aeroport de Barcelona, per avaluar la seva extrapolació. S'espera obtenir un informe actualitzat del projecte original i destacar els punts forts i els reptes de la seva implementació en el sector aeronàutic.

- **Castellano:** Este trabajo de fin de grado tiene como objetivo investigar el impacto de un proyecto de creación de un centro aéreo de hidrógeno en el aeropuerto de Lleida-Alguaire en el modelo de movilidad actual. Se analiza la situación actual del aeropuerto y se busca determinar los cambios necesarios en los procesos y las infraestructuras para la implementación de este proyecto. También se compara este modelo con otros aeropuertos, como el aeropuerto de Barcelona, para evaluar su extrapolación. Se espera obtener un informe actualizado del proyecto original y destacar los puntos fuertes y los retos de su implementación en el sector aeronáutico.

- **English:** This thesis aims to investigate the impact of a project to create a hydrogen air center at Lleida-Alguaire Airport on the current mobility model. The current situation of the airport is analyzed, and the necessary changes in processes and infrastructure for the implementation of this project are identified. Additionally, this model is compared with other airports, such as Barcelona Airport, to assess its extrapolation. The goal is to obtain an updated report on the original project and highlight its strengths and challenges in the aeronautical sector.

Universitat Autònoma de Barcelona

INDEX

1. INTRODUCCIÓ **4**

1.1 Objectius 5

1.2 Resultats 5

2. HIDROGEN **6**

2.1 Comparació de l'hidrogen i l'electricitat com a fonts d'energia per a la mobilitat sostenible 8

2.1.1 Anàlisi Comparativa: Combustible Convencional vs. Hidrogen 8

2.2 Història i evolució de l'ús de l'hidrogen com a combustible per al transport 9

2.3 Tecnologies de producció d'hidrogen: avenços i perspectives futures 11

3. LA BIOMASSA **13**

3.1 Mètodes d'aprofitament de biomassa 14

3.1.1 Mètodes termoquímics 14

3.1.2 Mètodes bioquímics 17

3.2 Producció d'hidrogen i el desafiament de l'aigua en un context de sequera 20

3.3 Central de biomassa 23

3.3.1 Funcionament d'una central de biomassa 24

3.3.2 Components d'una planta de biomassa 26

3.3.3 Fixació de preus de biomassa: Factors i acords en una central de biomassa 27

3.3.4 Avaluació dels costos de construcció i paràmetres retributius en centrals de biomassa 29

4. INFRAESTRUCTURES ALTERNATIVES PER PRODUIR HIDROGEN **30**

4.1 Hidrogenera 30

5. SITUACIÓ ACTUAL DELS AEROPORTS A ESPANYA **31**

5.1 El potencial de l'hidrogen als aeroports de baixa demanda 31

5.1.1 Potències contractades, períodes tarifaris i demanda de potència a l'aeroport de Lleida-Alguaire 32

5.2 Oportunitats i desafiaments a Lleida-Alguaire i Barcelona-El Prat 34

5.3 L'aeroport de Lleida-Alguaire: Objectius, inauguració i rendibilitat 35

5.3.1 Canvis en la xarxa de rutes i estacionalitat dels destins 36

5.3.1.1 Model per determinar la quantitat de producció de combustible i la capacitat

d'emmagatzematge 37

5.3.2 Evolució del trànsit de passatgers 39

5.4 Finançament i impacte econòmic 40

5.5 Transformant l'aeroport de Lleida: innovació i sostenibilitat 41

5.6 Impacte urbanístic 41

5.6.1 Proposta de disseny d'una planta de biomassa 42

6. NORMATIVA INTERNACIONAL I REGIONAL 43

6.1 La regulació de l'hidrogen en les polítiques públiques de la Unió Europea 43

6.1.1 Desenvolupaments regulatoris necessaris 43

6.2 Convencions i acords internacionals relacionats amb l'ús de biomassa 44

6.3 Regulacions i polítiques nacionals relacionades amb les plantes de biomassa 46

6.4 Identificació de les autoritats competents 47

6.5 Normativa i promoció de les energies renovables 49

7. CONCLUSIONS 50

8. BIBLIOGRAFIA 52

ANNEX 1 57

INDEX DE TAULES

Taula 1: Característiques dels diferents mètodes termoquímics……14
Taula 2: Característiques dels diferents mètodes bioquímics……18
Taula 3: Comparació del percentatge d'aigua utilitzat per a cada procés de transformació en hidrogen……22
Taula 4: Consum anual (MWh) de l'any 2021……33
Taula 5: Demanda màxima de potència (kW) de l'any 2020……...34
Taula 6: Consum de querosè ne base a l'estacionalitat de l'aeroport……38

INDEX DE FIGURES

Figura 1: Colors de l'hidrogen segons el procés utilitzat……7
Figura 2: Publicacions d'hidrogen sostenible de 1997 a 2010……10
Figura 3: Publicacions d'hidrogen sostenible de 2010 a 2023……...……10
Figura 4: Percentatge de publicacions d'hidrogen per país……...…10
Figura 5: Aeroport de Lleida-Alguaire……13
Figura 6: Procés de combustió……14
Figura 7: Procés de gasificació……....16
Figura 8: Procés de pirròlisi……17
Figura 9: Etapes de la digestió anaeròbica……19
Figura 10: Procés de transformació de la biomassa……25
Figura 11: Consum de biomassa de diverses plantes en funcionament……...28
Figura 12: Calendari de rutes de l'aeroport de Lleida-Alguaire……..37
Figura 13: Pes i volum del querosé i l'hidrogen líquid amb la mateixa quantitat energètica..39
Figura 14: Gràfic històric de passatgers……39
Figura 15: Disseny plantejat al 2011……42

1. INTRODUCCIÓ

Espanya té algunes de les capitals de província més denses d'Europa. A la ciutat de Madrid habiten 3,3 milions de persones (INE, 2022) i a Barcelona la xifra se situa en els 1,6 milions d'habitants (IDESCAT 2022).

Ambdues ciutats s'enfronten a un gran repte de gestió atès que han de donar servei a una gran quantitat d'habitants que majoritàriament comparteixen, en espai i en temps, les necessitats de mobilitat. A l'hora d'establir una política de mobilitat nacional, s'ha de tenir en compte que no totes les ciutats són Madrid o Barcelona, sinó que les ciutats de mida mitjana i baixa - com podria ser Lleida - també comprenen necessitats de mobilitat, encara que afrontin problemàtiques molt diferents.

Un aspecte rellevant sobre el model actual de mobilitat és que és un dels grans consumidors de combustibles fòssils, però ara s'enfronta a complexitats que situen a l'energia en el centre de la crisi econòmica, social i climàtica. El model, a més, comporta una forta dependència de l'exterior, amb tot el que això implica: fluctuació de preus, finançaments d'economies poc democràtiques i descapitalització d'empreses, entre d'altres.

Una dada contundent és que el 95,1% del consum d'energia final del transport a Catalunya depèn dels productes petrolífers, i la dependència de les importacions de combustibles fòssils a Catalunya és del 67,8%.

Quant als combustibles alternatius, l'hidrogen renovable pot propulsar avions, vaixells i camions directament o mitjançant una pila de combustible, i funcionar com un acumulador massiu d'energia elèctrica en moments de baix consum. És una peça clau i imprescindible en la transició energètica, sobretot en la descarbonització dels sectors amb més emissions de gasos amb efecte d'hivernacle actualment, com és el sector del transport aeri.

L'any 2011 es va celebrar un taller internacional sobre gestió del paisatge, i la creació d'una planta de producció d'hidrogen a l'aeroport de Lleida-Alguaire va ser una de les deu millors idees que es van plantejar.

El present treball de final de grau pretén investigar i avaluar el recorregut que ha tingut l'aeroport de Lleida - Alguaire des del plantejament d'aquesta proposta.

Per conèixer en detall aquesta idea, es va contactar amb Massimo Tassi, que va ser l'encarregat de coordinar un dels grups del Politecnico di Milano que van participar al workshop esmentat anteriorment. Aquest primer contacte va permetre descobrir el disseny que es va plantejar, el seguiment que s'ha donat a aquesta idea i entrar en debat sobre la transició ecològica a aeroports com el de Lleida - amb una capacitat aproximada de quasi mig milió de passatgers anuals - o d'altres amb una quantitat de pax molt més elevada com el de Barcelona.

1.1 Objectius

- Determinar quin impacte podria tenir aquest projecte sobre el model de mobilitat actual.

- Identificar l'impacte que es donaria sobre el model de gestió de l'aeroport de Lleida - Alguaire, atenent la seva situació actual

- Comparar si el model donat per a aquest, seria extrapolable a aeroports d'altres característiques - com per exemple, l'aeroport de Barcelona-.

Finalment, la informació que s'hagi pogut obtenir durant l'estudi, podrà ser d'ajut per a una introducció d'aquesta tecnologia en el camp de la mobilitat, però també com a informe actualitzat sobre el projecte - fet que pot ser d'interès per a les persones que hi varen participar o aquelles que volen participar en projectes similars en un futur i que prenen importància dins del sector aeri-.

1.2 Resultats

- Obtenir una comprensió clara de com aquest projecte afectaria específicament el model de gestió de l'aeroport de Lleida-Alguaire, destacant els canvis necessaris en els processos, les infraestructures o els recursos operatius

- Obtenir un informe actualitzat del projecte sorgit al 2011, destacant els punts forts i els reptes de la implementació d'aquest projecte en el sector aeronàutic.

2. HIDROGEN

L'hidrogen és l'element químic més abundant de l'univers, però no es troba de forma lliure - es troba combinat amb altres elements com l'oxigen, formant molècules d'aigua o el carboni, formant compostos orgànics - de manera que cal produir-lo. Es caracteritza per ser un vector energètic, és a dir, té la capacitat d'emmagatzemar energia que pot ser alliberada posteriorment. Actualment, els dos vectors energètics més utilitzats són la calor i l'electricitat, però l'hidrogen s'està posicionant també.

La qüestió és que, si es vol emprar en la producció d'energia elèctrica, un moviment clau per contribuir a la transició energètica, es necessita extreure'l a partir de compostos comuns al nostre planeta, com l'aigua, la biomassa o els residus.

Depenent del procés emprat per extreure l'hidrogen, podem parlar de font renovable o no renovable. És a dir, no tots els tipus d'hidrogen són sostenibles. L'hidrogen gris per exemple, és aquell que s'obté a partir de combustibles fòssils, sent el gas natural el més comú, i alhora, el més barat de produir, avui dia.

Per tant, l'hidrogen gris no representa una alternativa per mitigar els efectes del canvi climàtic. Al contrari, perllonga un sistema energètic basat en els combustibles fòssils i les emissions de carboni.

L'hidrogen blau és una alternativa més sostenible a l'hidrogen gris. Es produeix mitjançant la reforma de gas natural, però amb l'afegit de captura i emmagatzematge de carboni. Aquest procés permet la reducció significativa de les emissions de CO2, atès a que el carboni capturat durant la producció d'hidrogen blau s'emmagatzema de manera segura. L'hidrogen blau és considerat un pas intermedi cap a la transició cap a fonts d'energia més netes.

Ara bé, l’hidrogen verd és el que es considerat com a l'opció més sostenible i prometedora per a la producció d'hidrogen. Aquest no produeix emissions de CO2 i no depèn de combustibles fòssils, sent una opció clau per a la descarbonització de sectors com el transport i l'ús industrial de l'energia.

La següent taula ofereix una representació visual dels diferents colors de l'hidrogen segons el seu procés de producció. Cada color reflecteix el tipus d'energia utilitzada i l'impacte ambiental associat amb la seva obtenció. Això posa de manifest la importància de promoure l'ús d'hidrogen verd com a alternativa sostenible i neta per a la producció d'energia:

	NEGRO	MARRÓN	GRIS	AZUL	TURQUESA	ROSA	VERDE	AMARILLO	BLANCO
Fuente de energía	Carbón bituminoso	Lignito	Hidrocarb. (gas natural principalmente)	Hidrocarb. (gas natural)	Hidrocarb. (gas natural)	Energía nuclear	Renovables	Energía solar*	Presente de por sí en la naturaleza
Proceso más usado	Gasificación de carbón	Gasificación de carbón	Extracción con vapor (reformado)	Extracción con vapor	Pirólisis (descomposición mediante calor)	Electrólisis (separación mediante electricidad)	Electrólisis	Electrólisis	En exploración
Emisiones asociadas	Muy altas	Muy altas	Altas	Medias (incluye sistemas de captura de carbono)	Bajas (carbono sólido, sin CO_2)	Bajas	Bajas o nulas	Bajas o nulas	Nulas

Tipos que emplean combustibles fósiles

El hidrógeno gris y azul son los más producidos en la actualidad

El hidrógeno rosa, verde y amarillo son los más eficientes y factibles de desarrollar a medio plazo

Figura I: Colors de l'hidrogen segons el procés utilitzat

La creació d'una planta d'hidrogen a l'aeroport de Lleida-Alguaire té com a objectiu utilitzar residus d'animals i biomassa de la zona com a matèria primera per a la generació d'hidrogen. Aquesta elecció es basa en la necessitat de gestionar adequadament aquests residus, ja que sovint representen un problema ambiental. Aquesta iniciativa contribueix a fomentar l'ús de fonts d'energia renovables i sostenibles, i pot servir com a exemple per a altres projectes similars.

2.1 Comparació de l'hidrogen i l'electricitat com a fonts d'energia per a la mobilitat sostenible

Tant l'hidrogen com l'electricitat són considerats com a alternatives prometedores per descontaminar el trànsit terrestre i assegurar una mobilitat sostenible en el futur. Malgrat compartir aquest objectiu, hi ha diferències importants entre aquestes dues fonts d'energia en termes de característiques, producció, emmagatzematge i transport.

L'hidrogen és un gas lleuger i incolor que no condueix electricitat en condicions normals, mentre que l'electricitat és un flux d'electrons que es pot moure a través de materials conductors. Això implica que l'hidrogen necessita una cel·la de combustible per produir electricitat mitjançant una reacció química entre l'hidrogen i l'oxigen. En canvi, l'electricitat pot ser produïda de diverses maneres, com la combustió de combustibles fòssils, l'energia hidroelèctrica, solar, eòlica i nuclear.

Un altre aspecte a tenir en compte és l'emmagatzematge i el transport d'energia. L'hidrogen actua com un vector energètic, el que significa que s'utilitza per emmagatzemar i transportar energia. Pot ser comprimit o líquid i permet una major flexibilitat en la infraestructura de recàrrega i distribució. D'altra banda, l'electricitat és una forma d'energia que es pot transportar a través de xarxes elèctriques i utilitzar directament en dispositius elèctrics.

En termes de descontaminació del trànsit terrestre, tant els cotxes elèctrics com els cotxes d'hidrogen són considerats no contaminants, ja que no emeten gasos contaminants durant el seu funcionament. Això els converteix en candidats ideals per a una mobilitat sostenible i compatible amb el medi ambient.

2.1.1 Anàlisi Comparativa: Combustible Convencional vs. Hidrogen

Les característiques més importants d'aquest combustible (querosè) per a avions són l'energia específica (MJ/kg) i el contingut d'energia volumètrica (MJ/dm3). En general, una quantitat determinada de combustible amb una energia específica més alta permet que una aeronau transporti més passatgers i càrrega en una distància determinada.

Les principals característiques operatives de l'hidrogen rellevants per al seu ús en el transport aeri comercial són l'alta energia específica i la molt baixa densitat de volum.

Implica que en una aeronau propulsada per hidrogen s'haurà de proporcionar una quantitat relativament petita en termes de quantitat (és a dir, el contingut d'energia) i un espai relativament gran en termes de volum.

L'hidrogen líquid com a combustible d'aviació té avantatges evidents pel que fa a la reducció de l'emissió de gasos d'efecte hivernacle determinats en comparació amb el combustible Jet A convencional actual. La seva combustió no produeix CO2 i SOx.

En general, l'hidrogen es considera com a combustible d'aviació segur. No obstant això, els seus principals desavantatges potencials són la velocitat explosiva d'un 13-79% de concentració a l'aire i la molt baixa energia d'ignició (uns 0,02 mili joules).

2.2 Història i evolució de l'ús de l'hidrogen com a combustible per al transport

Es realitza un seguiment de l'hidrogen sostenible com a tecnologia emergent a través d'Espacenet, una base de dades de patents i publicacions científiques. Mitjançant aquesta recerca, s'han obtingut 888 publicacions que fan referència al concepte d'hidrogen sostenible. Encara que les dades seleccionades abasten els períodes de 1997 a 2010 (Figura 2) i de 2010 a 2023 (Figura 3), hi ha registres des de l'any 1978.

Durant la dècada de 1970, es van realitzar diversos projectes de recerca i desenvolupament arreu del món per explorar la viabilitat de l'hidrogen com a combustible per a vehicles de carretera. A la dècada de 1990, alguns fabricants d'automòbils van començar a produir vehicles d'hidrogen experimentals, com ara el GM EV1 i el Toyota FCHV.

Cal destacar, però, que l'ús de l'hidrogen com a combustible en el transport té una història encara més antiga, remuntant-se als inicis del segle XIX. El 1807, l'inventor francès François Isaac de Rivaz va construir el primer vehicle propulsat per hidrogen.

És important recordar que l'hidrogen, com a vector energètic, no només té aplicacions en el transport, sinó que també pot ser utilitzat per altres fins. Aquest element pot ser emprat per emmagatzemar energia en edificis i habitatges, així com en altres petites aplicacions, com ara ordinadors, telèfons mòbils i altres dispositius que requereixin energia elèctrica o tèrmica. L'ampli ventall d'aplicacions de l'hidrogen ha donat lloc al que s'anomena una economia de l'hidrogen.

Altres intervencions actuals en aquesta tecnologia s'enfoquen al desenvolupament de tecnologies relacionades amb hidrogen, barreges gasoses que contenen hidrogen, separació de l'hidrogen a partir de barreges que el contenen, combinació de cel·les de combustible amb mitjans per a la producció de reactius o per al tractament de residus i cel·les de combustible amb electròlits sòlids.

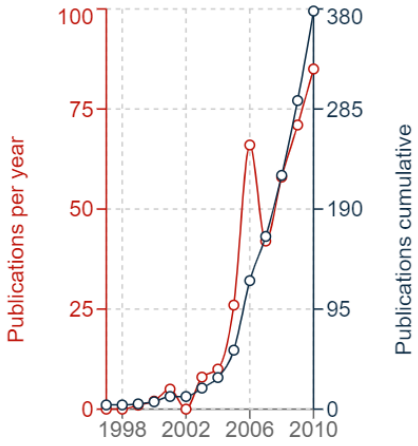


Figura 2

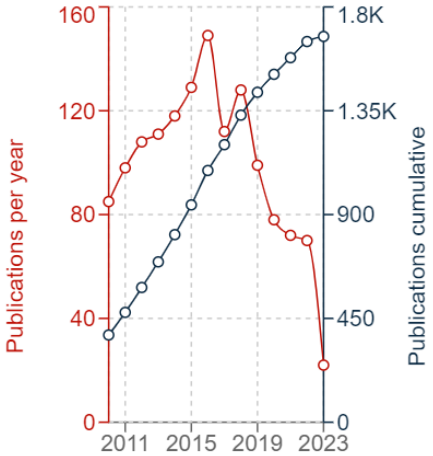


Figura 3

En analitzar els països que lideren el major nombre de publicacions i patents relacionades amb l'hidrogen durant els dos períodes considerats, es destaca la Xina amb un total de 605 publicacions i els Estats Units amb 433. Aquests dos països es situen clarament al capdavant en termes d'investigació en l'àmbit de l'hidrogen. En canvi, Espanya ha tingut una participació limitada, amb tan sols 14 publicacions en total, una xifra significativament inferior en comparació amb els països líders de la llista.

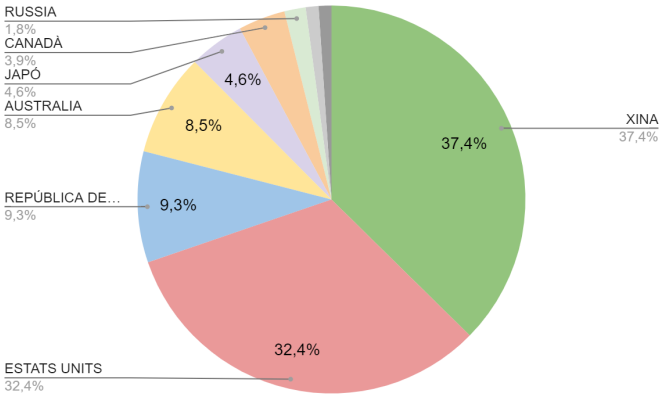


Figura 4: Percentatge de publicacions d'hidrogen per país. Creació pròpia a partir de les dades d'Espacenet

Així doncs, es pot observar que l'interès i l'activitat de la investigació en l'àmbit de l'hidrogen han experimentat fluctuacions al llarg dels anys, amb alts i baixos influïts per factors econòmics, sanitaris i geopolítics. Malgrat les adversitats, és important destacar la importància d'iniciatives com el projecte de sostenibilitat de l'aeroport de Lleida - Alguaire en la promoció i impulsió de l'ús de l'hidrogen com a recurs energètic sostenible. Aquestes iniciatives locals són essencials per contribuir al desenvolupament i avanç de la tecnologia de l'hidrogen, tot i que la seva repercussió a nivell global pot veure's afectada per les circumstàncies externes mencionades anteriorment.

2.3 Tecnologies de producció d'hidrogen: avenços i perspectives futures

En l'actualitat, s'han dut a terme nombroses proves i projectes pilot de vehicles d'hidrogen a tot el món, així com també el desenvolupament de tecnologies de producció, emmagatzematge i distribució d'hidrogen per possibilitar el seu ús a gran escala en el transport.

- En el sector aeri, destaca l'Aeroport de Frankfurt a Alemanya, que ha implementat una flota de vehicles elèctrics de servei a terra que utilitzen hidrogen com a combustible. Segons informes, aquesta iniciativa ha aconseguit reduir les emissions de CO2 en un 75% en comparació amb els vehicles de servei convencionals que funcionen amb gasolina i dièsel.

  Un altre exemple notable és l'Aeroport de Los Angeles als Estats Units, on s'ha implementat una flota d'autobusos de transport de passatgers impulsats per hidrogen. Es calcula que aquests autobusos han aconseguit una reducció d'aproximadament el 30% en les emissions de gasos d'efecte hivernacle en comparació amb els autobusos dièsel convencionals.

- En el sector ferroviari, l'empresa energètica Iberdrola i el grup CAF (Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles) han establert una aliança per impulsar l'ús de l'hidrogen verd i oferir solucions de mobilitat sostenibles. Aquesta col·laboració abasta des del subministrament del material rodant i la infraestructura de proveïment fins a les plantes de producció d'hidrogen verd i les infraestructures d'energia renovable necessàries per al seu funcionament.

- Pel que fa al transport de carretera, a finals de l'any 2021 es va construir la primera hidrogenera de caràcter públic i comercial a Espanya, operada per Iberdrola. Aquesta instal·lació subministra hidrogen renovable a la flota d'autobusos urbans de TMB (Transports Metropolitans de Barcelona). S'han incorporat sis autobusos de pila d'hidrogen, que emeten únicament vapor d'aigua i són molt més silenciosos que els autobusos dièsel. Aquests primers autobusos representen una inversió de 6,5 milions d'euros, cofinançada per la Unió Europea, i s'estima que fins al 2025 o 2026 s'incorporaran un total de 60 autobusos més. A més, la hidrogenera s'expandirà per abastir altres flotes de vehicles logístics, empresarials i industrials.

Aquests exemples posen de manifest els avenços i l'interès creixent en l'ús de l'hidrogen com a combustible en diferents sectors del transport.

L'aeroport de Lleida-Alguaire és de petites dimensions i té una infraestructura limitada en termes de vehicles de handling. Actualment, aquests vehicles funcionen principalment amb combustibles convencionals com la gasolina o el dièsel. Entre els vehicles de handling disponibles a l'aeroport, es troben camions de càrrega i descàrrega, tractores d'empenyiment per moure els avions a la plataforma, vehicles de remolc per tractar els remolcs d'equipatge i altres vehicles utilitaris per a tasques logístiques.

No obstant això, és important destacar que en un futur, l'aeroport de Lleida-Alguaire podria considerar la possibilitat de transicionar cap a l'ús de vehicles de handling que funcionin amb hidrogen com a font d'energia. Aquesta transició cap a vehicles de handling alimentats per hidrogen contribuiria a reduir l'impacte ambiental i fomentaria l'ús de fonts d'energia més netes i sostenibles a l'aeroport de Lleida-Alguaire.

3. LA BIOMASSA

Segons la Directiva 2009/28/CE del Parlament Europeu i del Consell de 23 d'abril de 2009 relativa al foment de l'ús d'energia procedent de fonts renovables, es defineix la biomassa com:

La fracció biodegradable dels productes, material de rebuig i residus d'origen biològic procedents d'activitats agràries -incloses les substàncies d'origen vegetal i d'origen animal-, de la silvicultura i de les indústries connexes -incloses la pesca i l'aqüicultura-, així com la fracció biodegradable dels residus industrials i municipals.

És a dir, la biomassa comprèn el conjunt de material biològic viu o mort de manera recent. Tenint en compte el al seu origen, podem classificar-la en: residus agrícoles, residus forestals, cultius energètics i residus urbans. Aquest concepte no inclou els combustibles fòssils perquè, malgrat el seu origen gairebé exclusivament biològic, han estat llarg temps fora del cicle del carboni.

Entre les possibles fonts de generació de l'hidrogen, la producció amb biomassa s'alça com una solució a la transició energètica en ser un recurs renovable i que proporciona alhora certa independència energètica en reduir la necessitat d'importacions d'altres països i les fluctuacions de preus com en el cas del petroli. Així mateix, es tracta d'un recurs que no contribueix a incrementar l'efecte hivernacle, pel fet que el balanç d'emissions de CO_2 és pràcticament neutre.

A la biomassa encara no se l'ha assignat un color dins de la classificació existent - exposada anteriorment - però donades les característiques que té, podria comparar-se amb la de l'hidrogen verd. Quan parlem d'hidrogen verd, ens referim a un hidrogen que s'ha obtingut sense generar emissions contaminants, un hidrogen sostenible.

Figura 5: Aeroport Lleida Alguaire

La superfície de l'aeroport de Lleida-Alguaire es caracteritza per ser majoritàriament plana i estar vinculada a activitats agrícoles. Aquesta àrea, situada en un entorn on predominen els conreus de regadiu, destaca pel seu alt valor ecològic.

3.1 Mètodes d'aprofitament de biomassa

La biomassa pot ser transformada mitjançant mètodes termoquímics, que utilitzen el calor per convertir-la en gas, líquids o sòlids, i mètodes bioquímics o biològics, que involucren la descomposició de la biomassa per microorganismes per obtenir biogàs o biocombustibles líquids. Aquests mètodes ofereixen diverses opcions per a l'aprofitament de la biomassa com a font d'energia renovable.

3.1.1 Mètodes termoquímics

Els mètodes termoquímics són una forma de transformar la biomassa utilitzant calor com a font principal. Aquests mètodes són especialment adequats per a la biomassa seca i es diferencien en funció de la quantitat d'oxigen present durant el procés de transformació. En distingim tres tipus:

	Temperatura	Eficacia elèctrica	Eficacia tèrmica	Rendiment
Combustió	600 - 1300ºC	20 - 40%	60 - 90%	80 - 85%
Gasificació	700 - 1500ºC	25 - 45%	60 - 80%	70 - 75%
Piròlisi	400 - 600ºC	20 - 30%	50 - 70%	50 - 80%

Taula 1: Característiques del diferents mètodes termoquímics

- **Combustió:** És un procés en què la biomassa se sotmet a temperatures entre 600 i 1.300ºC, utilitzant una gran quantitat d'oxigen. Durant aquest procés, la biomassa s'oxida completament mitjançant una reacció química amb l'oxigen, produint gasos calents que es poden aprofitar per generar energia. Aquesta energia resultant de la combustió pot ser destinada a diversos usos com ara l'ús domèstic, industrial o la producció d'electricitat.

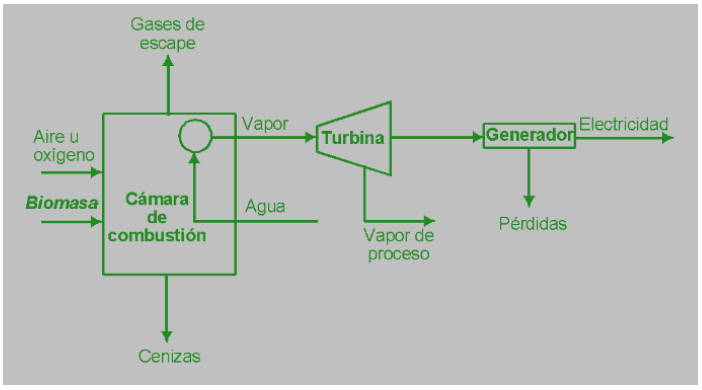


Figura 6: Procés de combustió

La combustió presenta una eficàcia tèrmica elevada. Quan s'utilitza biomassa seca amb una humitat inferior al 20%, el rendiment de la combustió oscil·la entre el 80% i el 84%. En el cas més comú d'utilitzar biomassa humida amb una humitat superior al 50%, el rendiment es troba entre el 65% i el 70%. No obstant això, cal tenir en compte que l'eficàcia global del procés, considerant els productes finals com ara l'electricitat i el vapor de baixa pressió, es situa al voltant del 30%. Aquest valor és comparable als processos d'obtenció d'energia a partir de combustibles fòssils.

Malgrat que la combustió té un rendiment tèrmic eficient, cal tenir en compte altres factors com ara l'impacte ambiental. Les emissions de diòxid de carboni (CO2) generades durant la combustió de biomassa contribueixen al canvi climàtic. No obstant això, en comparació amb els combustibles fòssils, l'ús de biomassa en la combustió redueix l'impacte negatiu en les emissions de CO2, ja que el diòxid de carboni alliberat durant la combustió és reabsorbit per les plantes en el seu cicle de creixement.

- **Gasificació:** És un procés en què la temperatura té un paper fonamental. Per obtenir un rendiment òptim de la barreja gasosa resultant, que conté alts continguts d'hidrogen i monòxid de carboni, és necessari mantenir una temperatura entre 700 i 1.500ºC i controlar la quantitat d'oxigen present. Depenent de si s'utilitza aire o oxigen pur, s'obtenen dos productes diferents.

  En el primer cas, es genera un gas pobre que pot ser utilitzat per a la producció d'electricitat i vapor, però no es recomana el seu emmagatzematge ni transport a causa de la seva baixa densitat energètica.

  En el segon cas, s'opera amb un gasificador que utilitza oxigen i vapor d'aigua, i com a resultat s'obté gas de síntesi[1]. Malgrat que el seu valor calorífic no és excessivament alt en comparació amb altres combustibles gasosos convencionals com el gas natural, el propà o el butà, aquest gas presenta un avantatge interessant: la possibilitat de ser convertit en combustibles líquids com el metanol i les gasolines. La demanda actual d'aquests combustibles líquids és molt superior a la dels combustibles gasosos.

[1] El gas de síntesi és una mescla de gasos, com el monòxid de carboni, el diòxid de carboni, l'hidrogen i altres components, que es produeix mitjançant la gasificació de materials orgànics en un entorn de baix o nul d'aire. Es pot utilitzar com a combustible o matèria prima en processos industrials.

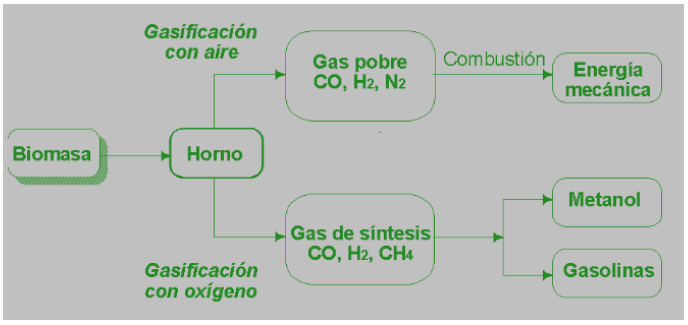


Figura 7: Procés de gasificació

Un dels principals desafiaments de la gasificació de biomassa com a tecnologia per a la generació d'electricitat és la neteja del gas resultant del procés, a causa de les impureses que l'acompanyen.

D'altra banda, la gasificació de biomassa presenta diversos avantatges:

- La proporció d'hidrogen que pot obtenir-se a partir del gas de síntesi és d'aproximadament el 40%, en un procés que emet menys carboni en comparació amb la producció d'hidrogen a partir de gas natural en els mètodes grisos o blaus.

- Aquest procés resulta més econòmic en comparació amb l'electròlisi utilitzada per a la producció d'hidrogen verd, i alhora permet abordar dos problemes ambientals importants: l'acumulació de residus (com ara abocadors) i el procés de producció d'hidrogen amb un alt contingut de carboni esmentat anteriorment.

- La gasificació de biomassa destaca per la seva versatilitat, atès a que pot ser utilitzada per a fins similars als del gas natural. Això significa que pot generar energia elèctrica i tèrmica, adaptant-se a les diferents necessitats energètiques.

- **Piròlisi:** És un procés que implica la descomposició de la matèria orgànica en una temperatura que oscil·la entre els 400 i 600ºC, en absència d'oxigen.

La naturalesa i la composició dels productes finals obtinguts mitjançant la piròlisi depenen de divers factors, com les propietats de la biomassa tractada, la temperatura i la pressió de funcionament, i els temps de retenció del material al reactor.

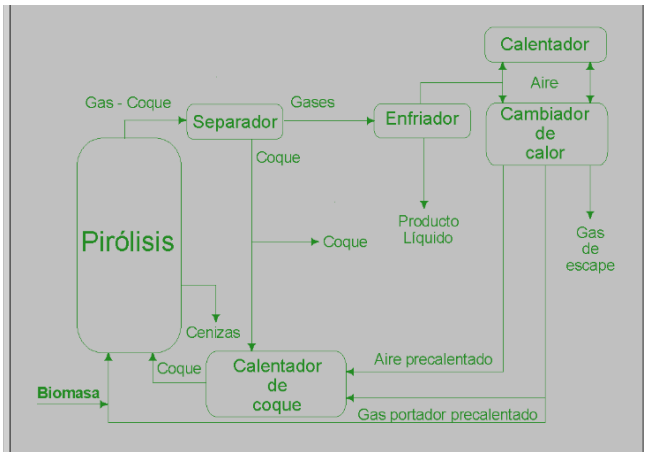


Figura 8: Procés de piròlisi

Mitjançant aquesta tècnica, s'obtenen tres fraccions: una part sòlida, una part líquida i una part gasosa. Això permet la producció de carbó vegetal, hidrocarburs i compostos alifàtics[2]. A mesura que la temperatura del procés s'eleva, es genera una major proporció de gasos i menys residus sòlids.

La part gasosa resultant de la piròlisi té un poder calòric baix, però pot ser utilitzada per a diverses aplicacions, com accionar motors dièsel, generar electricitat o propulsar vehicles.

3.1.2 Mètodes bioquímics

Els mètodes bioquímics representen una forma de transformar la biomassa mitjançant l'activitat de microorganismes, ja sigui a partir dels microorganismes presents en la biomassa original o afegint-los durant el procés. Aquests microorganismes actuen sobre la matèria orgànica de la biomassa, descomponent-la en components més simples que tenen un alt poder calorífic, els quals es poden aprofitar en aplicacions industrials.

[2] Els compostos alifàtics són una classe de compostos orgànics amb cadenes lineals o ramificades, que poden ser hidrocarburs o contenir grups funcionals, i tenen una àmplia gamma d'aplicacions en diferents indústries i en els sistemes biològics.

Aquest tipus de procediments es destinen principalment al tractament de biomassa natural o residual amb un contingut elevat d'humitat. Si aquesta biomassa fos sotmesa a mètodes termoquímics, els rendiments energètics serien especialment desfavorables a causa de l'alta quantitat d'energia requerida per vaporitzar l'aigua present. Per tant, els mètodes bioquímics ofereixen dues vies diferents per a abordar aquesta situació:

	Eficacia elèctrica	Eficacia tèrmica	Rendiment
Digestió anaeròbica	35 - 45%	50 - 70%	50 - 70%
Fermentació alchòlica	20 - 30%	30 - 40%	50 - 90%

Taula 2: Característiques dels diferents mètodes bioquímics

- **Fermentació:** Aquest mètode utilitza microorganismes com ara bacteris o llevats per descompondre la matèria orgànica de la biomassa en un medi humit i en absència d'oxigen. Durant aquest procés, els microorganismes converteixen els components de la biomassa en productes com ara biogàs[3], etanol o altres compostos orgànics. El biogàs, que és principalment metà, pot ser utilitzat per a la generació d'electricitat i calor.

- **Digestió anaeròbica:** La fermentació és un dels mecanismes de degradació de biomassa més comuns que es produeixen a la natura. En aquest procés, les molècules orgàniques complexes són descompostes per microorganismes.

  Quan la fermentació es duu a terme en condicions d'absència d'oxigen i s'allarga en el temps, es produeix una barreja de productes gasosos, principalment metà i diòxid de carboni, que es coneix com a biogàs. A més, es genera una suspensió aquosa de materials sòlids, anomenada fang, en la qual es troben components degradables amb dificultat, així com nitrogen, fòsfor i altres elements minerals presents inicialment a la biomassa. Aquest procés és el que actualment s'anomena digestió anaeròbia.

[3] El biogàs és un gas produït a través de la digestió anaeròbia de la matèria orgànica i és utilitzat com a font d'energia renovable per a la generació d'electricitat, calor o com a biometà. És una opció sostenible que ajuda a reduir les emissions i a donar un ús útil als residus orgànics.

Pràcticament qualsevol tipus de biomassa pot ser utilitzat com a matèria per a la digestió anaeròbia, especialment si té un alt contingut d'humitat. No obstant això, la viabilitat del tractament de cada tipus de matèria orgànica depèn de diversos factors relacionats amb la seva composició, principalment el contingut de sòlids volàtils de la biomassa, que són els components potencialment transformables en biogàs, així com el seu contingut en nutrients.

Fins ara, els resultats obtinguts amb residus agrícoles han indicat que la producció de metà és baixa si no es realitza un pretractament adequat. El procés de digestió anaeròbica es pot dividir en tres etapes, com s'il·lustra en el següent esquema:

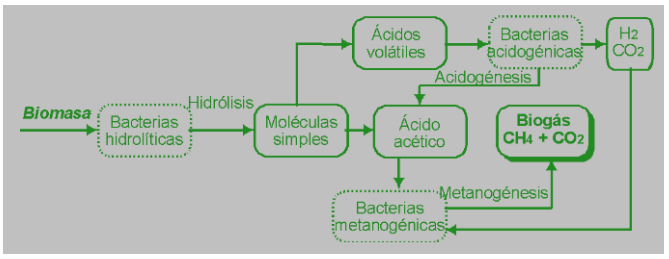


Figura 9: Etapes de la digestió anaeròbica

La primera etapa és la hidròlisi, en què la biomassa orgànica es degrada, donant lloc a molècules més simples. En la segona etapa, coneguda com a etapa acidogènica, els bacteris produeixen diversos compostos simples. Finalment, en la tercera etapa, coneguda com a etapa metanogènica, els àcids generats en les etapes anteriors són degradats per un grup de bacteris, produint metà i diòxid de carboni.

La digestió anaeròbica és un procés prometedor per a la producció de biogàs a partir de biomassa i residus orgànics. Amb el desenvolupament de mètodes de pretractament adequats i l'optimització de les condicions de fermentació, aquest procés pot ser una opció viable per a l'aprofitament sostenible d'una àmplia gamma de materials orgànics i la generació d'energia renovable.

3.2 Producció d'hidrogen i el desafiament de l'aigua en un context de sequera

L'aigua és un recurs essencial per a la vida i el desenvolupament de diverses activitats humanes. En el context actual, on l'escassetat d'aigua i la sequera són problemes creixents a Espanya, és crucial analitzar la relació entre els mètodes de producció d'hidrogen i aquest recurs tan valuós.

Espanya s'enfronta a desafiaments importants relacionats amb la sequera i la disponibilitat d'aigua. El 2022 es va tancar amb un dèficit hídric entorn del 40%. Una situació que afecta bàsicament al sector agrícola –molt preocupat pel que pot passar a la primavera-, reg de jardins i usos recreatius, entre altres.

Les precipitacions disminueixen progressivament, i els canvis en els patrons climàtics estan afectant la disponibilitat d'aigua, especialment en determinades regions del país. La situació de sequera és encara més preocupant si considerem que les demandes d'aigua continuen augmentant, tant per a usos domèstics com per a la indústria i l'agricultura.

Si Espanya vol convertir-se en proveïdor mundial d'hidrogen sostenible, ha de resoldre el problema de l'aigua, necessari per a la producció. La sequera i els canvis de la disponibilitat de l'aigua, així com la pèrdua de qualitat afecta també a la generació elèctrica.

Els mètodes de producció d'hidrogen utilitzen diferents processos, alguns dels quals requereixen grans quantitats d'aigua per obtenir hidrogen d'alta puresa. Un exemple d'això és l'electròlisi de l'aigua, que descompon l'aigua en hidrogen i oxigen mitjançant l'ús d'electricitat. Aquest procés requereix una gran quantitat d'aigua pura, cosa que pot ser un desafiament en situacions de manca d'aigua.

D'altra banda, hi ha mètodes de producció d'hidrogen que no necessiten una gran quantitat d'aigua com a matèria primera. La pròlisi, per exemple, utilitza calor per descompondre un material en hidrogen i carboni, i no requereix aigua per a la seva execució. Aquests mètodes poden ser més favorables en situacions de sequera, ja que minimitzen l'ús d'aigua.

En aquest apartat, es busca determinar quins dels mètodes sostenibles de generació d'hidrogen coneguts permeten la seva producció amb un mínim ús d'aigua possible:

- **Electròlisi de l'aigua**: El procés de producció d'hidrogen que requereix més aigua és l'electròlisi de l'aigua, que s'utilitza per a la producció d'hidrogen verd. Es necessiten dues molècules d'aigua per a produir una molècula d'oxigen i dues molècules d'hidrogen. Per fer-ho més clar, per a la producció d'un quilogram d'hidrogen, es necessiten 9 litres d'aigua.

  A més, per a produir hidrogen mitjançant l'electròlisi de l'aigua, és necessària aigua pura, ja que qualsevol impuresa en l'aigua pot afectar l'eficiència del procés. Això implica que és necessari un procés de purificació de l'aigua, el qual augmenta la quantitat d'aigua necessària per a produir hidrogen. Els sistemes de tractament de l'aigua solen requerir aproximadament dues tones d'aigua impura per a produir una tona d'aigua purificada. Per tant, una tona d'hidrogen requereix en realitat 18 tones d'aigua en comptes de 9.

- **Pirròlisi:** Aquest procés no fa ús d'aigua com a matèria primera per produir hidrogen. Utilitza calor per descompondre un material, com el metà o el propà, en hidrogen i carboni. En aquest procés, la quantitat d'aigua necessària per produir hidrogen mitjançant descomposició tèrmica és zero.

- **Hidròlisi de metalls:** La hidròlisi de metalls és un mètode per a la producció d'hidrogen que fa servir la reacció química entre els metalls i l'aigua per alliberar hidrogen gasós. La hidròlisi de metalls es basa en la reactivitat de certs metalls, com ara l'alumini o el magnesi, amb l'aigua per alliberar hidrogen gasós. Requereix una petita quantitat d'aigua, ja que el metall reacciona amb l'aigua per produir hidrogen.

- **Fotòlisi de l'aigua:** Aquest procés utilitza la llum solar per descompondre l'aigua en hidrogen i oxigen. La llum solar és absorbida per un material fotocatalític[4], que després descompon l'aigua en hidrogen i oxigen. La quantitat d'aigua necessària a la fotòlisi de l'aigua depèn de la quantitat d'hidrogen que es vol produir.

[4] El material fotocatalític és un tipus de material que té la capacitat de realitzar reaccions químiques utilitzant llum com a font d'energia. Aquesta propietat es basa en la seva capacitat per absorbir fotons de llum i utilitzar aquesta energia per a accelerar o catalitzar reaccions químiques.

Tot i que la fotòlisi de l'aigua té el potencial de produir hidrogen de manera sostenible i renovable utilitzant energia solar, encara hi ha molts desafiaments tècnics i econòmics que cal superar perquè aquest procés es converteixi en una opció viable per a la producció d'hidrogen a gran escala.

- **Fermentació de la biomassa:** És un procés que utilitza molt poca aigua. La fermentació de biomassa és un procés anaeròbic en què microorganismes descomponen la matèria orgànica de la biomassa i produeixen gasos, incloent-hi l'hidrogen, metà i diòxid de carboni. Aquest procés no requereix grans quantitats d'aigua per produir hidrogen i és una opció prometedora per a la producció sostenible d'hidrogen a partir de biomassa.

- **Gasificació de la biomassa:** En aquest procés, la biomassa es descompon, en presència de vapor d'aigua i oxigen. La quantitat d'aigua necessària per a aquest procés és relativament baixa en comparació amb altres processos que utilitzen vapor d'aigua.

	Electròlisi de l'aigua	Piròlisi	Hidròlisi de metalls	Fototòlisi de l'aigua	Fermentació biomasa	Gasificació biomassa
% d'aigua utilitzat	35 - 45%	0%	10%	-	10 - 15%	10 - 30%

Taula 3: Comparació del percentatge d'aigua utilitzat per a cada procés de transformació en hidrogen

La reutilització de l'aigua residual de la ciutat d'Alguaire, una vegada sotmesa a un tractament i condicionament adequats, emergeix com una solució prometedora en l'abordatge del consum d'aigua i la gestió sostenible dels recursos hídrics. Aquesta estratègia s'alinea amb els principis de l'economia circular, que busca minimitzar els residus i optimitzar l'ús dels recursos disponibles.

Mitjançant la reutilització de l'aigua residual, es pot aprofitar un recurs que, en la majoria dels casos, s'ha considerat com a residu sense valor. Aquesta pràctica permet reduir la dependència dels recursos hídrics frescos i disminuir la pressió sobre els sistemes naturals d'aigua. A més, contribueix a mitigar els efectes del canvi climàtic, ja que la disponibilitat d'aigua pot arribar a ser limitada en àmbits geogràfics determinats.

La implementació d'aquesta solució pot ser considerada com una mesura prioritària en el territori lleidatà, ja que permetrà abordar els reptes associats a la gestió de l'aigua de manera efectiva i sostenible. Especialment en situacions temporals o de crisi, la reutilització de l'aigua residual ofereix una resposta ràpida i eficient per cobrir les demandes hídriques, evitant així un possible risc d'escassetat.

Cal remarcar que, per garantir la viabilitat i seguretat d'aquesta estratègia, és essencial realitzar un tractament adequat de l'aigua residual. A través de processos avançats de depuració i desinfecció, s'ha de garantir que l'aigua reutilitzada compleixi amb els estàndards de qualitat requerits per al procés de conversió de la biomassa en electricitat.

3.3 Central de biomassa

La central de biomassa és una instal·lació industrial dissenyada per a generar energia elèctrica a partir de recursos biològics. Aquesta tecnologia utilitza fonts renovables, com la llenya, els rebuigs orgànics, els excrements d'animals, la cel·lulosa i altres materials orgànics, per a la producció d'energia elèctrica i calor. Tot i que la seva funció principal és la generació d'electricitat i calor, és important destacar que la central de biomassa té el potencial de produir hidrogen com a subproducte d'aquest procés.

La producció d'hidrogen a partir de la biomassa es pot realitzar mitjançant processos de gasificació o de fermentació. Tenint en compte les dimensions de l'aeroport de Lleida i la disponibilitat de biomassa local, la gasificació de biomassa podria ser una opció més eficient i viable per a la producció d'hidrogen. A més, el gas de síntesi obtingut de la gasificació de biomassa pot ser utilitzat per altres aplicacions energètiques o industrials a més de la producció d'hidrogen, aportant una major flexibilitat en l'ús de la biomassa com a recurs energètic.

No obstant això, cal assenyalar que la producció d'hidrogen a partir de la biomassa és menys comuna i està menys desenvolupada que la generació d'electricitat i calor. Tradicionalment, la biomassa s'ha utilitzat principalment com a font d'energia per a la producció d'electricitat i calor mitjançant processos de combustió, en què la biomassa es crema per produir vapor, que a la seva vegada impulsa turbines per a la generació d'electricitat.

En època de sequera, quan l'aigua és un recurs limitat, la central de biomassa pot oferir una alternativa rellevant per a la producció d'hidrogen. Utilitzant recursos biològics com a matèria primera, aquesta tecnologia pot generar hidrogen de manera sostenible i reduir la dependència d'altres mètodes que requereixen grans quantitats d'aigua.

3.3.1 Funcionament d'una central de biomassa

Una central de biomassa és una instal·lació encarregada d'obtenir energia elèctrica mitjançant els diversos processos de transformació de la matèria orgànica. El funcionament d'aquesta central segueix una sèrie de passos que es descriuen a continuació.

En primer lloc, el combustible principal de la instal·lació, així com els residus forestals, s'emmagatzemen a la central. Aquesta matèria orgànica pot incloure llenya, rebuig orgànic i altres materials biodegradables. Una vegada emmagatzemada, aquesta matèria orgànica és sotmesa a un tractament inicial, com ara trituració o retallat, per a reduir-ne la mida si és necessari.

Després d'aquest tractament, el combustible preparat és transportat a l'edifici de preparació del combustible. En aquest edifici, es classifica la matèria orgànica segons la seva grandària i es dirigeix als magatzems corresponents. Aquesta classificació és important per a garantir un flux adequat de combustible durant el procés de generació d'energia.

Un cop el combustible és preparat i emmagatzemat, es condueix cap a la caldera de la central. En la caldera, el combustible és cremat per a generar calor. Aquest procés fa que l'aigua de les canonades de la caldera es converteixi en vapor, atès a que és exposada a l'alta temperatura dels gasos de combustió.

L'aigua utilitzada en aquest procés prové del tanc d'alimentació, on s'escalfa prèviament mitjançant l'intercanvi de calor amb els gasos de combustió que surten de la mateixa caldera. Així, s'aprofita la calor residual per a preescalfar l'aigua i millorar l'eficiència energètica del sistema.

El vapor d'aigua generat a la caldera és dirigit cap a una turbina de vapor. En aquesta turbina, la força del vapor fa girar les seves paletes, produint així un moviment rotatori.

Aquest moviment és utilitzat per a accionar un generador elèctric, que converteix l'energia mecànica en energia elèctrica.

Després de passar per la turbina, el vapor d'aigua és refredat al condensador, on es converteix en líquid. Aquest líquid és recollit i retornat al tanc d'alimentació, completant així el circuit principal aigua-vapor de la central.

L'energia elèctrica generada en el generador és transportada a través de les línies elèctriques fins als punts de consum, proporcionant electricitat per a ús domèstic, industrial i altres necessitats.

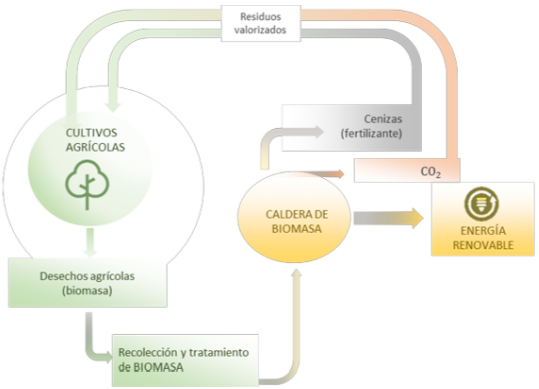


Figura 10: Procés de transformació de la biomassa

Aprofitant aquestes restes agroforestals, les plantes de biomassa representen una solució integral per a la generació d'energia que aporta diversos beneficis ambientals i socials.

Aquestes plantes permeten produir energia de manera totalment gestionable, sense dependre de factors atmosfèrics com el sol o el vent. Això implica una major estabilitat en la producció energètica i una millor adaptabilitat a les demandes del mercat.

Un dels avantatges més significatius és la seva capacitat per solucionar el problema de la gestió de residus al camp. En valoritzar les restes agroforestals, com ara podes o biomassa procedent de tasques de neteja de muntanyes i prevenció d'incendis, aquestes plantes contribueixen a reduir l'impacte ambiental i el risc d'incendi associat amb aquests residus.

Aquest enfocament integrat en la gestió de residus agroforestals té un impacte positiu en diverses àrees. D'una banda, ajuda a preservar els recursos naturals i la biodiversitat, ja que s'evita la degradació dels sòls i la contaminació de les aigües per l'acumulació de residus.

D'altra banda, promou la prevenció d'incendis forestals, atès a que la recollida i valorització d'aquests residus redueix la quantitat de matèria orgànica susceptible de cremar en situacions de risc.

3.3.2 Components d'una planta de biomassa

El parc de combustibles és una part essencial de la planta de biomassa, ja que és l'espai on s'emmagatzemen els combustibles necessaris per al seu funcionament. Aquesta àrea sol ser la part més extensa de la planta, i la seva capacitat d'emmagatzematge és crucial per a garantir un subministrament continu i suficient de biomassa.

Per donar-nos una idea aproximada, per a una planta de 20 megawatts es requereixen al voltant de 140.000 tones de biomassa a l'any. Aquesta quantitat de combustible permet la generació d'una quantitat significativa d'energia elèctrica, possibilitant diverses aplicacions a gran escala. Per exemple, podria ser suficient per alimentar una planta industrial de mida mitjana, impulsant màquines, sistemes de producció i equips auxiliars.

Es recomana que l'espai del parc de combustibles tingui una capacitat d'emmagatzematge que pugui abastar entre 1 i 3 mesos de càrrega. Per a una emmagatzematge de 3 mesos, això implicaria unes 35.000 tones de biomassa. És important tenir en compte que per moure aquesta quantitat de biomassa es requereix maquinària pesada, la qual es guarda en un magatzem a prop del parc de combustibles.

- Caldera: La caldera és un dels components clau d'una planta de biomassa. A diferència d'una caldera domèstica, la caldera de biomassa industrial és una estructura imponent semblant a una torre. A l'interior de la caldera es troba el forn, on la biomassa serà cremada per a generar calor.

- Unitat de recuperació: Té com a finalitat extreure el màxim rendiment de la calor residual dels fums generats durant la combustió de la biomassa. Aquesta calor és aprofitada mitjançant l'intercanvi de calor amb l'aigua, que es preescalfa fins a prop de la temperatura d'ebullició, o amb l'aire, que s'escalfa per a altres usos.

- Neteja dels fums: En aquesta zona, s'efectua el tractament dels fums abans que siguin emesos per la xemeneia. Aquest procés té com a objectiu assegurar que els fums tinguin una opacitat determinada i que no emetin partícules contaminants. Mitjançant sistemes de filtració i altres tecnologies, es busca reduir l'impacte ambiental de les emissions generades durant el procés de combustió.

- Sistema de refrigeració: El vapor que ja no té energia es passa per torres de refrigeració o aerocondensadors, cosa que fa que es converteixi en aigua i torna a entrar al sistema. Algunes plantes utilitzen torres de refrigeració i altres fan servir aerocondensadors.

Altres components de les centrals de biomassa són els ventiladors per refrigerar equips. Aquests equips són les bombes, compressors, etc. També hi ha sistemes de refrigeració principal, de lluita contra incendis i de subministrament d'aigua bruta i d'aire comprimit per a instrumentació.

3.3.3 Fixació de preus de biomassa: Factors i acords en una central de biomassa

Establir un preu fix per a la biomassa és una tasca complexa, ja que aquest pot variar a causa de diverses contingències. Factors com els resultats de la recol·lecció dels cultius, la qualitat de la temporada agrícola, o les condicions meteorològiques, com gelades o escassetat de pluges, poden influir en el subministrament i, per tant, en el preu de la biomassa.

A més, en un sistema d'economia de mercat lliure, les empreses encarregades de la recollida i logística de la biomassa poden desviar les vendes cap a altres països amb mercats més atractius, provocant canvis en l'oferta i la demanda, i afectant el preu.

En aquest sentit, és recomanable establir un document de condicions vinculants entre els agricultors i la central elèctrica. Aquest document hauria de fixar les condicions i les clàusules per a la retribució directa als agricultors en cas que volguessin vendre els residus de biomassa directament, sense la intervenció d'empreses de logística. Aquest acord podria proporcionar estabilitat i transparència en el preu de la biomassa, afavorint una relació més directa entre els proveïdors i la planta de biomassa.

A continuació, es mostra una imatge que il·lustra el consum de biomassa de diverses plantes en funcionament al país. Aquesta imatge proporciona una visió general de l'ús de biomassa:

Consumo de biomasa (miles t)			
Plantas	2020	2021	2022
Navia	384,7	359,7	364,2
Pontevedra	256,1	279,1	179,5
Huelva	773,4	694,1	885,0
Mérida	190,8	203,3	186,1
Enemansa	78,3	102,6	71,4
La Loma	90,1	91,4	83,5
Lucena	106,2	117,6	123,2
Biollano	206,7	283,8	284,8
Total	2.086,3	2.131,6	2.177,6

[5]

Figura 11 Consum de biomassa de diverses plantes en funcionament

De mitjana, s'estima que una central de biomassa pot tenir una potència instal·lada d'aproximadament 1 megawatt (MW) per cada 1 hectàrea (10.000 metres quadrats) de terreny ocupat per la planta.

En l'Annex 1 de la tesi, s'ha calculat l'àrea d'instal·lació estimada per a la central de biomassa en qüestió, la qual suma un total de 148.794 metres quadrats. A partir d'aquesta informació, podríem fer una estimació aproximada de la potència instal·lada, que seria al voltant de 14,8 MW. No obstant això, cal destacar que aquesta és només una estimació aproximada i que les dades reals poden variar en funció de diversos factors.

De les plantes llistades (Figura XI) es pren de referència el consum de biomassa de la planta de la Loma, que consta d'una potència instal·lada de 16 MW - altres plantes com la de Mèrida o Huelva tenen potències de 20 i 50 MW respectivament.

[5] Les dades corresponents a la central de Pontevedra per a l'exercici de 2022 es van veure afectades pels quatre mesos d'inactivitat de la planta provocats per la sequera patida a la regió i la indisponibilitat d'aigua conseqüent per al procés.

Aquestes dades ens proporcionen una perspectiva sobre el consum de biomassa en aquestes plantes, que serveix com a marc comparatiu per al projecte de la central de biomassa a l'aeroport de Lleida.

3.3.4 Avaluació dels costos de construcció i paràmetres retributius en centrals de biomassa

Pel que fa als costos de construcció d'una planta de biomassa, aquests poden variar considerablement en funció de la tecnologia utilitzada i la capacitat de generació de la planta. Com a estimació aproximada, es pot considerar que una central de biomassa que produeix electricitat i/o vapor té un cost d'aproximadament 2.500.000 € per megavolt-ampère (MW) de potència bruta instal·lada, tenint en compte que la planta es troba a Europa.

Així, per exemple, una planta de biomassa amb una capacitat de 14,8 MW podria tenir un cost d'aproximadament 37.000.000 €, tenint en compte tots els costos inclosos, com l'enginyeria del projecte, els permisos i llicències de construcció, el subministrament de tots els equips, així com el muntatge i posada en marxa de la planta.

COSTOS MÉS RELLEVANTS

- Biomassa
- Logística
- Equipament
- Infraestructura
- Manteniment
- Gestió de residus

Cal tenir present que aquests costos no inclouen altres aspectes com el cost de la línia elèctrica que connecta la planta amb la subestació d'interconnexió amb la xarxa elèctrica, els costos relacionats amb la presa d'aigua per a refrigeració i altres serveis, els costos del terreny on s'assenta la central, ni altres costos o obres no especificats anteriorment.

4. INFRAESTRUCTURES ALTERNATIVES PER PRODUIR HIDROGEN

4.1 Hidrogenera

El procés d'abastament de combustible en una hidrogenera presenta similituds amb el d'una benzinera convencional. L'hidrogen es subministra a alta pressió i, com que es tracta d'un gas, és crucial que l'acoblament entre el punt de connexió del vehicle i el sortidor estigui ben segellat per evitar fugues. Un cop el vehicle s'abasteix, l'únic producte residual que es produeix és el vapor d'aigua, que s'expulsa pel tub d'escapament.

Mentre que les plantes de biomassa utilitzen matèria orgànica, com ara residus agrícoles o forestals, per generar energia en forma de calor, electricitat o biogàs, les hidrogeneres fan ús de l'electricitat per produir hidrogen a partir de l'aigua mitjançant un procés d'electròlisi.

Tant les hidrogeneres com les plantes de biomassa ofereixen la possibilitat d'emmagatzemar energia. Aquest aspecte resulta crucial en l'àmbit de les energies renovables, atès que la generació intermitent i no controlable de fonts com l'energia eòlica i solar planteja reptes en termes de subministrament constant. En el cas de les hidrogeneres, l'hidrogen produït pot emmagatzemar-se i utilitzar-se posteriorment en cel·les de combustible per generar electricitat quan sigui necessari. D'altra banda, les plantes de biomassa permeten emmagatzemar la calor generada o convertir-la en biogàs, el que possibilita el seu ús en moments d'alta demanda o quan altres fonts d'energia renovable no estan disponibles.

Ambdues tecnologies ofereixen una alternativa més sostenible aprofitant fonts d'energia neta i renovable, la qual cosa es tradueix en una reducció significativa de les emissions de gasos d'efecte hivernacle.

5. SITUACIÓ ACTUAL DELS AEROPORTS A ESPANYA

Espanya actualment compta amb un total de 52 aeroports, dels quals 47 són operats per AENA (Aeroports Espanyols i Navegació Aèria) i 5 són gestionats per empreses privades o institucions públiques, que són els aeroports de Castelló, Ciudad Real, Lleida, Regions de Múrcia i Terol.

Les Administracions Públiques tenen la capacitat de construir o ampliar aeroports, però perquè aquests funcionin i compleixin amb el seu propòsit, és necessari un flux constant de trànsit aeri. I aquí rau el repte. Les principals àrees de negocis com Madrid i Barcelona, així com les destinacions turístiques consolidades com les Illes Balears, les Illes Canàries i la Costa del Sol, atrauen un gran volum de trànsit aeri a causa del seu atractiu com a destinacions de negocis i turisme. No obstant això, les regions de l'interior i la costa atlàntica del país compten amb aeroports amb un trànsit aeri relativament baix.

Aquests aeroports ubicats en regions de l'interior i la costa atlàntica solen experimentar una demanda més limitada de vols, ja que manquen del mateix atractiu turístic i comercial que tenen les principals àrees metropolitanes i destinacions turístiques consolidades. Això pot ser un repte per a les Administracions Públiques i les empreses gestores d'aeroports, atès que l'eficiència i la rendibilitat de les infraestructures aeroportuàries dependran en gran mesura del flux de trànsit aeri que puguin aconseguir.

En els últims anys, s'han realitzat també diverses inversions per millorar les infraestructures aeroportuàries a Espanya. Això inclou l'ampliació de terminals, la millora de les pistes d'aterratge i altres aspectes relacionats amb la seguretat i l'eficiència operativa. Tanmateix, en alguns casos, hi ha hagut debats i polèmiques entorn dels projectes d'ampliació o construcció de nous aeroports, especialment en aquells amb menor trànsit i dubtes sobre la seva viabilitat econòmica.

5.1 El potencial de l’hidrogen als aeroports de baixa demanda

Els aeroports de baixa demanda en diverses regions representen una oportunitat interessant per a l'adopció de l'hidrogen com a font d'energia alternativa. Aquests aeroports, caracteritzats per tenir un trànsit aeri relativament baix en comparació amb els principals hubs internacionals, presenten certes característiques que els converteixen en candidats propicis per a la implementació de solucions innovadores i sostenibles.

En primer lloc, els aeroports de baixa demanda solen tenir un consum energètic més reduït en comparació amb els aeroports de major trànsit. Això implica que l'adopció de tecnologies basades en l'hidrogen, encara en fase de desenvolupament, és més viable des d'un punt de vista tècnic i econòmic. A més, aquests aeroports solen estar ubicats en zones més rurals on l'accés a fonts d'energia renovable pot ser més abundant, facilitant la producció d'hidrogen renovable a nivell local.

Un altre aspecte rellevant és la infraestructura existent als aeroports de baixa demanda, la qual sol ser més flexible i adaptable. A diferència dels grans aeroports, on els processos estan estandarditzats i els sistemes estan interconnectats, als aeroports de baixa demanda és més factible introduir noves solucions tecnològiques sense grans interferències en les operacions actuals. Això permet una transició més àgil i eficient cap a l'ús de l'hidrogen com a font d'energia.

Cal destacar que els aeroports de baixa demanda també poden beneficiar-se del potencial de l'hidrogen per a l'emmagatzematge d'energia. L'energia renovable sovint presenta variacions en la seva disponibilitat, ja sigui a causa de factors meteorològics o temporals. En aquest sentit, l'hidrogen pot actuar com una solució per emmagatzemar energia a gran escala i de manera estacional, permetent als aeroports de baixa demanda tenir una font d'energia disponible en moments crítics o de baixa generació d'energia renovable.

5.1.1 Potències contractades, períodes tarifaris i demanda de potència a l'aeroport de Lleida-Alguaire

En l'any 2021, el subministrament d'energia elèctrica per a l'aeroport de Lleida-Alguaire va presentar les següents característiques:

- Períodes tarifaris: S'utilitzà la modalitat de 6 períodes per a la facturació del consum energètic. Aquesta subdivisió temporal permet establir tarifes diferents segons l'hora del dia o de la nit en què es realitza el consum.

- Potències contractades: Es van fixar diverses potències contractades per cobrir les necessitats del servei:
  P1: 325 kW.
  P2: 350 kW.
  P3: 350 kW.
  P4: 350 kW.
  P5: 350 kW.
  P6: 550 kW.

- Tensió de Subministrament: La tensió de subministrament requerida per al servei va ser igual o superior a 1 kV i inferior a 36 kV. Aquest rang de tensió és característic de subministraments a mitjana tensió.

Per a calcular el consum energètic d'aquest subministrament durant l'any 2021, es va prendre com a referència la informació corresponent a l'any 2020. A partir d'aquesta dada de base, es va preveure un increment estimat del consum d'un 25% en comparació amb l'any anterior. Així doncs, es va estimar que el consum anual seria d'aproximadament 2 MWh, reflectint una possible major demanda energètica durant el període en qüestió.

Mes	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Estimació consum
abr-21	0	0	0	0	47.411	47.901	95.313*
maig-21	0	0	0	0	43.203	55.303	98.505*
juny-21	17.015	15.213	9.629	16.085	0	55.721	113.663*
jul-21	39.436	35.005	0	0	0	65.528	139.969
ag-21	0	0	0	0	0	143.520	143.520
set-21	0	0	23.463	39.043	0	60.755	123.260
oct-21	0	0	0	0	63.730	72.436	136.166
nov-21	0	0	26.926	45.355	0	75.219	147.500
des-21	32.814	52.568	0	0	0	98.473	183.854
gen-22	33.909	55.409	0	0	0	95.094	184.411
febr-22	26.328	40.254	0	0	0	75.429	142.010
març-22	0	0	22.221	39.654	0	67.531	129.406
Total	**149.501**	**198.448**	**82.239**	**140.136**	**154.344**	**912.909**	**1.637.576**

Taula 4: Consum anual (MWh) de l'any 2021

La següent taula proporciona una visió general de com es distribueix la demanda de potència al llarg de l'any en relació amb les potències contractades.

Demanda màxima de potencia (kW)						
Mes	P1	P2	P3	P4	P5	P6
	325	350	350	350	350	550
abr-21	332	432	0	0	0	412
maig-21	368	296	0	0	0	352
juny-21	0	0	212	288	0	304
jul-21	0	0	0	0	224	236
ag-21	0	0	0	0	232	228
set-21	220	196	160	212	0	240
oct-21	224	240	0	0	0	240
nov-21	0	0	0	0	0	288
des-21	0	0	220	220	0	260
gen-22	0	0	0	0	300	308
febr-22	0	0	312	292	0	368
març-22	392	336	0	0	0	360

Taula 5: Demanda màxima de potència (KW) de l'any 2020

La demanda màxima de potència correspon a l'any 2020, i mostra períodes en què aquestes potències es superen, tenen valor per sota de la potència contractada o es manté inactiva.

Cada columna correspon a una potència contractada i cada fila representa cada mes de l'any. Es pot observar que només en els mesos d'abril, maig y març la demanda de potència supera les potències contractades, compreses entre els períodes 1 i 2.El període 5 de cada mes pràcticament no genera demanda, a excepció dels mesos de juliol, agost i gener.

5.2 Oportunitats i desafiaments a Lleida-Alguaire i Barcelona-El Prat

L'Aeroport de Lleida-Alguaire, situat a prop de Lleida, és un exemple de petit aeroport que podria beneficiar-se de l'adopció de l'hidrogen com a font d'energia. Amb una demanda relativament baixa i una infraestructura més flexible, aquest aeroport podria servir com a model per a la implementació d'innovacions tecnològiques relacionades amb l'hidrogen. L'ús de l'hidrogen a Lleida-Alguaire podria contribuir a la reducció d'emissions contaminants i a la millora de la sostenibilitat de les operacions aeroportuàries.

No obstant això, cal prendre en consideració que l'Aeroport de Barcelona-El Prat és una instal·lació de gran envergadura, amb una demanda molt més elevada i una infraestructura més complexa. L'extrapolació de l'ús de l'hidrogen a aquest aeroport planteja desafiaments addicionals, com ara l'escala requerida per abastir amb hidrogen una quantitat considerable d'aeronaus i vehicles aeroportuaris.

A més, la infraestructura actual de l'Aeroport de Barcelona-El Prat hauria de ser adaptada per permetre l'emmagatzematge, la distribució i l'ús eficient de l'hidrogen.

Així doncs, mentre que l'Aeroport de Lleida-Alguaire podria proporcionar un entorn propici per a la investigació i la prova de conceptes relacionades amb l'ús de l'hidrogen, l'extrapolació d'aquesta tecnologia a l'Aeroport de Barcelona-El Prat requeriria un enfocament més ambiciós i una planificació minuciosa. Seria necessari avaluar la viabilitat tècnica, econòmica i logística d'integrar l'hidrogen a gran escala en les operacions d'aquest aeroport.

5.3 L'aeroport de Lleida-Alguaire: Objectius, inauguració i rendibilitat

L'aeroport de Lleida-Alguaire, impulsat per la Generalitat de Catalunya, va ser construït amb diversos objectius. La seva creació es va justificar per tres motius principals: donar suport al reequilibri territorial a Catalunya, actuar com a motor econòmic per a la província de Lleida i establir-se com a eix de connexió amb els Pirineus.

La Generalitat va considerar aquests factors essencials per millorar la cohesió territorial, proporcionant infraestructures de transport per satisfer les necessitats de mobilitat de les àrees de demanda i impulsar el desenvolupament econòmic eficient de la regió en un context global. A més, l'aeroport de Lleida-Alguaire tenia com a objectiu dinamitzar el turisme i donar a conèixer la cultura, el patrimoni històric i la gastronomia de la comarca, amb l'esperança de fer-la més atractiva per als visitants.

El 17 de gener de 2010 es va inaugurar l'aeroport de Lleida-Alguaire, amb una projecció de trànsit anual de 395.000 passatgers en la propera dècada, segons les estimacions de la Generalitat de Catalunya. Pel que fa a l'ocupació, es preveia la creació de 60 llocs de treball directes i 900 indirectes. Malauradament, aquests objectius no s'han assolit mai. Durant els primers tres anys des de la seva inauguració, l'aeroport només va rebre 115.043 passatgers, una xifra que representa només una quarta part de l'estimació inicial.

Inicialment, el pressupost per al projecte de l'aeroport era de 42,5 milions d'euros. Les obres van començar a la primavera de 2007 i es van completar a finals de 2009. No obstant això, el cost final de l'edifici va ascendir a 90 milions d'euros, totalment sufragats per la Generalitat. L'aeroport de Lleida-Alguaire opera sota un model de gestió mixta, amb participació tant del sector públic com del privat.

Les estimacions inicials per avaluar la rendibilitat econòmica d'una instal·lació aeroportuària d'aquestes dimensions indicaven que caldria assolir un trànsit anual d'aproximadament mig milió de passatgers per aconseguir la sostenibilitat.

En conseqüència, l'aeroport ha de rebre subvencions de l'Administració Pública per mantenir el seu funcionament. Actualment, l'aeroport de Lleida-Alguaire genera pèrdues anuals d'entre 4 i 5,3 milions d'euros, segons les dades disponibles.

5.3.1 Canvis en la xarxa de rutes i estacionalitat dels destins

L'aeroport de Lleida-Alguaire ha experimentat canvis significatius en les seves operacions des del 2010 fins a l'actualitat. Al 2010, l'aeroport tenia un total de sis destinacions en funcionament. Aquestes rutes es centraven principalment en connexions nacionals, amb destins com Palma de Mallorca, Ibiza, Menorca entre d'altres. Durant aquest període, l'aeroport estava en les primeres fases de desenvolupament i s'esforçava per establir-se com una opció viable per als viatgers de la regió.

No obstant això, al llarg dels anys, l'aeroport ha experimentat canvis en la seva xarxa de rutes. Actualment, l'aeroport de Lleida opera amb tres destins, amb una certa estacionalitat. Aquesta reducció en el nombre de destinacions es pot atribuir a diversos factors, com ara canvis en la demanda de vols, la presència d'altres aeroports de la regió que ofereixen més connexions i les limitacions operatives i econòmiques que porten la seva capacitat per atreure aerolínies i mantenir rutes actives durant tot l'any.

A continuació, es mostren els destins actuals de l'aeroport de Lleida-Alguaire i les seves estacionalitats:

Dia	Calendari	Destí
Divendres	Tot l'any	Palma
	Del 19 de juliol a l'1 de setembre	Maó
	Del 19 de juliol a l'1 de setembre	Eivissa
Diumenge	Del 19 de juliol a l'1 de setembre	Maó
	Del 19 de juliol a l'1 de setembre	Eivissa
	Tot l'any	Palma

Les rutes cap a Maó i Eivissa són estacionals i estan disponibles principalment durant l'estiu, coincidint amb la temporada de vacances i amb una demanda turística més alta cap a les illes Balears.

Figura 12: Calendari de rutes de l'aeroport de Lleida-Alguaire

5.3.1.1 Model per determinar la quantitat de producció de combustible i la capacitat d'emmagatzematge

El model per a la determinació de la quantitat de producció de combustible i la capacitat d'emmagatzematge implica estimar la demanda d'un determinat tipus de combustible durant el període especificat, normalment un dia. Això requereix especificar el nombre diari de vols i la seva estructura en termes de durada (curt, mitjà i llarg), i quantitat i tipus de combustible necessari.

En conseqüència, la quantitat mitjana de combustible del tipus (j) per a un vol mitjà que surt de l'aeroport durant el dia de l'interval (m)-è (any) del període en qüestió es pot estimar de la manera següent:

FCm=j ¼ Xim 1 qijm F0ijpm=ijtm=ij[6]

i¼1

[6] on, qij és la taxa anual mitjana de millora de l'eficiència del combustible del tipus d'aeronau (i) propulsada pel tipus de combustible (j); F0ij és la taxa de consum del tipus de combustible (j) per tipus d'aeronau (i) durant un vol realitzat en l'interval d'inici (any) del període en qüestió (kg/h); pm/ij és la proporció d'aeronaus/vols del tipus (i) que utilitzen combustible del tipus (j) durant l'interval (m) del període en qüestió; tm/ij és la durada mitjana dels vols del tipus (i) amb combustible del tipus (j) durant l'interval (m) del període en qüestió; i Im és el nombre de diferents tipus d'aeronaus/vols que exigeixen el tipus de combustible (j) en un determinat aeroport en l'interval (m)-è del període observat.

Mes	Nombre de vols diaris	Mitjana de vols (hores)	Capacitat dels avions (litres)	Querosè (litres)
Gener	1	2	10.000	20.000
Febrer	1	1.5	8.000	12.000
Març	1	2.5	12.000	30.000
Abril	1	2	15.000	30.000
Maig	1	1.5	18.000	27.000
Juny	1	2	20.000	40.000
Juliol	3	2.5	25.000	225.000
Agost	3	2	30.000	180.000
Setembre	3	1.5	28.000	37.800
Octubre	1	2	22.000	44.000
Novembre	1	2.5	15.000	37.500
Decembre	1	1.5	12.000	18.000

Taula 6: Consum de querosè ne base a l'estacionalitat de l'aeroport

La central de biomassa de 14,8 MW produeix aproximadament 1000 kg d'hidrogen al dia. Aquesta xifra no representa necessàriament la producció real d'una central de biomassa d'aquesta capacitat.

En relació amb la taula anterior, on s'indicava el consum de querosè a l'aeroport de Lleida, suposem que l'aeroport té un consum diari de 2000 litres de querosè.

Amb aquestes dades, podem comparar les quantitats de combustible consumit i produït.

- Aeroport de Lleida (Querosè): 2000 litres de querosè diaris.
- Central de Biomassa (Hidrogen): 1000 kg d'hidrogen diaris.

El consum de querosè a l'aeroport de Lleida és considerablement més baix que la producció d'hidrogen de la central de biomassa de 14,8 MW.

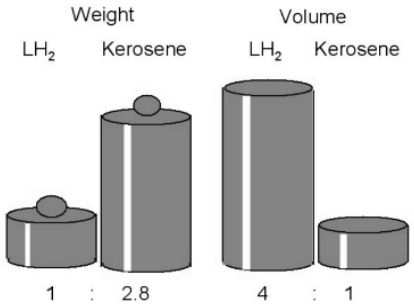


Figura 13: Pes i volum del querosè i l'hidrogen líquid amb la mateixa quantitat energètica

Fins ara, el principal obstacle per a l'ús de l'hidrogen com a combustible té a veure amb la densitat i la capacitat d'emmagatzemar-lo. Quan es compara amb altres combustibles en aspectes com la facilitat de maneig, la densitat energètica, la capacitat d'emmagatzematge i el cost, l'hidrogen no surt tan ben parat.

Depenent de l'autonomia que necessiti un vehicle o un equip, l'hidrogen es pot emmagatzemar a pressions de fins a 10.000 psi. Una altra manera d'emmagatzemar hidrogen en grans volums és fer-ho criogènicament a temperatures inferiors a 252 graus Celsius, on es converteix en un líquid dens. El problema és la quantitat d'energia necessària per mantenir-lo en estat líquid i el cost del tanc d'emmagatzematge.

5.3.2 Evolució del trànsit de passatgers

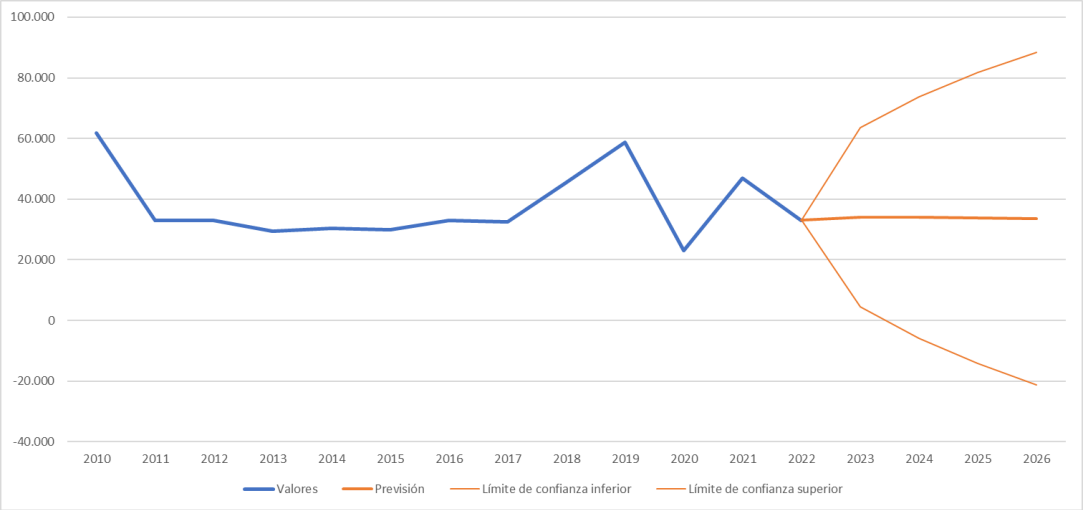


Figura 14: Gràfic històric de passatgers

Durant l'any 2018, l'aeroport de Lleida va registrar un increment substancial en el trànsit de passatgers. Es van gestionar un total de 45.500 passatgers, marcant un augment significatiu respecte a anys anteriors.

Aquesta tendència positiva es va mantenir durant el 2019, amb un nou rècord en el nombre de passatgers. Les dades mostren que es van gestionar un total de 58.614 passatgers durant aquest any, superant les xifres de l'any anterior.

Les dades actuals mostren que l'aeroport de Lleida-Alguaire ha experimentat una disminució en el nombre de passatgers en comparació amb els nivells rècord assolits durant el 2018 i el 2019. Aquesta disminució pot ser atribuïda principalment a l'impacte de la pandèmia de la COVID-19 en el sector de l'aviació.

A més, és important tenir en compte que l'aeroport de Lleida-Alguaire és de menor mida en comparació amb altres aeroports de la regió. Aquesta característica pot tenir un impacte en la seva influència i capacitat per atraure aerolínies i mantenir una xarxa de rutes àmplia i diversa.

5.4 Finançament i impacte econòmic

Pel que fa al finançament previst des de el govern per als anys 2023 i 2024, encara no es disposa de la informació concreta, però es preveu que la xifra sigui similar a la de l'any 2022, la qual s'ha establert en 150.000.000€. Aquesta assignació pressupostària té com a objectiu principal impulsar les iniciatives relacionades amb l'hidrogen verd i facilitar la seva integració en diferents sectors de l'economia, incloent-hi el sector de l'aviació.

No obstant això, cal fer esment que, en el cas concret de la construcció d'una central de biomassa per produir hidrogen a Lleida-Alguaire, s'ha atorgat una subvenció de 1.800.000€[7]. Una xifra relativament baixa, tenint en compte que el cost total del projecte ascendeix a 37.000.000€. És important tenir en compte que aquests detalls són preliminars i que caldrà esperar a rebre informació addicional per comprendre plenament quins costos assumeix aquesta subvenció i com es finançarà la resta del projecte.

[7] Cost estimat d'una central de biomassa de 14,8 MW de potència.

Ara bé, és destacable que el govern estigui donant suport a la construcció d'un centre aeri d'hidrogen a Lleida-Alguaire, ja que aquesta iniciativa té un gran potencial per contribuir a la transició cap a una economia més sostenible i respectuosa amb el medi ambient. Quan es disposin més detalls sobre el finançament i una planificació adequada, es podrà realitzar un anàlisi complet sobre els desafiaments econòmics i/o garantir l'èxit de la planta d'hidrogen com a una infraestructura clau per a la regió.

5.5 Transformant l'aeroport de Lleida: innovació i sostenibilitat

L'aeroport de Lleida s'ha posicionat com un referent en l'adopció de projectes tecnològics i d'innovació en les seves infraestructures. Amb un fort compromís envers la sostenibilitat i la reducció de l'impacte ambiental, la planta de biomassa permetria experimentar i avaluar l'ús de les energies renovables en un context aeroportuari.

La planta de biomassa no només proporcionaria una font d'energia més sostenible per a l'aeroport, sinó que també permetria a l'aeroport de Lleida ser un espai de prova per a la integració de les energies renovables en altres infraestructures aeroportuàries. L'experimentació i avaluació de l'ús de les renovables en aquest context específic podria generar coneixement i experiència valuosa per a altres aeroports i empreses del sector.

A més, aquest tipus de projecte tecnològic i d'innovació podria ser una oportunitat per establir col·laboracions amb institucions acadèmiques, centres de recerca i altres actors clau en el camp de les energies renovables. La sinergia entre l'aeroport de Lleida i aquests socis pot fomentar la investigació conjunta, la transferència de coneixement i l'avanç cap a solucions més sostenibles per a la indústria de l'aviació.

5.6 Impacte urbanístic

Tant la capacitat de producció com d'emmagatzematge de l'hidrogen dependrà generalment del volum de demanda diària màxima.

Atès que les unitats tenen una capacitat de producció limitada, als aeroports amb gran demanda diària, la planta de producció s'haurà de construir de manera modular, és a dir, que constaria de diversos mòduls.

A més, els dipòsits d'emmagatzematge haurien de tenir un volum suficient per gestionar aquesta quantitat de producció i proporcionar una certa reserva de combustible en cas de possible avaria dels mòduls de producció.

5.6.1 Proposta de disseny d'una planta de biomassa

La imatge mostra el disseny d'una planta de biomassa d'hidrogen, creat durant un taller celebrat el 2011. Aquest disseny representa una proposta innovadora per a la producció d'energia renovable utilitzant biomassa com a matèria primera.

A la imatge, s'observa una disposició estructural que mostra diferents etapes del procés de producció d'hidrogen a partir de biomassa. Es poden distingir diverses àrees clarament identificades (mòduls).

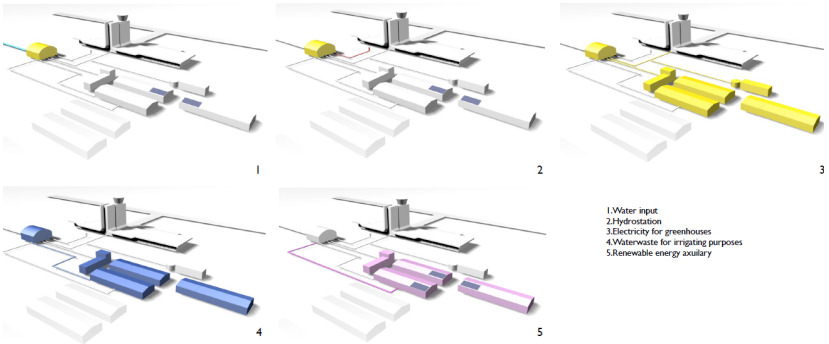


Figura 15: Disseny plantejat al 2011

En primer pla, es mostra una àrea destinada a la recepció d'aigua a través de canals. A mesura que avancem en la imatge, s'observa un conjunt de dipòsits i reactors on té lloc el procés de conversió de biomassa en hidrogen. No s'identifica el mètode utilitzat -tecnologies de gasificació, piròlisi o fermentació -, possiblement a falta d'un estudi més detallat sobre el consum necessari i la eficiència energètica de cada un.

És important tenir en compte que aquest disseny es va realitzar el 2011, per la qual cosa és possible que les tecnologies i enfocaments representats hagin evolucionat en els anys següents. No obstant això, el disseny de la planta de biomassa d'hidrogen captura la visió general de l'estructura.

6. NORMATIVA INTERNACIONAL I REGIONAL

6.1 La regulació de l'hidrogen en les polítiques públiques de la Unió Europea

L'hidrogen, fins fa poc temps, no havia assumit un paper decisiu en les polítiques públiques de la Unió Europea, tot i que s'esmentava en algunes ocasions a la legislació, especialment en el context de les disciplines tècniques. No obstant això, en els darrers vint anys, s'ha produït un canvi significatiu i la Unió ha estat prenent mesures en l'àmbit normatiu per promoure la investigació i el desenvolupament de l'hidrogen.

En aquest sentit, s'han establert diversos reglaments que aborden l'ús de l'hidrogen en diferents àmbits. Alguns dels reglaments existents inclouen:

1. Reglament (CE) 521/2008/CE, de 30 de maig
2. Reglament (CE) 1183/2011, de 14 de novembre
3. Reglament (CE) 2019/253, de 15 de febrer
4. Reglament (CE) 2019/795, de 17 de maig
5. Reglament (CE) 2019/1120, de 1 de juliol
6. Reglament (CE) 2020/486, de 3 d'abril
7. Reglament (CE) 2020/576, del 29 d'abril
8. Reglament (CE) 2020/1021, de 14 de juliol
9. Reglament (CE) 2021/386, de 9 de març

Aquests reglaments reflecteixen l'interès creixent de la UE pel potencial de l'hidrogen en diferents àmbits, especialment en el sector del transport. Encara que és important assenyalar que aquests reglaments se centren principalment en aspectes tècnics i normatius específics relacionats amb l'ús de l'hidrogen.

6.1.1 Desenvolupaments regulatoris necessaris

El Parlament Europeu, va assenyalar la necessitat d'arribar a un acord sobre una terminologia àmplia, precisa, uniforme i de base científica a tota la Unió per tal d'adaptar les definicions jurídiques nacionals i oferir una classificació clara que aporti seguretat jurídica.

Un aclariment sobre què pot incloure la noció d'hidrogen renovable o hidrogen de baixes emissions permetrà determinar un correcte flux d'inversions i recursos, fins i tot des del punt de vista de la investigació tecnològica.

També s'ha de determinar una metodologia amb base legal per calcular les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a les cadenes de subministrament d'hidrogen, per tal de quantificar eficaçment la seva petjada ecològica.

Per tant, sorgirà la necessitat d'intervenir creant un marc regulador per al mercat de l'hidrogen, el model del qual podria estar constituït, una vegada més, per la regulació ja existent del mercat del gas dins de la Unió Europea (Directiva 2009/73/CE), també pel que fa al tractament no discriminatori de l'hidrogen, com a gas, en comparació amb altres gasos ja àmpliament utilitzats, i per la legislació sobre energies netes (Directiva 2018/2001/UE).

També cal abordar les implicacions reguladores de l'emmagatzematge d'hidrogen, des d'un punt de vista objectiu i funcional, és a dir: la normativa per a l'emmagatzematge de gas i la reglamentació per a l'emmagatzematge d'electricitat. Actualment, la Directiva (UE) 2019/94470 defineix l'emmagatzematge d'energia al sistema elèctric com:

Diferir l'ús final d'electricitat a un moment posterior a quan va ser generada, o la conversió d'energia elèctrica en una forma d'energia que es pugui emmagatzemar, l'emmagatzematge d'aquesta energia i la subsegüent reconversió d'aquesta energia en energia elèctrica o el seu ús com un altre vector energètic (art. 2, núm. 59)

Cal no oblidar el perfil de seguretat de l'hidrogen, ja que és un material altament inflamable. Caldrà preparar les normes de seguretat corresponents per a la seva producció, transport i altres fases d'entrada a la xarxa, inclosos els moments d'emmagatzematge.

Tot i això, actualment el sector s'està trobant amb serioses barreres administratives per posar en marxa projectes d'aquest tipus, ja que la producció d'hidrogen, sigui quin sigui el mètode d'obtenció o volum d'emmagatzematge i sigui quin sigui el seu propòsit, està considerada com a activitat industrial dins del segment d'indústria química.

6.2 Convencions i acords internacionals relacionats amb l'ús de biomassa

En el marc de l'ús de biomassa com a font d'energia renovable, s'han establert diverses convencions i acords internacionals que busquen fomentar la seva utilització sostenible i reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle. A continuació, es descriuen algunes de les convencions i acords més rellevants:

- Acord de París (2015): Aquest acord és un tractat internacional sobre el canvi climàtic adoptat durant la 21a Conferència de les Parts de la Convenció Marco de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (COP21). L'Acord de París té com a objectiu principal limitar l'augment de la temperatura mitjana global per sota dels 2 graus Celsius respecte als nivells preindustrials, i promoure esforços per mantenir l'augment per sota d'1,5 graus Celsius. L'ús de biomassa com a font d'energia renovable sostenible es considera una estratègia per reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle.

- Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (CMNUCC): Aquesta convenció, adoptada el 1992, estableix un marc de cooperació internacional per afrontar el canvi climàtic. La CMNUCC té com a objectiu principal estabilitzar les concentracions de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera per evitar interferències antropogèniques perilloses en el sistema climàtic. En aquest sentit, promou l'ús de fonts d'energia renovable, incloent la biomassa, per reduir les emissions de CO2.

- Directiva sobre Energies Renovables de la Unió Europea (UE): Aprovada el 2009 i actualitzada posteriorment, aquesta directiva estableix un marc legal per a la promoció de l'ús de les energies renovables dins de la UE. Estableix objectius vinculants per als estats membres de la UE pel que fa a la quota d'energia renovable en el consum final brut d'energia. La biomassa és considerada una font d'energia renovable i se'n promou l'ús sostenible mitjançant criteris de sostenibilitat i garanties d'origen.

- Conferència de les Parts de la Convenció sobre Diversitat Biològica (COPCBD): Aquesta convenció té com a objectiu principal conservar la diversitat biològica, l'ús sostenible dels seus components i la distribució justa i equitativa dels beneficis que en derivin. La COPCBD promou l'ús sostenible de la biomassa, incloent la bioenergia, per a la reducció de les emissions de gasos d'efecte hivernacle, sempre garantint la conservació de la biodiversitat i els serveis ecosistèmics.

6.3 Regulacions i polítiques nacionals relacionades amb les plantes de biomassa

Les regulacions i polítiques nacionals i regionals han tingut un paper fonamental en l'establiment del marc legal i normatiu per a les plantes de biomassa a Espanya i Catalunya. A continuació, es descriuen algunes de les principals regulacions i polítiques en aquest àmbit:

Espanya:

- Llei 24/2013, del Sector Elèctric: Aquesta llei estableix el marc normatiu per al sector elèctric espanyol. En aquesta llei, es reconeix l'energia de biomassa com a font d'energia renovable i s'estableixen els mecanismes de suport econòmic per a la seva producció i utilització en el sistema elèctric.

- Reial decret 661/2007: Aquest decret estableix el règim econòmic per a l'energia produïda a partir de fonts renovables, incloent la biomassa, en el marc del sistema elèctric espanyol. Fixa els paràmetres per a la tarifa regulada i les condicions per a la connexió a la xarxa elèctrica.

- Pla Nacional Integrat d'Energia i Clima (PNIEC): Aquest pla és l'instrument de planificació a llarg termini en matèria d'energia i clima a Espanya. Estableix els objectius d'augment de la contribució de les energies renovables, incloent la biomassa, en el consum final brut d'energia i defineix les mesures per aconseguir aquests objectius.

Catalunya:

- Decret 80/2019, del 28 de maig, pel qual s'estableix el règim jurídic de l'energia de la biomassa a Catalunya: Aquest decret estableix el marc normatiu específic per a l'energia de biomassa a Catalunya. Regula els procediments administratius per a l'obtenció de les llicències i autoritzacions necessàries per a l'explotació de plantes de biomassa i estableix els requisits tècnics i mediambientals que han de complir aquestes instal·lacions.

- Pla Director Sectorial d'Energia de Catalunya: Aquest pla estableix les línies estratègiques i les mesures per al desenvolupament del sector energètic a Catalunya. Inclou polítiques i accions específiques per fomentar l'ús de la biomassa com a font d'energia renovable i promoure la seva utilització sostenible.

6.4 Identificació de les autoritats competents

Activitats relacionades amb biomassa

- Departament d'Empresa i Coneixement: A nivell regional, el Departament d'Empresa i Coneixement de la Generalitat de Catalunya té competències en matèria d'energia i pot estar involucrat en l'emissió de permisos i llicències per a les plantes de biomassa a Catalunya. A més, aquest departament pot participar en l'establiment de polítiques i regulacions energètiques a la regió.

- Agència de Residus de Catalunya: L'Agència de Residus de Catalunya és l'autoritat competent per a la gestió de residus a la regió. En el cas de les plantes de biomassa, aquesta autoritat pot estar involucrada en la regulació i supervisió de la gestió adequada dels residus generats per aquestes instal·lacions.

- Departament de Territori i Sostenibilitat: El Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya té competències en matèria de medi ambient i protecció del territori. Aquest departament pot estar involucrat en l'emissió de llicències mediambientals per a les plantes de biomassa, així com en l'estudi i l'avaluació de l'impacte ambiental associat a aquestes instal·lacions.

- Ajuntaments locals: A nivell municipal, els ajuntaments tenen competències en matèria d'urbanisme i gestió del territori. Per tant, l'autoritat municipal pot intervenir en l'emissió de permisos de construcció i operació per a les plantes de biomassa a nivell local, en compliment de les regulacions urbanístiques i altres requisits específics del municipi.

Activitats relacionades amb hidrogen

- Departament d'Empresa i Coneixement: A nivell regional, el Departament d'Empresa i Coneixement de la Generalitat de Catalunya té competències en matèria d'energia i pot estar involucrat en l'establiment de polítiques, regulacions i incentius relacionats amb l'hidrogen com a font d'energia. A més, aquest departament pot promoure i supervisar projectes d'investigació i desenvolupament en l'àmbit de l'hidrogen.

- Departament de Territori i Sostenibilitat: El Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya té competències en matèria de medi ambient i protecció del territori. Aquest departament pot participar en l'emissió de llicències mediambientals i en l'avaluació de l'impacte ambiental associat a les infraestructures relacionades amb l'hidrogen, com ara les estacions de càrrega o les instal·lacions de producció.

- Ajuntaments locals: A nivell municipal, els ajuntaments tenen competències en matèria d'urbanisme i gestió del territori. En cas de desenvolupament de projectes relacionats amb l'hidrogen a nivell local, l'autoritat municipal pot estar involucrada en l'emissió de permisos de construcció i operació, així com en el compliment de les regulacions urbanístiques i altres requisits específics del municipi.

- Entitats i organismes de promoció de l'hidrogen: A Catalunya, també hi ha entitats i organismes que promouen i fomenten l'ús de l'hidrogen com a font d'energia. Aquests inclouen, per exemple, el Clúster de l'Hidrogen de Catalunya, que reuneix empreses, institucions i centres de recerca per a la col·laboració i l'impuls de projectes d'hidrogen.

6.5 Normativa i promoció de les energies renovables

Tant la normativa de la planta de biomassa com la de l'hidrogen promouen les energies renovables, però cada una d'elles té un enfocament diferent i s'apliquen en àmbits específics.

En general, la normativa de les plantes de biomassa s'ha centrat en establir criteris de sostenibilitat per a la producció i utilització de biomassa com a font d'energia renovable. Això inclou la definició de requisits mediambientals, socials i econòmics per a la cadena de subministrament de biomassa, així com la promoció de l'eficiència energètica i la reducció d'emissions de gasos d'efecte hivernacle. Aquesta normativa busca garantir que la biomassa utilitzada prové de fonts sostenibles i no té impactes negatius significatius en la biodiversitat i els ecosistemes.

D'altra banda, la normativa de l'hidrogen s'ha centrat en el foment del desplegament de l'hidrogen com a vector energètic clau per a la transició cap a un sistema energètic més sostenible i descarbonitzat. Aquesta normativa estableix mesures per a la producció, emmagatzematge, distribució i utilització de l'hidrogen, especialment en la seva forma "verda" o renovable. Això inclou incentius econòmics, suport per a la investigació i el desenvolupament tecnològic, i la creació d'infraestructures i xarxes per a l'hidrogen.

En termes de promoció i desplegament de les energies renovables, l'hidrogen ha guanyat més atenció en els últims anys a causa de les seves possibilitats com a vector energètic versàtil i emmagatzemament d'energia. Les polítiques i els plans estratègics, com ara l'Estratègia Nacional de l'Hidrogen a Espanya o el Pla Nacional de l'Hidrogen Verda de Catalunya, posen un èmfasi important en el foment de l'hidrogen verd i el seu ús en diversos sectors, com el transport, l'energia i la indústria.

7. CONCLUSIONS

En la realització d'aquest treball s'ha abordat l'anàlisi de la construcció d'una planta de biomassa a l'aeroport de Lleida-Alguaire amb l'objectiu de generar hidrogen verd pel seu autoconsum. L'objectiu principal ha sigut determinar la viabilitat d'aquesta proposta, resultant al 2011 durant la celebració d'un workshop. Per aconseguir aquest objectiu, s'han avaluat i estudiat els diferents mètodes d'aprofitament de la biomassa, així com les infraestructures necessàries per a la seva implementació. També destacar que s'han tingut en compte les característiques específiques de l'aeroport de Lleida-Alguaire i s'ha considerat el context de sequera que afecta la regió a l'actualitat.

A continuació, s'exposen les conclusions obtingudes del treball realitzat:

1. L'ús de l'hidrogen renovable com a font d'energia en el sector del transport aeri pot contribuir a superar els reptes del model de mobilitat actual, reduint la dependència dels combustibles fòssils i mitigant els impactes ambientals associats a les emissions de gasos contaminants.

2. Perquè Espanya es converteixi en un proveïdor mundial d'hidrogen sostenible, és crucial abordar el problema de l'aigua, necessària per a la seva producció. La sequera i els canvis en la disponibilitat i qualitat de l'aigua tenen un impacte directe en la generació d'electricitat. En aquest sentit, la reutilització de l'aigua residual de la ciutat d'Alguaire, mitjançant un tractament i condicionament adequats, es presenta com una solució prometedora per abordar el consum d'aigua i gestionar els recursos hídrics de manera sostenible.

3. Tenint en compte les dimensions de l'aeroport de Lleida i la disponibilitat de biomassa local, la gasificació de biomassa emergeix com una opció eficient i viable per a la producció d'hidrogen. A més, el gas de síntesi obtingut pot ser utilitzat per altres aplicacions energètiques o industrials, aportant flexibilitat en l'ús de la biomassa com a recurs. També s'observaria un impacte positiu en la gestió de residus agroforestals, garantint la preservació dels recursos naturals i la prevenció d'incendis forestals.

4. Els aeroports de baixa demanda representen una oportunitat interessant per a l'adopció de l'hidrogen com a font d'energia alternativa. Amb un consum energètic més reduït i ubicats en zones rurals amb accés a fonts renovables, aquests aeroports són propicis per a la implementació de solucions sostenibles. A més, la flexibilitat de la infraestructura existent permet una transició àgil cap a l'ús de l'hidrogen.

5. L'Aeroport de Lleida-Alguaire és un exemple de petit aeroport que podria beneficiar-se de l'adopció de l'hidrogen com a font d'energia. No obstant la subvenció atorgada per a la construcció d'una infraestructura com aquesta és relativament baixa en comparació amb el cost total del projecte. A més, el consum de querosè a l'aeroport de Lleida és considerablement més baix que la producció d'hidrogen de la central de biomassa de 14,8 MW.

6. L'ús de vehicles d'hidrogen està en procés de desenvolupament i prova en diferents regions del món, juntament amb els avanços en tecnologies d'hidrogen per a la seva producció i distribució. En aquest context, l'aeroport de Lleida-Alguaire podria considerar la transició cap a vehicles de handling alimentats per hidrogen, atès que hi hauria excedents d'energia.

7. L'extrapolació de l'ús de l'hidrogen a L'Aeroport de Barcelona-El Prat planteja desafiaments addicionals, donada la seva instal·lació de gran envergadura, una demanda molt més elevada i una infraestructura que hauria de ser adaptada per permetre l'emmagatzematge, la distribució i l'ús eficient de l'hidrogen.

8. BIBLIOGRAFIA

[1] Consell de Treball, Econòmic i Social de Catalunya. (2021). La transició cap a una mobilitat més intel·ligent i sostenible. CTESC. Recuperat de: https://clusterlogistic.org/wp-content/uploads/2021/09/La-transicio-cap-a-una-mobilitat-mes-intelligent-i-sostenible-1.pdf

[2] El hidrógeno, sin un plan nacional. Carlos Ramírez Sánchez-Maroto. Revisor Experto de la ONU (2020/2022) Grupo de Trabajo III de Evaluación del IPPC al Sexto Informe de Evaluación. Recuperat de: https://www.elsoldigital.es/el-hidrogeno-sin-un-plan-nacional-carlos-ramirez-sanchez-maroto-revisor-experto-de-la-onu-20202022-grupo-de-trabajo-iii-de-evaluacion-del-ippc-al-sexto-informe-de-evaluacion/amp/

[3] La Taula Estratègica de l'aeroport d'Alguaire analitzarà la viabilitat de deu projectes de gestió ambiental i paisatgística que proposen experts europeus. Govern.cat.

Recuperat de:
https://govern.cat/salapremsa/notes-premsa/126033/taula-estrategica-aeroport-alguaire-analitzara-viabilitat-deu-projectes-gestio-ambiental-paisatgistica-que-proposen-experts-europeus

[4] Hacia una nueva movilidad en las ciudades.Gómez Pomar, J. (2020). Economistas, núm. 169. Madrid: Colegio de Economistas de Madrid. Recuperat de: https://privado.cemad.es/revistas/online/Revistas/ECONOMISTAS-Num-169-WEB-2-(1).pdf/174

[5] Diferencia entre hidrógeno verde y azul. (s. f.). Iberdrola. Recuperat de: https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/hidrogeno-verde/diferencia-hidrogeno-verde-azul

[6] Producción de hidrógeno a partir de biomasa y su uso en celdas de combustible. (2013, 12 diciembre). Issuu. Recuperat de: https://issuu.com/quioscosic/docs/alerta_biocombustibles_hidr__geno_f

[7] Espacenet – search results. (s. f.). Recuperat de: https://worldwide.espacenet.com/patent/search?q=nftxt%20%3D%20%22biohydrogen%22

[8] Llorca, J. (2010). El hidrógeno y nuestro futuro energetico. Barcelona: UPC; ISBN 9788498804188.

[9] Producción de hidrógeno. (s. f.). hidrogeno. Recuperat de: https://hidrogeno18.wixsite.com/hidrogeno/blank-cjg9

[10] Sánchez, C. (2014, 11 diciembre). La planta fotovoltaica del aeropuerto de Lleida empieza a funcionar sin recibir ninguna prima o subvención. Energy News. Recuperat de: https://www.energynews.es/la-planta-fotovoltaica-del-aeropuerto-de-lleida-empieza-a-funcionar-sin-recibir-ninguna-prima-o-subvencion/

[11]Así es la planta de hidrógeno verde de Puertollano - IBERDROLA. (s. f.). Recuperat de: https://www.iberdrola.es/blog/sostenibilidad/asi-es-planta-hidrogeno-verde-puertollano-iberdrola

[12] Airbus and Kansai Airports partner to study the use of hydrogen in the decarbonisation of the aviation sector in Japan. (2022, junio). Contify Aviation News; New Delhi. Recuperat de: https://www.proquest.com/docview/2674698252/fulltext/3A3C3EC318AE4ABAPQ/1?accountid=15292

[13] El tren de hidrógeno verde será una realidad gracias a Iberdrola y CAF. (2022, 2 febrero). Iberdrola. Recuperat de: https://www.iberdrola.com/sala-comunicacion/noticias/detalle/tren_hidrogeno_verde_sera_realidad_gracias_a_iberdrola_caf

[14] Barcelona recibe el primer bus de hidrógeno de Caetano que repostará próximamente en la planta de H2 verde de. (2021, 23 diciembre). Iberdrola. Recuperat de: https://www.iberdrola.com/sala-comunicacion/noticias/detalle/barcelona-recibe-primer-bus-hidrogeno

[15] Iberdrola impulsa su liderazgo en hidrógeno verde con la firma del primer préstamo del ICO para esta tecnología. (2021, 26 julio). Iberdrola. Recuperat de: https://www.iberdrola.com/sala-comunicacion/noticias/detalle/iberdrola-impulsa-liderazgo-hidrogeno-verde-firma-primer-prestamo-ico

[16] Así es la primera hidrogenera de uso público en España - IBERDROLA. (s. f.). Recuperat de: https://www.iberdrola.es/blog/sostenibilidad/asi-funciona-hidrogenera-zona-franca-barcelona

[17] La prohibición de vender nuevos coches de gasolina y diesel a partir de 2035 | Noticias | Parlamento Europeo. (2023, 13 febrero). Recuperat de:

https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20221019STO44572/la-prohibicion-de-vender-nuevos-coches-de-gasolina-y-diesel-a-partir-de-2035

[18] Diario Oficial de la Unión Europea. (2009). Directiva 2009/28/CE del parlamento europeo y del consejo. Recuperat de: https://residus.gencat.cat/web/.content/home/consultes_i_tramits/normativa/normativa_europea_en_materia_de_residus/dir_2009_28.pdf

[19] Colaboradores de Wikipedia. (2021, 13 julio). Aeropuertos de Cataluña. Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperat de: https://es.wikipedia.org/wiki/Aeropuertos_de_Catalu%C3%B1a

[20] Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). (2021, septiembre). Unión Europea. Recuperat de: https://contrataciondelestado.es/wps/wcm/connect/2e9de4a1-cb07-4eb8-be71-61d1b65dc11

[21] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (2021). Plan estratégico de subvenciónes del ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico 2022-2024. Recuperat de: https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/plan-estrategico-subvenciones-2022-2024/pes2022-2024_tcm30-534727.pdf

[22] Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. (s.f.). Informe del reglamento de desarrollo legislativo [PDF]. Recuperat de: https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/tecnologia-hidrogeno/informacion/informe-reglamento-desarrollo-legislativo.pdf

[23] Contratación del Estado. (s.f.). Anexo I: Anteproyecto [PDF]. Recuperat de: https://contrataciondelestado.es/wps/wcm/connect/983c5906-20aa-4e66-a040-aa67185e518c/DOC20220727115334Anexo_I_PPT_Anteproyecto.pdf?MOD=AJPERES

[24] Congreso de los Diputados. (s.f.). Ley Orgánica 5/1985, de 19 de junio, del Régimen Electoral General [PDF]. Recuperat de: https://www.congreso.es/public_oficiales/L14/CONG/BOCG/B/BOCG-14-B-175-1.PDF

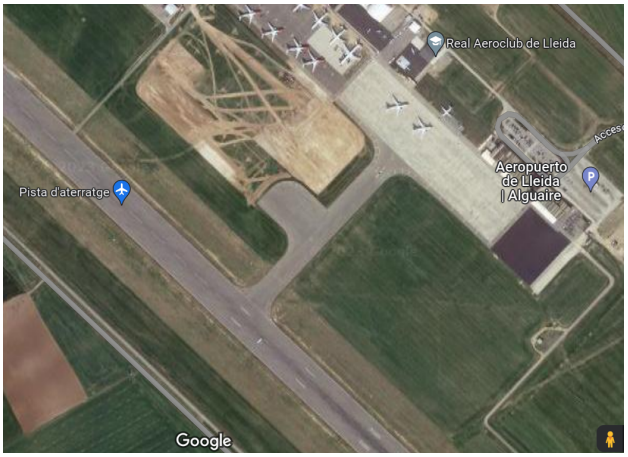
[25] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). Hoja de Ruta del Hidrógeno Renovable [PDF]. Recuperat de: https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/hidrogeno/hojarutahidrogenorenovable_tcm30-525000.PDF

[26] Central de biomasa. (s. f.). Endesa. Recuperat de: https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/centrales-renovables/central-de-biomasa

[27] Isabel. (2022, 12 septiembre). Qué es una planta de biomasa y cómo funciona. Sistemas de Calefacción LASIAN. Recuperat de: https://lasian.es/planta-biomasa-central/

[28] Nuevo, D., & Nuevo, D. (2023). La planta de biomasa más grande de España | Formación de ingenieros. Formación de ingenieros. Recuperat de: https://www.tecpa.es/planta-biomasa-mas-grande-espana/

ANNEX 1

Ubicació de la planta	Metres quadrats	Potència instalada
Navia	505.130	77MW
Merida	82.050	20MW
Huelva	103.000	50MW
La Loma	90.000	16MW

1. Identificació de la zona aeroportuària
2. Anàlisi del terreny i selecció de la zona plantejada al 2011
3. Mesura de l'àrea = 148.794 metres quadrats