

**Treball  
de  
recerca**

**Reducció del CO<sub>2</sub> a partir de microorganismes**

**Elongació de la cadena de CO<sub>2</sub> amb un procés  
fermentatiu a partir de bacteris**



*Pseudònim: ABO*

*2n BATXILLERAT*

*18-10-2021*

*Departament científic*

*"Pretender que el cambio climático no es real no hará que desaparezca".* Leonardo DiCaprio

# Índex

Agraïments .....	3
Resum.....	4
Introducció .....	5
BLOC TEÒRIC.....	6
1. El CO <sub>2</sub> .....	6
1.1 El CO <sub>2</sub> i les fonts de producció .....	6
1.2 El CO <sub>2</sub> a la Terra .....	10
1.2.1 Emissions de CO <sub>2</sub> a Catalunya.....	11
2. L'escalfament global.....	13
2.1 Situació actual .....	15
3. Conseqüències de l'escalfament global .....	19
3.1 Estimació d'Espanya el 2100 .....	19
4. Mètodes de reducció de CO <sub>2</sub> al Laboratori.....	24
4.1 Fermentació .....	24
4.2 Cel·les de combustible microbianes.....	26
5. Objectius.....	28
BLOC EXPERIMENTAL.....	29
6. Abans de començar.....	29
6.2 Materials, mètodes i reactius .....	30
7. Preparació i estudi de cultius bacterians .....	34
7.1 Hipòtesi.....	34
7.2 Preparació dels fermentadors .....	34
7.2.1 Ajust del pH de l'aliment mielític i addició dels substrats .....	34
7.2.2 Inoculació fermentadors amb els microorganismes .....	35
7.3 Mesura/Recull de dades .....	37
7.4 Resultats i anàlisis .....	40
7.5 Conclusió experimental .....	42
7.6 Aplicacions dels productes obtinguts.....	42
7.6.1 Àcid caproic.....	42
7.6.2 Àcid Butíric .....	43
7.7 Publicació dels resultats obtinguts al congrés internacional.....	44
CONCLUSIONS .....	44
BIBLIOGRAFIA .....	46
ANNEX.....	I

# Agraïments

La realització d'un Treball de recerca requereix de la contribució de terceres persones, directa o indirectament, i és per això que m'agradaria dedicar aquest apartat a tots els que m'han ajudat i han contribuït a que aquest treball arribés a bon port.

Gràcies *tutora*, ja que sense tu aquest treball no hauria existit. Gràcies per acceptar-me com al teu tutoritzat, per proposar-me aquest tema i facilitar-me el contacte directe amb la UdG i per confiar plenament en mi en tot moment.

Gràcies novament *tutora* per la teva implicació, per supervisar-me el treball i corregir-lo quan era necessari, pels consells basats en la teva experiència i de les recomanacions per facilitar-me el treball.

Gràcies Narcís<sup>1</sup>, per la teva col·laboració com a representant del grup d'investigació LEQUIA, per introduir-me en el món microbià i per permetrem treballar en un laboratori real d'investigació, per dedicar-me el temps d'explicar els vostres projectes d'investigació i per mostrar i explicar-me els vostres mètodes per realitzar-los.

Gràcies Meritxell<sup>2</sup>, per supervisar la meva activitat al Laboratori i per fer les indicacions oportunes durant la realització del treball experimental com a tècnica de laboratori.

Gràcies novament Meritxell, per transmetrem el rigor i la passió amb que fas la teva feina i per introduir-me un nou sector laboral que no coneixia, que m'ha servit per orientar-me per la meva formació acadèmica universitària.

---

<sup>1</sup> Narcís Pous Rodríguez, investigador post doctoral de la UdG especialitzat en enginyeria química i membre del grup de recerca del LEQUIA

<sup>2</sup> Meritxell Romans Casas, investigadora pre-doctoral de la UdG especialitzada en enginyeria química i membre del grup d'investigació del LEQUIA

## Resum

El canvi climàtic i tot el que això comporta és un dels problemes que més ressò té actualment arreu del món, i la seva solució és una de les prioritats d'investigadors i científics. L'objectiu d'aquest treball és estudiar la influència que té el CO<sub>2</sub> en l'escalfament global i buscar una manera de reduir-lo o transformar-lo en altres compostos més útils i menys perjudicials pel medi ambient. A partir d'aquest plantejament, he realitzat un procés experimental en el qual, mitjançant un procés de fermentació anaeròbica, i a través d'uns cultius microbians rics en clostridits, he aconseguit reduir el CO<sub>2</sub> i transformar-lo en àcid capròic i àcid acètic, que són compostos amb valor afegit, és a dir, més energètics, més econòmics i menys contaminants

## Resumen

El cambio climático y todo lo que éste conlleva, es uno de los problemas que más trascendencia tiene actualmente en todo el mundo, y su solución es una de las prioridades de investigadores y científicos. El objetivo de este trabajo es estudiar la influencia que tiene el CO<sub>2</sub> en el calentamiento global y buscar una manera de reducirlo o transformarlo en otros compuestos más útiles y menos perjudiciales para el medio ambiente. A partir de este planteamiento, he realizado un proceso experimental mediante la fermentación anaeróbica a través de unos cultivos microbianos ricos en clostridium y he conseguido reducir el CO<sub>2</sub> y transformarlo en ácido caprónico y ácido acético, que son compuestos con valor añadido, es decir, más energéticos, más económicos y menos contaminantes.

## Abstract

Climatic change and all that it means, is one of the biggest problems for the entire world, and its solution is one of the principal aims of the researchers and scientists. The main goal of this work is to investigate the influence that CO<sub>2</sub> has on global warming and to find a way to reduce or transform it into other compounds more useful and less harmful for the environment. Based on this approach, I carried out an experimental process based of anaerobic

fermentation through microbial cultures rich in clostridites, and I was able to reduce CO<sub>2</sub> and turn it into caproic and acetic acid, which are value-added compounds.

## Introducció

Des de ben petit, la curiositat i les ganes d'aprendre i descobrir coses noves han format part de la meua personalitat, i segurament seran el que marcarà el transcurs de la meua vida. El camp de la ciència, i sobretot el de la investigació, sempre m'han semblat molt interessants i sovint han captivat la meua atenció, i és per aquest motiu que és la branca a la que m'agradaria dedicar en un futur acadèmic i més tard professionalment. És per això que aquest treball m'ha semblat una gran oportunitat per a tenir el primer contacte amb tot aquest món de la investigació, i m'ha permès aclarir una mica més les meves idees per al meu futur acadèmic i laboral.

Fa prop d'un any vaig iniciar la meua recerca en un nou projecte, el qual m'ha estat acompanyant durant tot l'estiu i ha representat el meu primer repte personal en l'àmbit acadèmic. Al principi, jo no tenia ni idea del que volia tractar al meu treball fins que un dia, la meua tutora, l'Anna Ros, em va proposar de participar en un projecte altruista destinat a la investigació de noves tecnologies i mètodes per a la reducció del CO<sub>2</sub>.

Aquest treball, pretén estudiar i analitzar les principals causes de l'escalfament global, centrant-se en el CO<sub>2</sub>, i buscar una manera de reduir-ne la concentració atmosfèrica per millorar les condicions mediambientals del planeta. Per tant, la distribució del treball es separa en un bloc teòric i un de pràctic. En primer lloc es farà una contextualització, on es parla sobre l'origen antropomòrfic que té el CO<sub>2</sub>, sobre els paràmetres de concentració de GEH a l'atmosfera, sobre les mesures continentals i estatals per a reduir aquestes emissions i sobre les conseqüències que aquest gas té en la temperatura de la terra i el que això comporta al medi ambient.

En canvi, en el bloc pràctic s'explica el procediment experimental que s'ha dut a terme als laboratoris del LEQUIA per a realitzar la conversió de CO<sub>2</sub> en àcid capròic i àcid butíric per mitjà d'un procés fermentatiu. Aquest treball de camp

es divideix en principalment dues parts, la primera que consistirà en crear els fermentadors i les condicions òptimes del procés, i la segona que consistirà en recollir les dades i efectuar-ne una posterior anàlisi i conclusió. En aquest segon bloc també hi trobarem l'entrevista a la investigadora pre-doctoral Meritxell Romans, que treballa en aquesta mateixa línia d'investigació i que m'ha proporcionat molts dels seus coneixements, que han resultat molt útils per a la investigació.

En aquest treball, he après que la situació actual respecta al canvi climàtic és molt més perillosa del que la gent creu, ja que estem entrant en un punt de no retorn que pot acabar amb l'estil de vida humà tal i com el coneixem. És per aquest motiu que cal conscienciar-nos de que la rectificació i reducció de l'emissió de gasos GEH ha de ser imminent, i és molt necessària la contribució científica per a la recerca de noves solucions a aquest gran problema.

# **BLOC TEÒRIC**

## **1. El CO<sub>2</sub>**

### **1.1 El CO<sub>2</sub> i les fonts de producció**

Fa ja més de dos segles, a principis del 1760 amb la primera revolució industrial, van aparèixer per primer cop, les màquines en l'àmbit laboral. Aquestes van permetre la producció massiva destinada al comerç, la qual afavorida per alguns sistemes econòmics i socials com el capitalisme, ha perdurat fins a l'actualitat. Tot i que al principi aquest sistema de producció semblava la solució de molts dels problemes d'aquell moment, també va suposar la font de molts altres problemes que encara avui en dia estem lluitant per resoldre. En poder disposar d'una producció massiva, els preus de venda van baixar considerablement, ja que la construcció dels productes era molt més ràpida i eficient, i per consegüent, els residus també van començar a augmentar. Tot i que en aquell moment no se'ls hi va donar tanta importància, el tractament de residus en l'actualitat és una de les principals preocupacions

per a tots els científics i ecologistes del món. Un dels residus que més ha destacat durant les últimes dècades, ha estat el del CO<sub>2</sub>, ja que aquest és produït en major quantitat a causa de les combustions dels combustibles fòssils i aquests tenen innumerables aplicacions.

Durant els últims dos segles, els humans han necessitat una font d'energia que pogués abastir les seves necessitats, així com fer ús de màquines autosuficients, que només necessitessin la intervenció de l'home per a manipular els objectes, i no per a aportar energia. Per a l'obtenció d'aquesta energia, els humans hem anat desenvolupant diferents mecanismes, cada vegada més complexes i eficaços. Durant la primera revolució industrial, aquesta font d'energia es va obtenir a partir de la combustió del carbó, el qual permetia obtenir altes temperatures principalment emprades per a obtenir vapor d'aigua. A partir d'aquell moment, les emissions de CO<sub>2</sub> van començar a augmentar significativament, agreujant aquesta situació fins a l'actualitat.

Posteriorment, durant la segona revolució industrial, va aparèixer l'ús de l'electricitat, la qual era més ràpida i tenia moltes més utilitats. Tot i que actualment s'estan buscant nous mètodes per a l'obtenció d'aquesta electricitat, moltes de les indústries elèctriques (tèrmica, nuclear, fòssil...) són també emissores de CO<sub>2</sub>. A més, el problema de l'emissió d'aquest gas va empitjorar encara més amb l'aparició dels primers vehicles que funcionaven amb un motor de combustió.

Segons l'estudi de les reaccions químiques, tota combustió es produeix a partir d'un element orgànic (combustible), que en aplicar-hi una escalfor o energia d'activació, reacciona amb un comburent (generalment oxigen). Aquesta reacció exotèrmica<sup>3</sup> té com a resultat l'obtenció d'aigua i de diòxid de carboni en estat gasós a més de desprendre energia transformada en forma de calor i llum. Podem considerar que es tracta d'una reacció redox, on el comburent actua com a oxidant, ja que perd electrons, i el combustible és el reductor, ja que guanya electrons ( $C_xH_y + (x + y/4)O_2 \rightarrow xCO_2 + (y/2)H_2O$ ). Un clar exemple

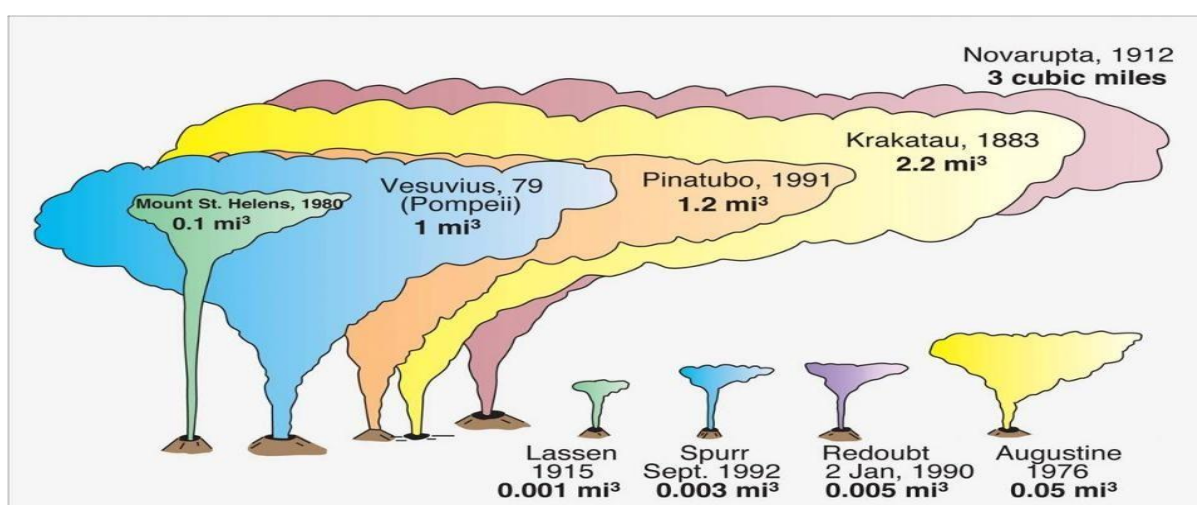
---

<sup>3</sup> **Reacció exotèrmica:** reacció que al tenir una entalpia negativa, desprèn energia en forma de calor



en seria la combustió del metà, on afegint dues molècules d'oxigen gas i l'energia d'iniciació necessària en forma calorífica, es poden aconseguir una molècula de diòxid de carboni i dues molècules d'aigua ( $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ).

Així i tot, també existeixen altres fonts de producció de  $\text{CO}_2$  siguin naturals o artificials. Per una banda tenim les naturals, com en seria la respiració humana, la descomposició de la matèria orgànica o les erupcions volcàniques (que són les que van generar la primera capa de  $\text{CO}_2$  terrestre). De fet, s'estima que el vulcanisme contribueix anualment amb 645 milions de tones a l'any.



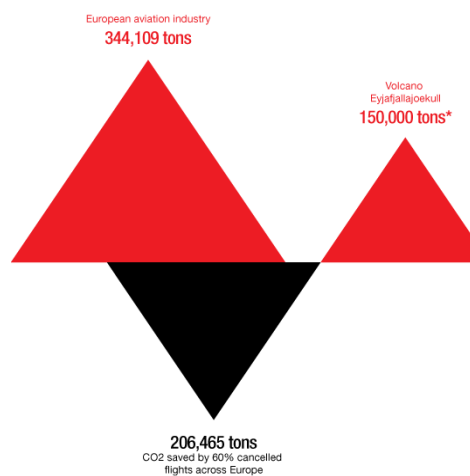
**Figura 1.** Comparativa emissió de gasos  $\text{CO}_2$  dels volcans més grans de la història

La representació de la **Figura 1** és una manera molt gràfica d'entendre la immensa quantitat de  $\text{CO}_2$  que aquests emeten a l'aire en entrar en erupció. De fet, s'estima que el vulcanisme contribueix en emissions de  $\text{CO}_2$  amb uns 645 milions de tones anuals.

De fet, recentment a aparegut un volcà actiu a l'illa de "La Palma" (Espanya), que està arrasant amb la ciutat i que ja està emetent prop de 10 milions de tones diàries de  $\text{CO}_2$ .

Però per altra banda, tenim els orígens de  $\text{CO}_2$  antròpics que corresponen a la gran majoria de les emissions actuals. En primer lloc tenim la combustió de

combustibles fòssils que és el que més ha estat contaminant l'atmosfera en les últimes dècades.



**Figura 2.** Comparativa entre el CO<sub>2</sub> emès pel volcà Eyjafjallajökull d'Islàndia i les emissions de la indústria de transport aeri

A la **Figura 2** podem observar clarament que les emissions artificials de CO<sub>2</sub> són molt més greus que les naturals. De fet, amb l'erupció del Volcà Eyjafjallajökull es va poder evitar una emissió estimada de més de 200 tones de CO<sub>2</sub> amb la cancel·lació dels vols d'avions. S'estima que s'emeten unes 29 mil milions de tones a causa de la combustió de combustibles fòssils, i per tant les emissions dels volcans corresponen a un 1% de les emissions totals. [1]

I finalment tenim la desforestació, que consisteix en la desaparició de la vegetació d'una zona determinada, sigui pels incendis o per la tala massiva d'arbres. Això contribueix a la reducció de les absorcions d'aquest gas, augmentant-ne la concentració.

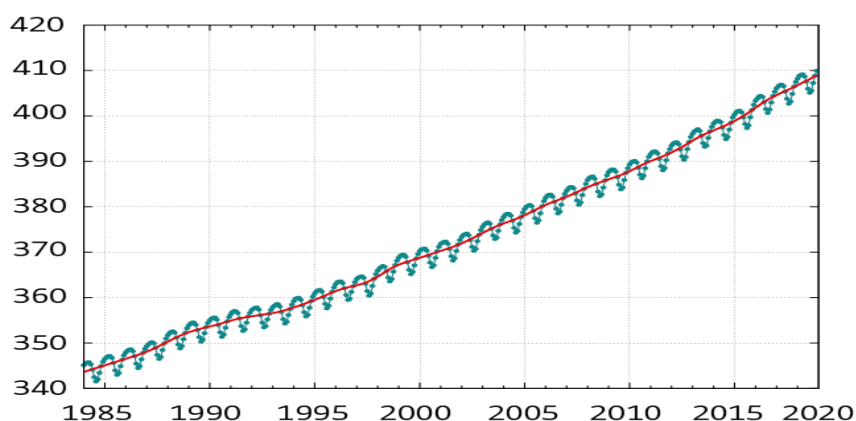


**Figura 3.** Desforestació de la selva amazònica

Una cinquena part dels boscos de l'Amazones s'han perdut en les últimes quatre dècades i en els últims anys la biosfera amazònica ha perdut uns 5.000 quilòmetres quadrats de superfície a causa de la desforestació. [2]

## 1.2 El CO<sub>2</sub> a la Terra

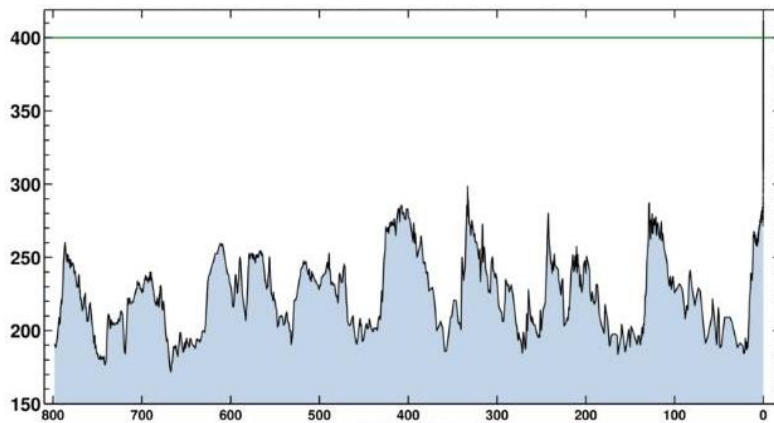
Els nivells de CO<sub>2</sub> al planeta Terra sempre s'han mantingut estables al llarg del temps amb petites variacions, fins que als últims anys s'ha incrementat el nivell de CO<sub>2</sub> en valors alarmants propers als 420 ppm tal com veiem als **Gràfic 1** i **Gràfic 2**. Aquest gran increment que s'ha observat en les últimes dècades evidencia que el principal causant n'és l'ésser humà, que des de la revolució industrial porta un estil de vida insostenible amb un gran nombre de despeses ecològiques com en són la massificació de la població i de la producció. A més, l'aparició de vehicles de transport i la industrialització han desembocat en emissions descontrolades de CO<sub>2</sub> antropogèniques.



**Gràfic 1.** Evolució de la concentració de CO<sub>2</sub> en l'atmosfera 1894-2020 en ppm<sup>4</sup> en funció del temps publicada a la Vanguardia

---

<sup>4</sup> **Ppm:** Unitat utilitzada per referir-se a la concentració d'un solut molt diluït expressada en parts de solut en mil·ligrams respecte un milió de litres de dissolvent (Ppm= mg/l)



**Gràfic 2.** Evolució de la concentració de CO<sub>2</sub> en l'atmosfera durant els últims 800 mil anys fins a la data d'estudi l'11 de maig de 2019 en parts per milió en funció del temps

Segons el butlletí de gasos d'efecte hivernacle de l'OMM (Organització Meteorològica Mundial) l'última vegada que la Terra va registrar una concentració comparable a l'actual de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera va ser fa entre 3 i 5 milions d'anys. Així i tot, el 2015 es va igualar el líndar de 400 ppm de CO<sub>2</sub>, el qual era considerat fins llavors com el pic més alt de la història de CO<sub>2</sub> acumulat a l'atmosfera. I només quatre anys més tard, es van registrar 410 ppm, el qual va ser considerat com la taxa d'augment més gran registrada en la història.

De fet, es tal la velocitat d'increment del CO<sub>2</sub>, que s'estima que n'ha augmentat la seva concentració fins un 148% respecte del nivell preindustrial (de 278 ppm) que representa el punt d'equilibri dels fluxos entre l'atmosfera, els oceans i la biosfera terrestre. [3] [4]

### **1.2.1 Emissions de CO<sub>2</sub> a Catalunya**

Segons un estudi de "La Vanguardia" publicat l'11 d'abril de 2018, les emissions de les 124 instal·lacions d'empreses catalanes sotmeses al règim europeu del comerç de CO<sub>2</sub> han augmentat considerablement, fins a una emissió estimada de 14.930.210 tones de CO<sub>2</sub>. Aquesta quantitat va suposar un augment del 6,2 % de les emissions respecte al 2016, un ritme semblant al que ja havia fet els anys anteriors 2014 i 2015, segons va indicar el Departament de Territori i Sostenibilitat, que a través de la Direcció General de Qualitat Ambiental i Canvi Climàtic va validar els informes sobre la llei que

regulaven el Règim del Comerç de Drets d'Emissió de Gasos amb Efecte d'Hivernacle corresponents al 2017. Segons aquest mateix article, les indústries són les responsables del 30% de les emissions de CO<sub>2</sub> durant el 2018 a Catalunya, i es calcula que des del 2013 fins al 2020, l'increment global de les emissions ha estat d'un 13,4%. [5]

**Taula 1** Emissions de gasos d'efecte hivernacle en tones equivalents de CO<sub>2</sub> entre els anys 2017 i 2019, en els principals àmbits d'activitat inventariats a la Universitat de Barcelona.

2017	2018	2019	EVOLUCIÓ	INDICADOR
18.261,1	6.137,7	2.662,9	😊	Energia
15.688,5	3.185,7	0,0	😊	Electricitat
2.572,6	2.952,1	2.662,9	😞	Combustibles fòssils
2.655,5	1.362,1	1.526,4	😊	Emissions fugitives de gasos fluorats
95,1	98,1	91,6	😊	Transport
494,4	498,4	470,4	😊	Residus
70,4	63,9	63,8	😊	Aigua
21.576,6	8.160,3	4.815,0	😊	TOTAL

Tal com podem observar en la **Taula 1** publicada el 2019 per la Universitat de Barcelona, les emissions de CO<sub>2</sub> el 2017 van disminuir de forma notòria, fins al punt de reduir més de 16 mil tones d'aquest gas. Els sectors que més han destacat han estat els de la producció d'energia i electricitat, amb una reducció de més de 12 mil tones de CO<sub>2</sub>.

Per últim, podem dir que, segons la pàgina web de la Generalitat de Catalunya, les instal·lacions del règim europeu del comerç de CO<sub>2</sub>, van reduir les seves emissions en un 13% durant el passat 2020, afavorides per la pandèmia.

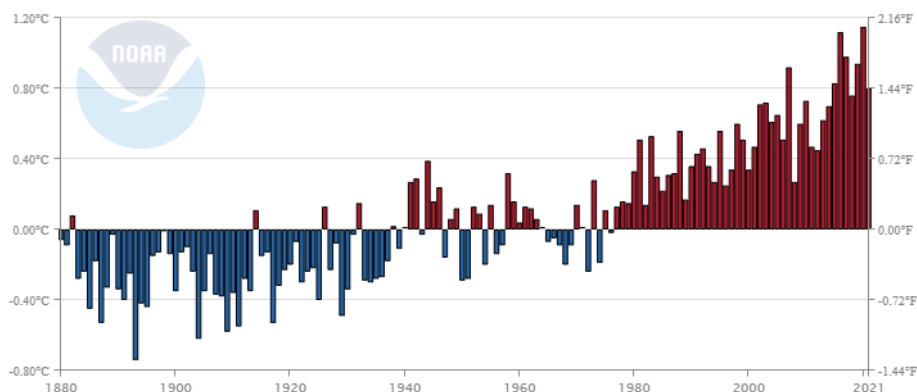
La reducció d'emissions de GEH més important s'ha donat als cicles combinats que produeixen electricitat per al sistema elèctric: un 36,22% i una reducció total d'1.276.268 tones de CO<sub>2</sub> respecte al 2019. El sistema elèctric ha requerit molta menys producció, per una banda perquè la demanda elèctrica a Catalunya va reduir-se un 6,7%. Aquesta disminució s'explica per una banda per les condicions meteorològiques; el 2020 va ser més càlid i amb menys

demanda per a calefacció elèctrica, però, sobretot per la baixada de l'activitat econòmica derivada de la pandèmia.

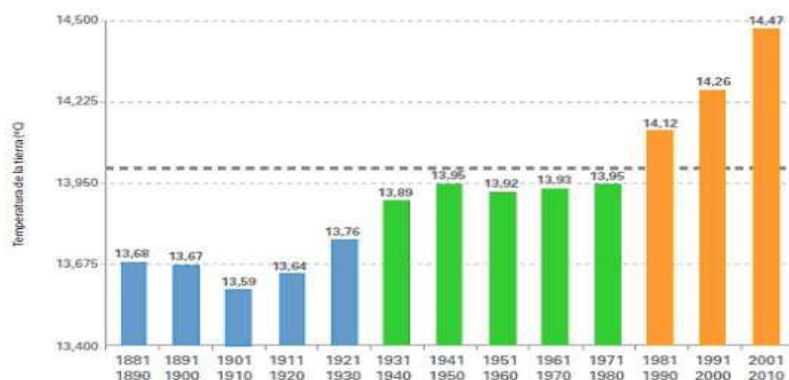
Al mateix temps, la contribució de la producció hidràulica va incrementar-se un 47,7% i la producció nuclear es va mantenir estable, així que la necessitat de producció d'electricitat amb gas natural en els cicles combinats es va veure clarament reduïda. [6]

## 2. L'escalfament global

Podem definir l'escalfament global com l'increment gradual i progressiu de la temperatura de l'atmosfera i els oceans. Aquest canvi climàtic, principalment generat per l'efecte hivernacle i els seus gasos corresponents GEH (Gasos d'Efecte Hivernacle) està començant a esdevenir una realitat, ja que en moltes zones ja han començat a aparèixer algunes de les conseqüències que això comporta.

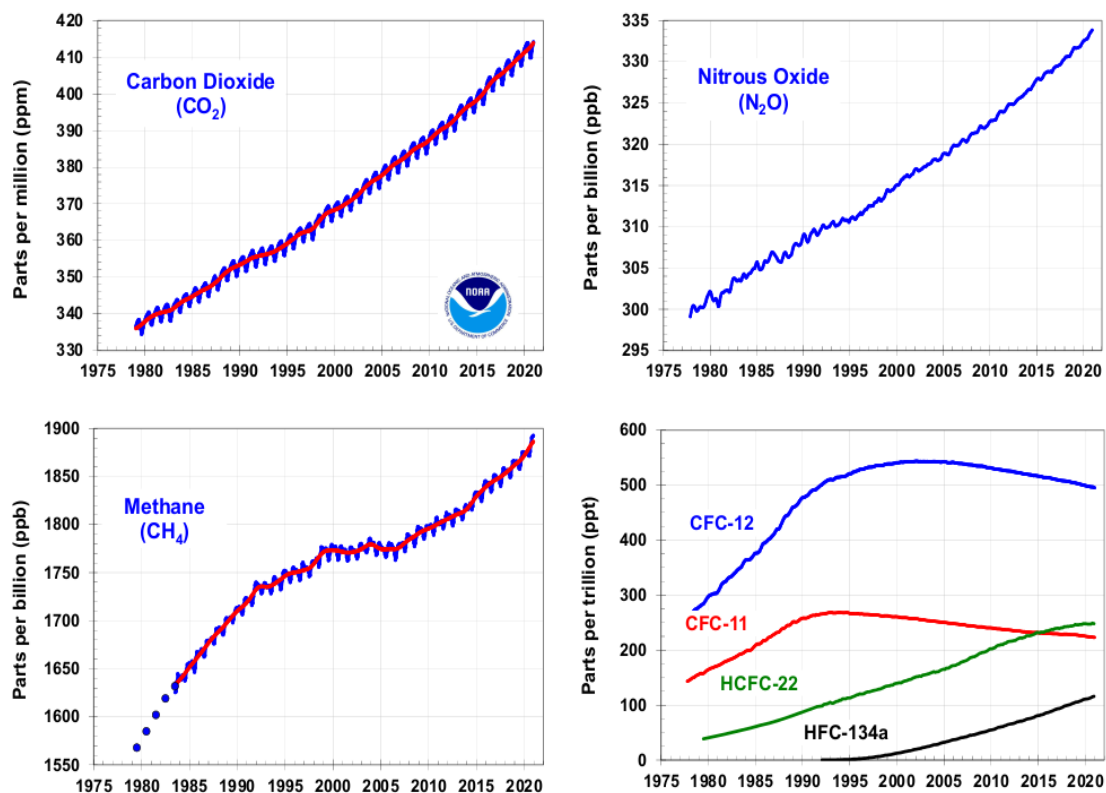


**Gràfic 3.** Variació l'increment de la temperatura terrestre i oceànica en funció del temps estudiada el gener de cada any des de 1880-2021



**Gràfic 4.** Variació de la temperatura terrestre en graus Centígrads en funció del temps 1881-2010.

Aquests gasos són el diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ ), el metà ( $\text{CH}_4$ ), l'òxid de dinitrogen ( $\text{N}_2\text{O}$ ), els hidrofluorcarburs (HFC), els perfluorcarburs (PFC), l'hexafluorur de sofre ( $\text{SF}_6$ ), el trifluorur de nitrogen ( $\text{NF}_3$ ), l'ozó de superfície ( $\text{O}_3$ ) i els gasos clorofluorcarburs (CFC) entre d'altres. A partir del **Gràfic 5**, podem observar com alguns dels GEH més importants han augmentat considerablement des de 1975 fins l'actualitat, com n'és el diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ ), el monòxid de dinitrogen ( $\text{N}_2\text{O}$ ), el metà ( $\text{CH}_4$ ) o els gasos clorofluorcarburs (CFC).

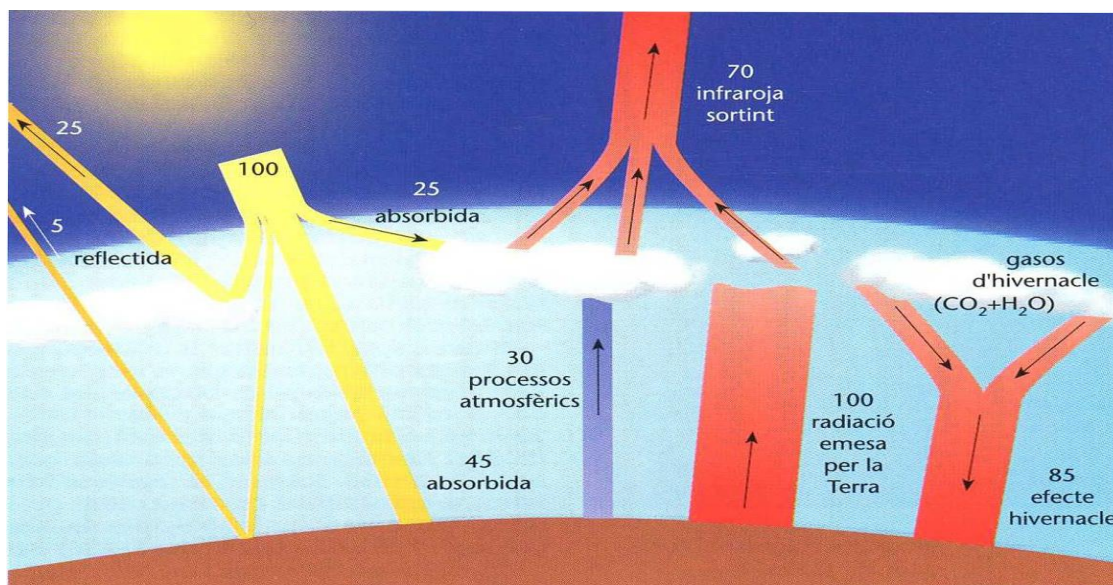


**Gràfic 5.** Augment dels GEH més importants ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ , CFC, HCFC, HFC) des de 1975-2020 en parts per milió

**L'efecte hivernacle** és un procés natural, que a partir d'uns gasos determinats (GEH) la Terra ha mantingut una temperatura estable apta per a la vida humana. Aquest consisteix principalment en el fet que, quan els rajos ultraviolats del sol penetren l'atmosfera i entren en contacte amb la terra, aquesta els absorbeix, i els reemet en totes direccions amb una freqüència diferent (rajos infrarojos). D'aquesta manera, els rajos solars poden entrar, però no sortir, ja que tenen característiques diferents que abans, i els gasos GEH els ho impedeixen. Aquest fenomen va aparèixer amb el



vulcanisme durant la formació de l'atmosfera primitiva, i ha anat oscil·lant de forma natural al llarg de la història, però actualment es troba al seu pic més alt mai registrat anteriorment degut a les grans emissions anuals de CO<sub>2</sub> per països i indústries. [7]



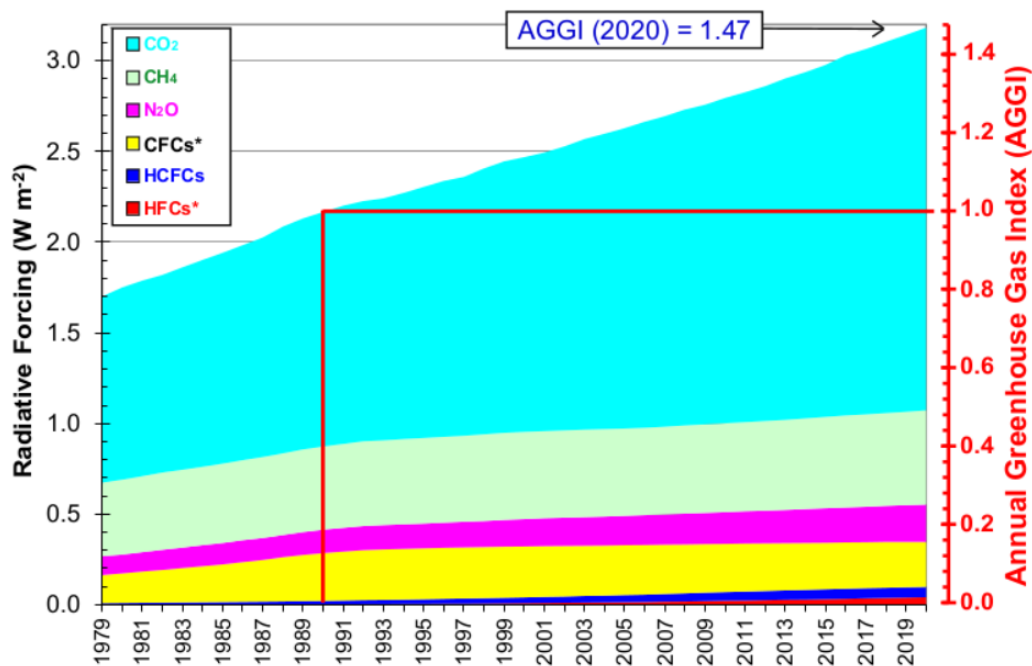
**Figura 4.** Funcionament i fases de l'efecte hivernacle

## 2.1 Situació actual

De fet, segons els estudis de l'OMM, des de 1990, hi ha hagut un augment del 45% en el balanç de radiació<sup>5</sup> total a causa dels gasos d'efecte hivernacle de llarga durada (quatre cinques parts d'aquest augment es deuen al CO<sub>2</sub>) tal i com es veu al **Gràfic 6**. Tot i així, tal i com ens indica la imatge, també n'hi ha molts d'altres que, tot i trobar-se en menor quantitat, també contribueixen a l'escalfament global. Aquests són l'agrupació "CFC \*" que inclou el CCl<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>CCl<sub>3</sub> i Halons, però els CFC representen la majoria (95% el 2020) d'aquest forçament radiatiu. L'agrupació "HCFC" inclou els tres productes químics més abundants (HCFC-22, HCFC-141b i HCFC-142b). L'agrupació "HFC \*" inclou els HFC més abundants (HFC-134a, HFC-23, HFC-125, HFC-143a, HFC-32, HFC-152a, HFC-227ea i HFC-365mfc) i SF<sub>6</sub> per completar-los.

<sup>5</sup> **Balanç de radiació:** diferència entre la insolació absorbida per la Terra i l'energia que aquesta irradia de tornada a l'espai





**Gràfic 6.** Forçament radiatiu, en relació amb el 1979-2019, de pràcticament tots els gasos d'efecte hivernacle de llarga vida. A l'eix dret es mostra l'índex anual de gasos d'efecte hivernacle (AGGI) NOAA, que està indexat a 1 per a l'any 1990.

Per assolir l'objectiu d'aturar l'escalfament global en 2° C, entre 2020 i 2030 les emissions mundials haurien de reduir prop d'un 3% cada any, i per assolir l'objectiu de mantenir l'escalfament global en 1,5 ° C, haurien d'aconseguir reduccions anuals mitjanes superiors al 7%. [8]

L'**Acord de París** va ser el primer acord universal i jurídicament vinculant sobre el canvi climàtic, adoptat en la Conferència sobre el Clima de París (COP21) que va entrar en vigor el 4 de novembre de 2016. Va ser la UE i els seus 28 estats, juntament amb 162 estats més, els que van establir aquest acord i van acceptar les seves condicions. A més dels objectius que es van comprometre a assolir, gràcies a aquest acord, el govern de la UE també va acceptar seguir una sèrie de normatives de transparència, com la de reunir-se cada cinc anys per avaluar el progrés col·lectiu cap als objectius a llarg termini i informar les parts sobre l'actualització i millora de les seves contribucions determinades a escala nacional. També es van comprometre a avaluar els avenços cap al compliment dels seus compromisos en virtut de l'Acord mitjançant un sòlid

mecanisme de transparència i rendició de comptes. Els principals objectius d'aquest acord eren:

1. Limitar l'augment d'1,5 °C, el que reduiria considerablement els riscos i l'impacte del canvi climàtic.
2. Assolir el màxim d'emissions globals en un període de temps curt, tot i la dificultat que això pot suposar pels països en desenvolupament.
3. Realitzar reduccions ràpides de GEH per aconseguir un equilibri entre les emissions i les absorcions en la segona meitat de segle.
4. Reforçar la capacitat de les societats per afrontar les conseqüències del canvi climàtic.
5. Oferir als països en desenvolupament una ajuda internacional a l'adaptació millor i més constant.
6. Evitar, reduir i atendre els danys i perjudicis deguts als efectes adversos del canvi climàtic.
7. Cooperar i millorar la comprensió, actuació i suport en diferents camps: sistemes d'alerta primerenca, preparació per a emergències i assegurança contra els riscos. [9]

El 28 de novembre de 2018, la Comissió va presentar la seva visió estratègica a llarg termini per a una economia pròspera en el **Codi normatiu de Katowice**, moderna i neutra des del punt de vista del clima d'aquí a 2050. Arran de les invitacions formulades pel Parlament Europeu i el Consell Europeu, la visió de la Comissió per a un futur climàticament neutre abastava pràcticament totes les polítiques de la UE i estava d'acord amb l'objectiu de l'Acord de París de mantenir l'augment de la temperatura global molt per sota de 2 °C i de prosseguir els esforços per mantenir-lo en 1,5 °C. l'any 2030 respecte als nivells de 1990 després de 20 hores de negociacions. Fins ara, la UE tenia marcat un objectiu d'almenys el 40%, però el Parlament Europeu reclamava que s'aconeguís el 60%. La negociació es va prolongar al llarg de tota la matinada, perquè alguns països no estaven contents amb les restriccions que se'ls aplicava, ja que consideraven que aquestes els farien perdre massa diners, com el cas de Polònia, la qual extreu la seva principal font d'energia del carbó.

De fet, el passat divendres 11 de desembre de 2020, els caps d'Estat i de Govern de la Unió Europea van acordar fixar en un 55% la seva posició negociadora per a la reducció d'emissions d'efecte hivernacle. Per altra banda, moltes ONG tampoc en van quedar contentes, ja que creien que el valor estipulat s'allunyava massa del 65% que havien sol·licitat. Així i tot, es considera que va ser un gran avenç per a la neutralització d'aquest gas, tal com es va prometre de cara a mitjans de segle. [10]

Durant el 2019, es va iniciar un segon projecte anomenat **Pacte Verd Europeu**, amb un pressupost d'un milió d'euros, el qual també té uns objectius fixats en el canvi climàtic i la reducció de gasos GEH. El pla d'accions del Pacte Verd Europeu és el següent:

1. Impulsar un ús eficient dels recursos mitjançant el pas a una economia neta i circular.
2. Restaurar la biodiversitat i reduir la contaminació.
3. Invertir en tecnologies respectuoses amb el medi ambient.
4. Donar suport a la indústria perquè innovin.
5. Desplegar sistemes de transport públic i privat més nets, més barats i menys contaminants.
6. Descarbonitzar el sector de l'energia.
7. Garantir que els edificis siguin més eficients des del punt de vista energètic.
8. Col·laborar amb socis internacionals per millorar les normes mediambientals mundials. [11]

Finalment la mesura de restricció de CO<sub>2</sub> més recent realitzada ha estat la d'aquest 15 de setembre a Catalunya, en la que s'ha començat a cobrar un impost per a les emissions de CO<sub>2</sub> dels vehicles de tracció mecànica. Aquest impost verd ha estat promogut per la fiscalia ambiental, i de fet els diners recaptats, els quals s'estima que seran entre 50 i 150 milions d'euros, seran destinats a la solució d'aquest mateix problema (obtenció d'energies renovables eficients. Aquesta taxa s'aplicarà a tots els cotxes de fins a 9 places que funcionin amb combustible emissor de CO<sub>2</sub>, a les furgonetes de fins a 3,5 tones, i a les motos que emetin més de 120 grams de CO<sub>2</sub> per

quilòmetre. Amb aquest nou impost, es pretén reduir considerablement les emissions de CO<sub>2</sub> ja sigui de forma directa (abonant diners per a la solució d'aquest) o indirecte (reduint l'ús de vehicles de tracció mecànica, els quals són un dels principals casos d'emissions de CO<sub>2</sub>). [12]

## 3. Conseqüències de l'escalfament global

### 3.1 Estimació d'Espanya el 2100

Aquest augment dràstic de les temperatures pot tenir greus conseqüències si no es frena a temps.

El principal efecte, i el que percebrem amb més facilitat serà el de l'augment de la temperatura en algunes zones geogràfiques determinades. S'estima que a finals de 2095, la temperatura haurà pujat entre uns 1,1 i 6,4 °C. Segons les gràfiques de temperatura a Espanya, durant el segle passat, es va augmentar 1,2° C al planeta, i els anys 2011, 2015 i 2017 van ser els anys més calorosos de tota la seva història.

Això, causarà canvis en el clima de cada territori, afectant negativament a l'agricultura i ramaderia, i accelerant el desgel dels glaciars situats als Pirineus. Actualment ja s'ha desfet més del 80% de les glaceres i s'estima que a inicis de 2050 s'hauran desfet tots els glaciars d'Espanya. De fet, de les 2060 hectàrees de glaceres que hi havia registrades a Espanya, ja només en queden 205.

*Els Pirineus és l'única serralada en tot el planeta on l'extinció del gel glacial es produirà en una única generació, la nostra. Mai en la història cap grup humà ha tingut ocasió d'observar, ni la capacitat de documentar i divulgar, com es desenvolupa una regressió tan contundent.*

*Jordi Camins, expert en glaciologia i membre del GECCC (Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya). [13]*

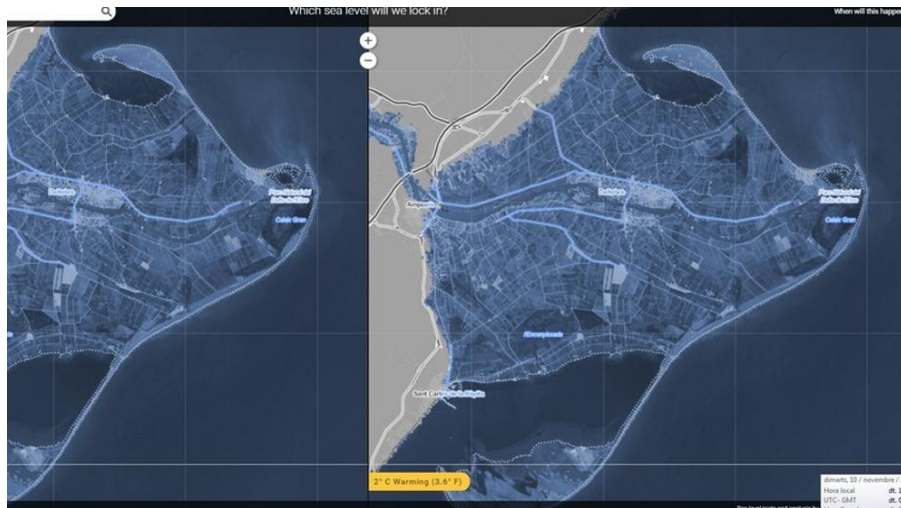


**Figura 5.** Evolució del desglaç glacial Mont Perdut. Imatge de la dreta feta el 1979 comparada amb la imatge de l'esquerra feta el 2011



**Figura 6.** Evolució del desglaç glacial Mont Taillon. Imatge de l'esquerra feta el 1924 comparada amb la imatge de la dreta feta el 2011

L'augment del nivell del mar està directament lligat amb el desglaç de les glaceres, el qual pot arribar a comportar un augment de prop de 70 cm de desnivell més a finals de 2100. Això pot comportar la desaparició de grans zones costaneres com la platja del Cantàbric, el delta de l'Ebre i del Llobregat o fins i tot posar en perill ciutats properes a la costa com Barcelona.



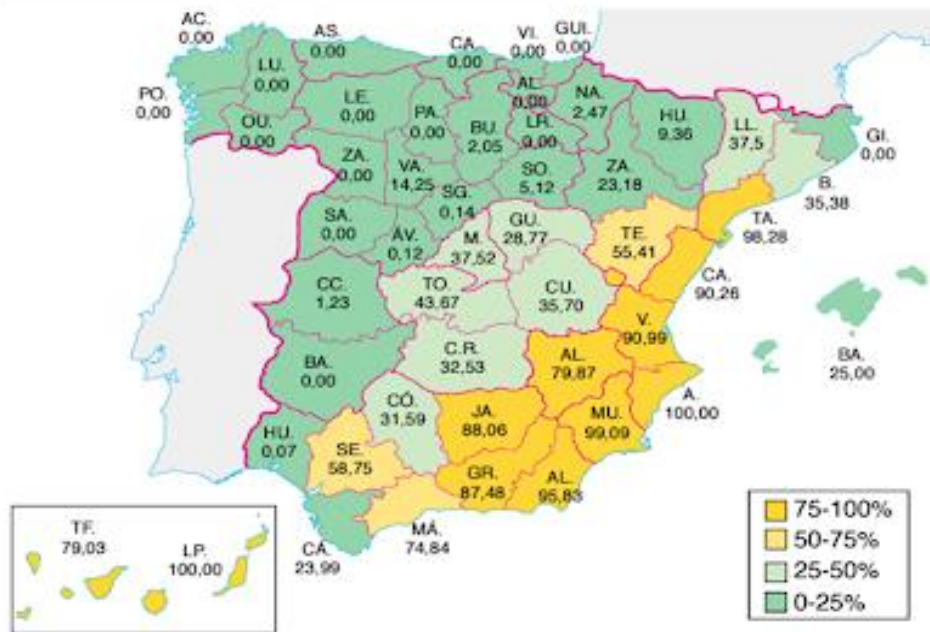
**Figura 7.** Estimació de la desaparició del Delta de l'Ebre a causa de l'augment del nivell del mar al 2100

En conseqüència al que acabem de comentar, és evident que es produirà una gran reducció a Espanya, ja que les zones costaneres hauran patit tant desaparicions del terreny com danys en les infraestructures i això afectarà en el turisme durant el període de calor. [14]

Són molts els científics que ja afirmen que superar els 1,5 °C comportarà un gran impacte a escala global, i que en el cas que s'assoleixin els 2 °C s'arribarà a un punt de no retorn. Es creu que si s'arriba a aquest punt les conseqüències climatològiques seran devastadores, on la tropicalització dels oceans comportarà un índex d'evaporació més alt i per tant l'augment de la nuvolositat. Això es tradueix en fortes tempestes, inundacions, temporals i nevades, tot i que simultàniament en altres zones també es produiran sequeres i onades de calor, juntament amb nombrosos incendis provocats per altes temperatures i propagats per zones seques. De fet, el 2005 va haver-hi l'huracà més fort registrat a la història, i el 2017 va ser la primera vegada que un huracà va tocar Europa.

Amb tot, durant el 2019 ja es van registrar 3 grans fenòmens meteorològics que van devastar part de la infraestructura a Espanya. Entre ells tenim La borrasca Elsa, L'Huracà Pablo, i el Temporal DANA, el qual va ser considerat com el 15è desastre climàtic del món d'aquell any.

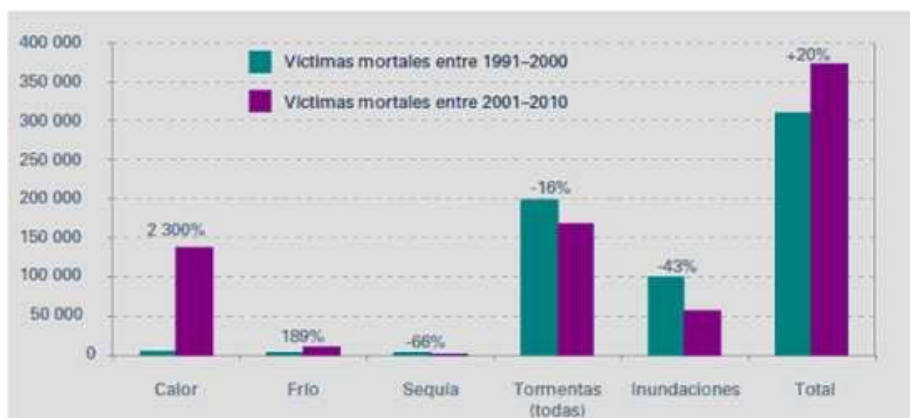
Un altre de les conseqüències més rellevants a la que ens haurem de sotmetre a causa del canvi climàtic és la desertització i empobriment de les zones àrides. S'estima que si la temperatura global segueix augmentant a principis de l'any 2090 la península Ibèrica serà com el Sàhara, segons la revista Science tot i que actualment el 20% de la Península ja es considera desert. De fet, set de les deu conques hidrogràfiques amb una sequera crònica major d'Europa es troben a Espanya, i gairebé el 75 % del territori espanyol està en risc de convertir-se en un desert a la fi de segle.



**Figura 8.** Percentatge de superfície amb risc de desertització a Espanya segons el Ministeri d'Ambient

A més, les elevades temperatures també comporten una taxa de malalties més elevada, on s'observa un augment considerable de malalties cardiovasculars i respiratòries. La contaminació de l'aire ja provoca fins a 30.000 morts prematures cada any i el clima tropical portarà noves malalties proliferades pel mosquit tigre i les paparres. A més, els fenòmens climatològics extrems que ja hem comentat anteriorment també suposaran un perill afegit, ja que tal com s'observa actualment aquests suposen la mort de centenars de persones a l'any. [13]

Tal com podem observar al **Gràfic 7**, la mortalitat entre els anys 1991 i 2000 ja ha augmentat fins a un 20% a causa dels fenòmens meteorològics provocats pel canvi climàtic tot i que s'estima que arribi a augmentar fins a un 292%. [15]



**Gràfic 7.** Comparació víctimes mortals entre els períodes 1991-2000 i el 2001-2010 a causa de la calor, el fred, les tempestes i les inundacions

**“**

*Amb l'augment de les concentracions de NO<sub>2</sub> i de l'ozó, sobretot a l'estiu, es magnifiquen els problemes en l'aparell respiratori o s'exacerben els casos d'Alzheimer i de Parkinson, segons han constatat més de 15 anys d'investigació al nostre centre. El major o menor creixement de la contaminació depèn del grau d'insolació i d'estabilitat atmosfèrica, si no plou ni hi ha vent, fa que romanguí més temps i s'acumula en l'aire, d'aquí la relació entre emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i la qualitat de l'aire.*

**Cristina Linares Gil**, Dpt. d'Epidemiologia i Bioestadística de l'Escola Nacional de Sanitat a l'Institut de Salut Carlos III i membre del grup d'experts per al Sisè Informe de IPCC sobre canvi climàtic

Pel que fa a l'agricultura, aquesta ja es veu afectada directament per l'augment de les temperatures i del nivell del mar. El canvi de temperatura produeix un canvi en el cicle de cultiu de moltes plantes i arbres, ja que la calor i el fred arriben més tard o més d'hora. Moltes plantes no són aptes per a suportar altes temperatures, i això comporta que se'n redueixi la producció. A més, l'excés de concentració de CO<sub>2</sub> en l'aire, provoca que alguns aliments perdin alguns nutrients, com és el cas del blat o l'arròs.

La falta de pol·linització d'insectes com les abelles també és un risc que pot tenir greus conseqüències i que actualment ja comença a existir, degut a l'augment de temperatures, l'abús de pesticides nocius o l'aparició d'espècies invasores.



Un canvi sobtat i permanent en el clima, farà que moltes espècies no siguin capaces de subsistir a les noves adversitats, i algunes s'extingiran i d'altres emigraran. Això provocarà en gran mesura la proliferació d'espècies foranes, i augmentarà la probabilitat de trobar espècies invasores.

Finalment també és molt important tenir en compte el problema que aquest escalfament suposarà per als oceans, els quals ja estan patint conseqüències des de fa cinquanta anys. Aquests són els que absorbeixen la major part de la temperatura causada pels GEH La migració d'espècies d'aigües fredes o la desaparició de les espècies més sensibles a aquest canvi com el corall, el plàncton o els crustacis ja és una realitat. [13]

És per tots aquests motius que la reducció del CO<sub>2</sub> i la resta dels GEH és imminentment necessària per a evitar canvi climàtic que produirà una catàstrofe en la humanitat.

## 4. Mètodes de reducció de CO<sub>2</sub> al Laboratori

### 4.1 Fermentació

La fermentació s'entén com la transformació que pateix la matèria orgànica sota l'acció d'enzims<sup>6</sup> segregats per microorganismes en un procés de naturalesa bioquímica. Té lloc en ambient anaeròbic<sup>7</sup> ja que no hi ha cadena respiratòria amb la degradació de la substància orgànica en compostos intermedis que actuen de donadors i acceptors d'electrons (procés d'òxid-reducció) on es produeix un alliberament d'energia.

Són pròpies dels microorganismes (llevats i bacteris), encara que alguna com la fermentació làctica, es pot dur a terme al teixit muscular dels animals quan no arriba prou oxigen a les cèl·lules.

---

<sup>6</sup> **Enzims:** substàncies orgàniques de natura proteica, que acceleren reaccions químiques amb funció de catalitzadors

<sup>7</sup> **Procés anaeròbic:** que no intervé en cap moment l'oxigen

La fermentació orgànica és un procés químic molt abundant tant natural com artificialment. Existeixen dos grans models de fermentació:

- **Fermentació alcohòlica:** és un procés biològic de fermentació on el piruvat<sup>8</sup> es transforma en etanol i es desprèn CO<sub>2</sub>. Durant aquest procés, els microorganismes processen els glúcids per a obtenir com productes finals: un alcohol en forma d'etanol, diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>) en forma de gas i unes molècules d'ATP que consumeixen els mateixos microorganismes en el seu metabolisme cel·lular energètic anaeròbic. L'etanol que es produeix s'utilitza per elaborar begudes alcohòliques com el vi, la cervesa, la sidra i moltes altres. Aquesta tècnica té altres utilitats, com la producció a gran escala de biocombustible, o la de llevat per a donar volum al pa, tot i que l'alcohol desapareix amb la cocció.

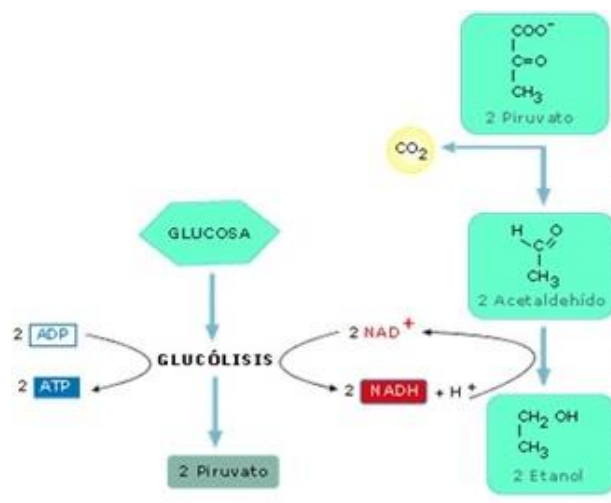


Figura 9. Procés de fermentació alcohòlica

**Fermentació làctica:** és un procés biològic de fermentació on el piruvat es transforma en lactat<sup>9</sup>. La realitzen alguns bacteris que fermenten la llet, tot i que també la poden dur a terme les cèl·lules musculars quan no reben suficient oxigen (a causa d'un exercici intens i llarg, per exemple).

[16]

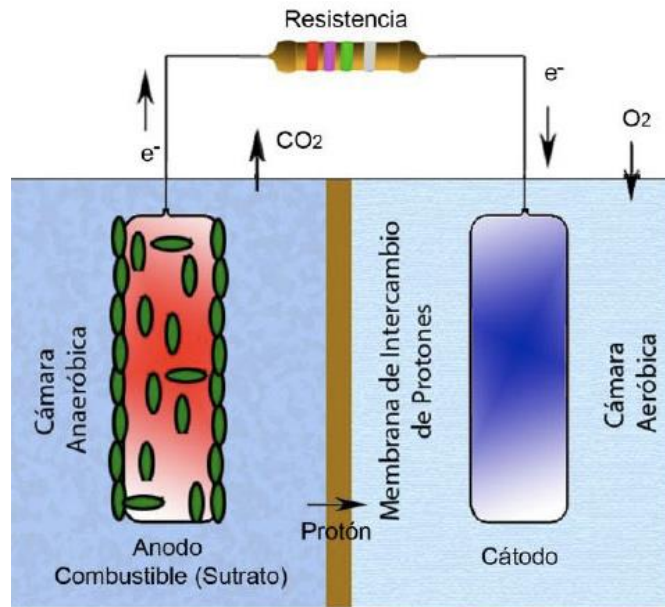
<sup>8</sup> **Piruvat:** metabòlit clau en diverses vies metabòliques derivat de l'àcid pirúvic

<sup>9</sup> **Lactat:** forma ionitzada de l'àcid làctic amb nomenclatura àcid 2-hidroxi-propanoic ( H<sub>3</sub>C-CH(OH)-COOH)

## 4.2 Cel·les de combustible microbianes

Les cel·les de combustible microbianes o sistemes bioelectroquímics, es poden definir com una reacció de reducció o oxidació catalitzada per microorganismes elèctricament actius.

Estan típicament formades per dues cambres separades, generalment per una membrana i unides a una font d'electricitat. Com tota cel·la electroquímica (veure a la pàg: II d'annexos), el sistema consta d'un càtode i un ànode. Existeixen diverses configuracions possibles. Totes les existents consten d'almenys una cambra anaeròbia i una bio-enriquida, és a dir, amb un cultiu microbiològic. La configuració estudiada consta d'un ànode abiòtic, en què es dona una reacció d'oxidació i un biocàtode anaeròbic, separats per una membrana d'intercanvi catiònic (MIC). A la cambra anaeròbica es col·loca un elèctrode, i en l'aeròbica un altre. Un cop comença el procés d'oxidació reducció, els electrons són despresos en la cambra anòdica, captats per l'ànode i enviats per un sistema de corrent extern a la càmera catòdica. A l'ànode s'hi dona l'oxidació de l'aigua, coneguda com a "water splitting", obtenint així oxigen i protons ( $H^+$ ), generant-se un flux d'electrons a través del sistema elèctric cap al càtode. Alhora, els protons, en ser un catió, tenen la capacitat de travessar la membrana cap al càtode. Al càtode ocorre la producció d'hidrogen a partir de protons de manera biòtica i abiòtica (veure informació  $H_2$  a l'annex). A més, també s'hi dona la reducció biològica de carboni inorgànic (en forma de  $CO_2$ ) a compostos orgànics (p.ex. àcid acètic). De la mateixa manera, a la cambra anòdica es produeixen protons mentre que en la càmera catòdica es consumeixen protons. D'aquesta manera, els elements situats a la cambra anòdica són els agents reductors, ja que en oxidar-se perden electrons formant cations amb un nombre d'oxidació major, mentre que els que estan situats a la càmera catòdica són els agents oxidants, ja que en reduir-se guanyen electrons i per tant el seu nombre d'oxidació baixa i es formen anions. Això es deu al fet que, quan una substància s'oxida, cedeix els seus electrons, provocant que els elements que s'enllacin amb ell guanyin electrons i per tant es redueixin. És per això que quan una substància s'oxida s'anomena reductora, i quan una substància es redueix s'anomena oxidant.



**Figura 10.** Composició d'una pila bioelectroquímica i funcionament esquemàtic

En el cas estudiat es tracta d'un procés completament anaeròbic, i l'agent reductor seria l'aigua que es troba en l'ànode. A més, els microorganismes també necessiten fonts d'energia que extreuen d'alguns aliments com el Clorur d'Amoni ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), el Clorur de Magnesi ( $\text{MgCl}_2$ ) o el Diclorur de Calci ( $\text{CaCl}_2$ ), els quals es troben en el medi líquid sintètic que s'utilitza en els sistemes. Per altra banda, els agents oxidants serien l'hidrogen produït *in-situ* i el  $\text{CO}_2$ , que en patir aquest procés de reducció es transforma en àcid acètic ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), que pot trobar-se dissociat en forma d'acetat ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) al medi. Posteriorment pot donar-se la formació d'etanol a partir de la reducció de l'acetat. A més, en proporcionar més  $\text{CO}_2$  i etanol a l'acetat que s'ha format (o en afegir acetat i etanol a l'acetat format) als microorganismes, aquests són capaços de formar compostos més complexos i de cadenes més llargues (de 4 o fins i tot 6 carbonis) per mitjà d'una subseqüent fermentació. Així i tot, aquest procés només es pot dur a terme en alguns casos, i sota unes condicions molt específiques. Aquest procés es coneix com a "chain elongation" o "elongació de cadena" les quals són més energètiques i tenen un valor afegit al mercat. Durant aquesta fermentació, que també es produeix de forma anaeròbica, se subministra diòxid de carboni en poca quantitat (20 %) juntament amb l'hidrogen (80 %), que s'utilitza com a font de poder reductor. [17]

## 5. Objectius

De forma genèrica, l'objectiu del meu TdR consisteix en reduir la quantitat de CO<sub>2</sub> present a l'atmosfera, a partir d'un procés de fermentació anaeròbic. L'experiment es produirà mitjançant microorganismes obtinguts a partir d'un procés de fermentació i d'un sistema bioelectroquímic, per tal d'obtenir compostos d'elevat valor afegit com l'àcid caproic o el butíric. Aquest objectiu general es concreta en els següents objectius:

- Entrevistar a la Srta Meritxell Romans estudiant pre-doctoral que fa recerca en la mateixa línia d'investigació.
- Dissenyar les condicions experimentals idònies per tal que tingui lloc la reducció del CO<sub>2</sub> a partir de la fermentació.
- Observar com evolucionen els cultius al llarg dels 15 dies d'experimentació.
- Analitzar el creixement i producció dels microorganismes al llarg de dues setmanes i posteriorment fer-ne un estudi dels diferents compostos formats.
- Comparar l'activitat dels 2 inòculs extrets, un d'un fermentador i l'altre d'un sistema bioelectroquímic.
- Contribuir en la recerca de mesures de reducció del CO<sub>2</sub> a l'atmosfera a nivell industrial així com afavorir el desenvolupament d'energies renovables.
- Publicació dels resultats al congrés internacional "5th European Meeting of the International Society for Microbial Electrochemistry and Technology (EU-ISMET for the society)" .

Per donar resposta als objectius plantejats, he tingut l'oportunitat d'accedir al laboratoris del LEQUIA (Laboratori d'Enginyeria Química i Ambiental de la Universitat de Girona) on he pogut aprendre moltes coses sobre un dels projectes en els quals actualment estan fent recerca, que consisteix en la descomposició/elongació de la cadena del CO<sub>2</sub>.

# BLOC EXPERIMENTAL

## 6. Abans de començar

El passat dijous 18/02/2021 vaig tenir el 1er contacte amb el Dr. Narcís Pous Rodriguez per via meet, un investigador post doctoral del LEQUIA-UdG especialitzat en enginyeria química i membre del grup de recerca del LEQUIA. La finalitat de la reunió online amb el Dr. Pous era la de fer-me una breu explicació dels projectes que duen a terme al laboratori del LEQUIA relacionats amb el tractament i reducció de CO<sub>2</sub> a partir de microorganismes i em va ensenyar en què consistia el procés. Des del primer moment em va semblar molt interessant el projecte i vaig començar a indagar en el tema.

Uns mesos més tard, després d'informar-me correctament, vam fer una visita presencial als laboratoris LEQUIA "de la mà" del Dr. Narcís Pous. La finalitat d'aquesta visita guiada pels laboratoris, va ser la de que m'ensenyés exactament com es duen a terme aquests projectes, amb quins aparells es treballava i en què consistia el procés de conversió de CO<sub>2</sub> en altres compostos amb més valor afegit. Jo em vaig interessar especialment en el mètode de conversió de CO<sub>2</sub> en àcid butíric i caproic els quals són cadenes de carbonis amb un valor afegit al mercat que s'obtenen a partir de la fermentació microbiana del CO<sub>2</sub>, l'àcid acètic i l'etanol. Aprofitant la visita als laboratoris, el Dr. Narcís Pous em va presentar la Srta. Meritxell Romans, una investigadora pre-doctoral que va estar disposada a resoldre tots els dubtes que tenia sobre el tema de fermentació microbiana de CO<sub>2</sub>, així com permetrem fer-li una entrevista sobre la seva experiència en aquest àmbit.

Així que a la següent visita al LEQUIA vaig poder entrevistar a la Srta Meritxell Romans, que em va proporcionar tots els consells i informació obtinguda en la seva experiència personal respecte el tema tractat. (veure entrevista a la pàg: III d'annexos)

Abans de començar a explicar el treball experimental pròpiament dit, he fet un apartat de materials i mètodes on s'expliquen els procediments experimentals que he dut a terme al llarg del treball de camp.

## 6.2 Materials, mètodes i reactius

Els materials que es van utilitzar per aquest experiment van ser:

- Matràs aforat de 1L
- Balança
- Embut
- Espàtula
- Mosca (agitador magnètic)
- Vials
- Retolador permanent
- Micropipeta (10 ml)
- Sistema de vàlvules a pressió de CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>,
- Xeringa amb capacitat màxima 5 ml

### Preparació de l'aliment mielític

Es va partir d'una base d'aigua destil·lada, en la que es va dissoldre els diferents components que utilitzarien els bacteris per nodrir-se i créixer al llarg de les dues setmanes que va durar l'experiment. Aquests van ser: 1 g de clorur d'amoni, 0,1 g de clorur de potassi, 0,2 g de dihidrogenfosfat de potassi, 0,2 g de clorur de magnesi, 0,8 g de clorur de sodi, 0,02 g de diclorur de calci, 1 ml de vitamines, i 1 ml de traces

metàl·liques. Es van afegir uns 200 ml aproximadament d'aigua destil·lada al matràs (de V=1L) per anar dissolent els elements, i amb una

balança i un recipient es van anar pesant els diferents components prèviament calculats i es van anar afegint al matràs amb l'ajut d'un embut i més aigua



**Figura 11.** (pròpia) Balança amb la que es van realitzar els pesatges

destil·lada. Mentre es feia, es va col·locar una mosca a l'interior del matràs i es va situar al damunt d'un agitador magnètic.

Tot seguit, amb l'ús d'una micropipeta mil·limetrada, es va afegir 1 ml de vitamines i 1 ml de traces metàl·liques i llavors es va enrasar amb aigua destil·lada fins a arribar a la marca d'1 l del matràs tenint en compte el menisc.

### ➤ **Espectrofotòmetre (densitat òptica)**

Aparell utilitzat per a la mesura de la densitat òptica, a partir de l'emissió de feixos de llum a diferents longituds d'ona, per tal de que els elements que s'estudiïn l'absorbeixin i d'aquesta manera poder-ne extrapolar la quantitat i la concentració.



Figura 12. (pròpia) Espectrofotòmetre

### ➤ **Conductímetre (conductivitat elèctrica)**

El funcionament intern del conductímetre, consisteix a crear un camp elèctric i estudiar-ne la resistència elèctrica, i tot seguit efectuar els càlculs necessaris per mostrar la conductivitat elèctrica que li correspon.



Figura 13. (pròpia) Conductímetre



### ➤ PH-metre (grau d'acidesa)

La determinació de pH per part de l'aparell consisteix a mesurar el potencial que es desenvolupa a través d'una fina membrana de vidre que separa dues solucions amb diferent concentració de protons. En conseqüència es coneix molt bé la sensibilitat i la selectivitat de les membranes de vidre durant el pH.

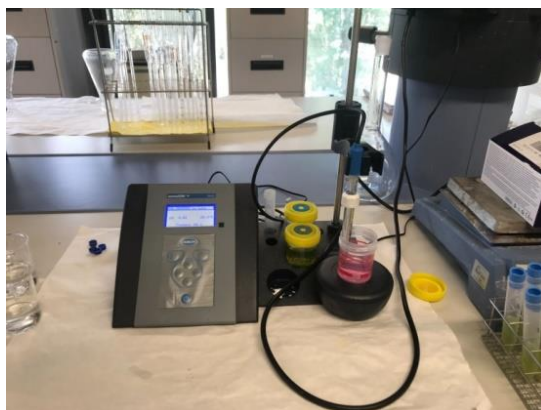


Figura 14. (pròpia) PH-metre

### ➤ Cromatògraf de gasos (anàlisi de concentració de gasos)

El funcionament d'aquest aparell, consisteix en mesurar el temps que triga el compost a entrar en combustió; com més temps duri la combustió de més quantitat de compost disposarem. El gas passa per un circuit, i el temps que tarda a recórrer el circuit s'anomena temps de retenció, i és el que s'utilitza per a denominar quins compostos hi ha.

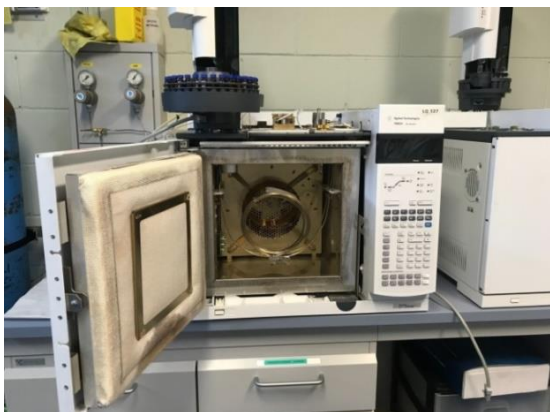


Figura 15. (pròpia) Cromatògraf de gasos a partir d'un líquid/gas



Figura 16. (pròpia) Cromatògraf de gasos a partir d'un gas (micro- GC)

➤ **Manòmetre (regula la pressió dels gasos)**

Aparell utilitzat per a l'estudi de la pressió d'un fluid (líquid o gas) que disposa de dos tubs, els quals comparen la pressió de l'exterior i la de l'interior del recipient.

➤ **Capsulador (tancar hermèticament els vials)**

Material utilitzat per a capsular els vials i tancar-los hermèticament. El funcionament del capsulador consisteix a aplicar força a les manetes, i d'aquesta manera produir la força necessària per comprimir els taps i ajustar-los a la sortida dels vials.

➤ **Agitador orbital tancat (mantenir mostres en moviment)**

Aparell que està en constant moviment per proporcionar les millors condicions a un experiment i que aquest es desenvolupi correctament. Se'n pot modificar la temperatura, la velocitat angular de rotació, la il·luminació, etc.



**Font 17. (pròpia)** Agitador orbital tancat utilitzat per proporcionar les condicions òptimes pel creixement bacterià.

# **7.Preparació i estudi de cultius bacterians**

## **7.1 Hipòtesi**

Els bacteris duren a terme un procés de conversió de diòxid de carboni, hidrogen, àcid acètic i etanol en àcid butíric i àcid caproic per mitjà d'una fermentació anaeròbia. Això es produirà a causa de l'alteració de la cadena de carbonis d'aquests elements, formant-ne de més llargs i més energètics. Durant aquest procés el cultiu microbià creixerà, a mesura que s'alimenta d'alguns elements dissolts en el medi sintètic prèviament preparat, els quals els serviran com a font d'energia.

## **7.2 Preparació dels fermentadors**

Per tal de crear els fermentadors es va partir de l'aliment mielític preparat prèviament (veure la preparació de l'aliment a la pàg: 30)

### **7.2.1 Ajust del pH de l'aliment mielític i addició dels substrats**

En primer lloc es va ajustar el pH per tal de crear un ambient òptim per al desenvolupament dels microorganismes amb un pH-metre (observar a pàg: 32). Un cop aquest va haver indicat el pH que era de 2,3 es va anar afegint una base concentrada (NaOH) per tal d'augmentar-ne el valor de pH fins arribar a un valor aproximat de 5,32. Aquest valor no tenia gaire importància, ja que com encara faltaven alguns elements per afegir, aquest hauria variat i s'hauria d'haver tornat a ajustar igualment.

Seguidament es van realitzar els càlculs pertinents amb un factor de conversió per tal de saber la quantitat necessària que s'havia d'afegir de substrats de C2 (àcid acètic i etanol a 100 g/l). L'objectiu, era obtenir una concentració d'1 i 3 g/l respectivament en la dissolució mare per mitjà d'una dilució que es va dur a terme amb una xeringa amb agulla a la punta. Els resultats va ser de 10 ml d'àcid acètic i 30 ml d'etanol que es van introduir al matràs.

$$1l \text{ solució.inicial} \cdot \frac{1g \text{ à. acètic}}{1l \text{ solució.inicial}} \cdot \frac{1l \text{ à. acètic}}{100g \text{ à. acètic}} = 0'01l = 10ml \text{ d'etanol}$$

$$1l \text{ solució.inicial} \cdot \frac{3g \text{ etanol}}{1l \text{ solució.inicial}} \cdot \frac{1l \text{ etanol}}{100g \text{ etanol}} = 0'03l = 30ml \text{ d'etanol}$$

En haver afegit un àcid, el pH de la dissolució es va desequilibrar un altre cop disminuint el seu valor, i per tant va haver de ser ajustat novament amb l'ajuda del pH-metre i de la mateixa base (NaOH) fins a aconseguir un valor aproximat de 7,23. L'única utilitat de la base en l'experiment va ser la d'augmentar el pH i neutralitzar la mescla, ja que no va interactuar en cap moment amb els microorganismes.

## 7.2.2 Inoculació fermentadors amb els microorganismes

Un cop es va finalitzar la preparació del medi sintètic al pH desitjat, es va prosseguir a distribuir-la en 4 ampolles d'un volum total de 120 mL juntament amb l'inòcul<sup>10</sup> corresponent amb una pipeta mil·limetrada. Aquests inòculs eren cultius mixtos rics en clostridis<sup>11</sup> els quals a causa de la seva pròpia adaptació a les condicions a les quals se'ls va sotmetre, tenien les característiques necessàries per al procés experimental.

Per tal de comparar els 2 inòculs dels que es disposava (un procedent d'un procés bioelectroquímico que es va marcar amb la *lletra B*, i un altre procedent d'un procés fermentatiu marcat amb la *lletra F*), es van dur a terme dos tests, cadascun per duplicat i degudament rotulats per tal de dur a terme una comparació de creixement/producció al cap d'unes setmanes.

---

<sup>10</sup> **Inòcul**: solució líquida enriquida amb un cultiu microbiològic que conté una gran quantitat de microorganismes

<sup>11</sup> **Clostridis**: ordre de bacteris de la família dels firmicutes



**Figura 18.** (pròpia) Inòculs obtinguts a partir d'un procés fermentatiu (esquerra) i d'un procés bioelectroquímic

El volum total de líquid del fermentador era de 50 mL, format per 45 mL de medi i 5 mL de inòcul (10 %). Al final es van tancar els vials amb septums de butil<sup>12</sup> i es van col·locar a la part superior volanderes<sup>13</sup> d'alumini per capsular-los<sup>14</sup>. Aquest darrer pas es va fer per tal d'aplicar la força necessària perquè els taps no saltessin a causa de la pressió interna dels gasos produïts justament durant el procés de fermentació.



**Figura 19.** (pròpia) Fermentadors utilitzats durant el procés experimental ordenats pel procediment d'obtenció dels seus inòculs amb les seves respectives rèpliques, juntament amb el capsulador i la solució mare

<sup>12</sup> **Septums de butil:** taps esponjosos utilitzats per a tapar vials que permeten el pas d'agulles dintre el vial sense haver-lo de treure

<sup>13</sup> **Volanderes:** element de muntatge amb forma de disc prim amb un forat al centre utilitzades com a dispositiu d'assegurança.

<sup>14</sup> **Capsular:** tancar hermèticament amb un capsulador en aplicar pressió a la part superior de les volanderes.

Finalment es va bombollejar els fermentadors amb  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2$  amb un sistema de vàlvules a pressió. En primer lloc, es van clavar dues agulles unides a una entrada i sortida de gas, i es van obrir les vàlvules perquè es produís un corrent que generés bombolleig. Tot seguit, es va tancar la sortida de la segona agulla, es va invertir els fermentadors i es va augmentar la pressió afegint gas a 1 bar de sobrepressió durant un període de temps d'uns quinze segons. Aquest procés es va repetir durant totes les jornades en les quals es va realitzar una anàlisi o mostreig, ja que d'aquesta manera es restablí la pressió inicial i permetia als bacteris seguir creixent.



**Figura 20.** (pròpia) Bombona de gas  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2$  utilitzada per bombollejar els fermentadors, amb un sistema de vàlvules per a regular la pressió.

En acabar es van guardar els fermentadors en un agitador orbital tancat (verure imatge pàg. ) on va quedar a una temperatura de  $37\text{ }^\circ\text{C}$  i un moviment rotatiu constant de 55 rpm.

### 7.3 Mesura/Recull de dades

Inicialment, es van programar 4 sessions per a la mesura de dades al llarg d'un mes (un cop per setmana), però per problemes de disponibilitat del laboratori al final només se'n van poder realitzar 2 (el recull de dades inicial i final, al cap de 15 dies).

En primer lloc es va mesurar la **densitat òptica (600 nm)** de cada mostra. Amb una xeringa mil·limetrada, es van extreure 5 ml per a cada mostra, i es van utilitzar uns 2,5 per a aquest estudi. Amb l'espectrofotòmetre, es va fer passar un feix de llum de 600nm per la mostra, per tal de que els microorganismes l'absorbissin i d'aquesta manera se'n pogués extrapolar la quantitat inicial i final en comparar les mostres del dia 1 i del dia 15. Un cop realitzada la mesura de



la densitat òptica, la solució líquida utilitzada va ser descartada, mentre que la resta es va filtrar amb filtres de nylon de porus 0,2 µm per a les següents anàlisis.

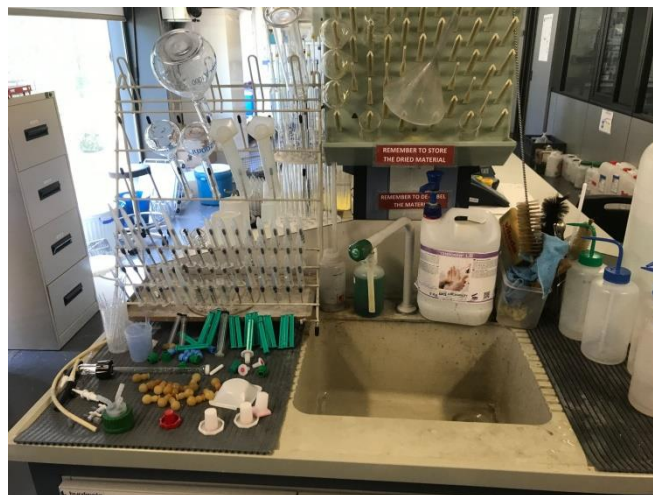
En segon lloc, se'n va mesurar la **conductivitat elèctrica** a partir d'un aparell de sonda anomenat conductímetre (veure pag: 31). Per fer-ho, simplement es va introduir dintre els tubs d'assaig la part final de la sonda on hi ha col·locat el sensor, i l'aparell va indicar el valor corresponent a cada mostra. A causa de problemes tècnics, només es va poder realitzar aquesta anàlisi el primer dia, ja que el segon estava en manteniment tècnic perquè no funcionava bé.

A continuació es va mesurar el **pH de les mostres**, el qual havia variat en introduir els inòculs, i per fer-ho es va utilitzar novament el pH-metre. Aquest cop sí que va ser necessari calibrar-lo, i per fer-ho, es van utilitzar dues substàncies de pH 4 i 6 respectivament per fer de punts de referència de calibració. Per tal d'efectuar el recull de dades, el procediment va ser molt similar al de l'estudi anterior. Es va introduir el sensor de la sonda a l'interior dels tubs d'assaig i se'n va avaluar el pH un per un.

L'última propietat que es va analitzar de les mostres van ser els **àcids grassos volàtils** per als quals es va utilitzar un aparell específic anomenat cromatògraf de gasos (GC) que constava d'un detector de flama ionitzada (FID). Per a fer-ho, es van preparar unes mostres concretes a partir d'1,5 ml de les que ja s'havien extret i d'altres compostos com 100 µl d'àcid ortofosfòric que es va utilitzar per ionitzar la dissolució i 85 µl d'un patró intern de referència per tal d'extrapolar la quantitat que s'havia format de compost.

Com que la durada d'aquesta anàlisi és molt llarga, no es va poder extreure els resultats el mateix dia que es va dur a terme la pràctica, sinó que van haver de ser recollits uns dies més tard a través de l'ordinador. Això va ser possible, ja que el mecanisme estava connectat a una xarxa d'internet que analitza directament els resultats del cromatograma on es van poder observar els compostos calibrats.

Finalment tot el material que es va utilitzar per a l'experiment va ser netejat amb aigua de l'aixeta i posteriorment aigua destil·lada per eliminar qualsevol impuresa que pogués afectar els experiments posteriors.



**Figura 21.** (pròpia) Zona de neteja de materials

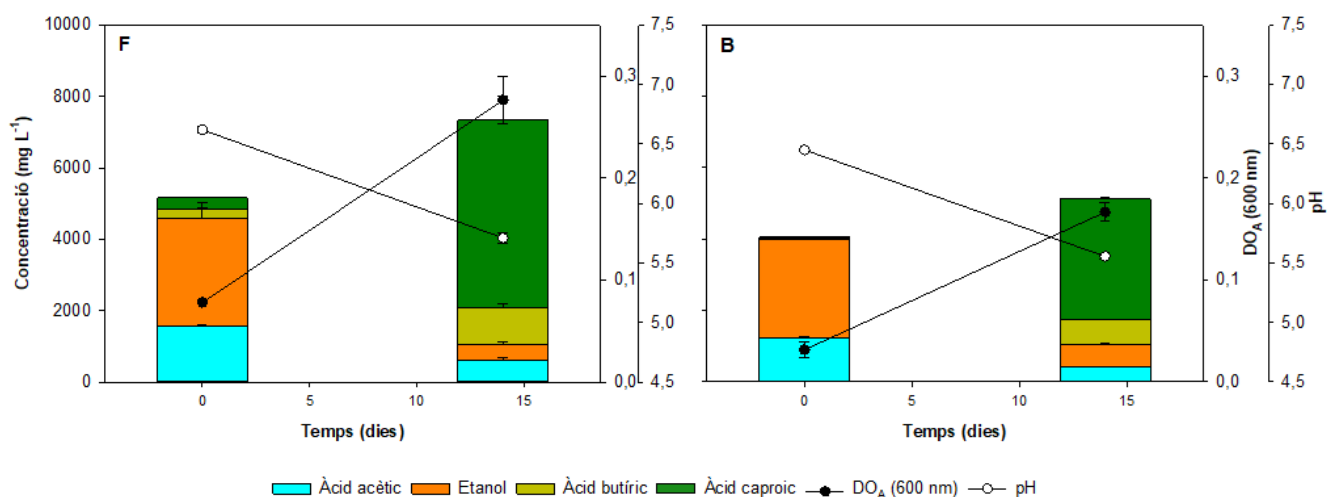
Aquest procés de recull de dades es va realitzar un total de dues vegades al llarg de dues setmanes per tal de dur-ne a terme un estudi complet del creixement i producció microbiana, tot i que en les posteriors jornades també se'n va estudiar els paràmetres dels nous gasos formats. Per a fer-ho, es va fer ús d'un nou aparell anomenat manòmetre, que va servir per determinar la pressió que hi havia als vials al llarg de les setmanes, i per tant va permetre extrapolar l'increment de la pressió produïda pels nous gasos formats.

En segon lloc, també es va necessitar un cromatògraf de gasos (micro GC), el qual va permetre a examinar la composició dels gasos de la mescla, així com determinar la quantitat que s'havia format de cadascun i en quina concentració ho havia fet. Per dur a terme aquest estudi, es va utilitzar una xeringa especial per a gasos, la qual disposava d'una vàlvula i d'un sistema molt precís per a mantenir el gas aïllat hermèticament de l'aire de l'exterior. Tot seguit es va introduir l'aire al cromatògraf, el qual el va purgar i posteriorment analitzar.



## 7.4 Resultats i anàlisis

Els resultats obtinguts durant aquest període de temps han estat els observats al **Gràfic 8** els quals corresponen a la mitjana dels duplicats. El primer gràfic correspon a la evolució del cultiu F (procedent d'un procés fermentatiu), mentre que el segon correspon a l'evolució del cultiu B (procedent d'un sistema bioelectroquímico).

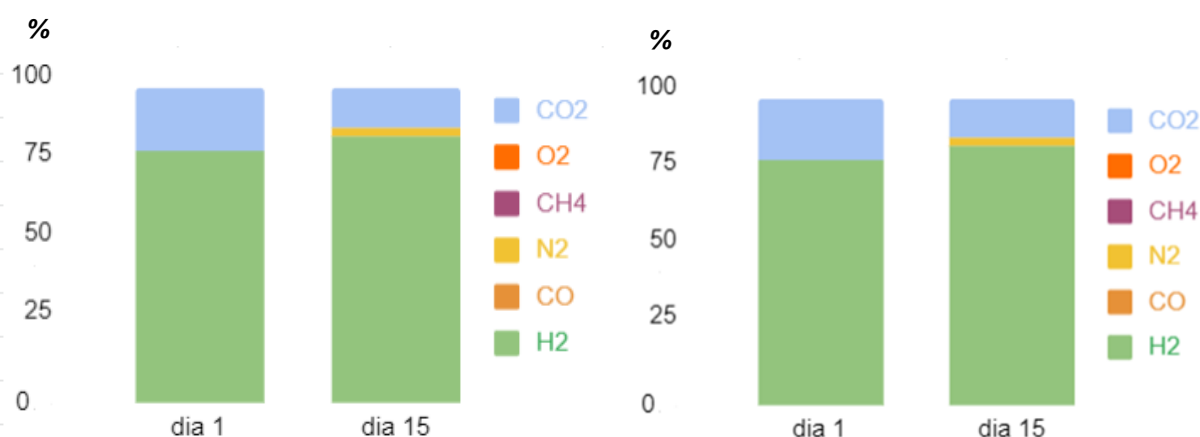


**Gràfic 8.** (propi) Resultats obtinguts durant el recull de dades dels fermentadors, que indiquen els elements inicials i finals i les seves proporcions, la variació del pH i la variació de la densitat òptica respecte el temps

En primer lloc, se'n pot destacar l'evident descens del pH en totes dues variants (de 6,62 a 5,71 al gràfic F i de 6,45 a 5,555 al gràfic B). Això, és principalment degut al procés de fermentació microbiana que s'ha dut a terme dins els fermentadors durant aquests quinze dies, on la producció d'àcids ha alterat el pH de la mescla disminuint-lo considerablement. Aquesta, és una clara evidència de l'èxit de la prova, ja que el fet de produir àcids de més valor afegit era un dels objectius principals.

Per altra banda, en podem observar l'augment de la densitat òptica, la qual passa de 0,078 a 0,276 mg/L en el vial F i de 0,0315 a 0,1665 mg/L al vial B. Aquest resultat s'adequa perfectament als valors esperats, ja que aquest increment de la densitat òptica ens confirma que el cultiu microbiana introduït amb els inòculs ha augmentat de la forma esperada.

Tot seguit, també podem observar que tant l'àcid acètic com l'etanol (C<sub>2</sub>) han disminuït de forma notòria. L'àcid acètic ha reduït unes tres vegades la seva densitat en tots dos casos, passant de 1555 mg a 597 mg en el cas 1, i de 1218 mg a 424 mg en el segon cas, mentre que l'etanol ho ha fet més de 6 vegades el seu valor en tots dos casos, tot i que en el segon una mica menys accentuat, passant de 2740 mg a 418 mg en el primer cas i de 2772 mg a 622 mg en el segon cas. Aquest fet es deu, a què aquests són els elements principals que necessiten els bacteris per a dur a terme el procés d'elongació de cadena mencionat anteriorment, per tal de formar cadenes més llargues com n'és l'àcid butíric (C<sub>4</sub>) o l'àcid caproic (C<sub>6</sub>). És per això, que podem observar com aquests dos darrers compostos augmenten la seva quantitat considerablement (sobretot el caproic, el qual és el més interessant energèticament per als micobacteris).



**Gràfic 9.** (propi) Variació i producció dels gasos dintre els fermentadors en tant per cent. A la dreta es troba la mitjana dels vials F, i a l'esquerra la dels vials B

A part de tots aquests elements nous formats, també n'ha obtingut la formació d'alguns gasos que s'han analitzat amb el cromatògraf de gasos. Els resultats obtinguts han estat els del **Gràfic 9**, els quals han estat pràcticament idèntics en tots dos fermentadors. Pel que es pot observar, s'ha produït un augment del l'hidrogen (H<sub>2</sub>) d'uns 25 mg, i una reducció del CO<sub>2</sub> de 5 mg en tots dos casos. També s'han produït altres elements en una proporció molt més reduïda (com el nitrogen, l'oxigen o el monòxid de carboni). (Per observar tots els valors obtinguts durant el procediment experimental veure l'excel adjunt al pendrive)

## 7.5 Conclusió experimental

Un cop finalitzat el procés experimental, i havent-ne extret els resultats corresponents, podem afirmar que aquest ha estat tot un èxit, ja que s'ha pogut apreciar de manera clarificadora com els bacteris han realitzat una conversió de diòxid de carboni, àcid acètic i etanol en àcid butíric i àcid caproic i hidrogen entre d'altres. Aquests resultats s'han correspost amb la hipòtesi inicial, la qual ens confirma que el procés de fermentació d'aquests elements per mitjà de bacteris produïts per processos de fermentació i per sistemes bioelectroquímics és un mètode factible i alternatiu per ajudar a pal·liar les emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera.

## 7.6 Aplicacions dels productes obtinguts

Un cop obtinguts els resultats dels anàlisis, s'han realitzat un estudi de les utilitats que tenen els compostos produïts, per tal de determinar l'eficiència de l'experiment en l'àmbit econòmic i social.

### 7.6.1 Àcid caproic

L'àcid caproic, també conegut com a àcid hexanoic (CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>COOH), és un derivat de l'hexà que consta de 6 carbonis. Es tracta d'un àcid gras que es pot classificar com un oli incolor i viscos, amb una olor molt peculiar i sovint desagradable. Podem trobar aquest element en major freqüència a l'oli de coco, ametlla de palma, llet de diferents mamífers o fins i tot en alguns greixos animals en poca quantitat a partir de fermentacions microbianes.

El seu ús principal, està destinat a la producció de resines alquídiques per a recobriments, tensioactius, perfums i aromes, sabons metàl·lics, lubricants, biocides i plastificants, entre d'altres.

## 7.6.2 Àcid Butíric

L'àcid butíric ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$ ) és el constituent principal i més dinàmic dels àcids grassos de cadena curta (AGCC)<sup>15</sup>, el qual té grans beneficis per a les patologies d'afecció intestinal. Es troba principalment en la flora intestinal, ja que és un àcid indispensable per al creixement de la flora bacteriana en canviar el pH de l'intestí. Es produeix en l'interior del colon a partir de la fermentació d'aliments. També té un gran nombre de beneficis respecte a la salut en l'àmbit nutricional, metabòlic i immunitari com la funció prebiòtica en l'organisme, la prevenció del càncer de còlon o la cura de malalties intestinals. A més, recentment han aparegut investigacions que apunten que aquest àcid també contribueixi a un millor metabolisme, intervenint així en malalties com la diabetis o l'obesitat, així com altres formes de síndromes metabòliques com la hipertensió i el colesterol alt. Finalment, en els darrers anys s'han realitzat estudis que relacionen aquest àcid amb el sistema nerviós, on se sap que és l'encarregat de protegir les neurones de malalties neurodegeneratives com el Parkinson, i afavorint les funcions cognitives, com la memòria o la resolució de problemes. A part de les aplicacions farmacèutiques, l'àcid butíric també és usat en la indústria química-industrial en ser transformat en combustible a través d'un procés d'esterificació<sup>16</sup>. Aquest és un dels usos més comercials que té aquest compost, ja que això permet tenir una nova font d'energia basada únicament en àcid butíric i el corresponent hidroxil que s'utilitzi en la reacció.

---

<sup>15</sup> **AGCC:** consoliden de la mucosa protectora de l'intestí i tenen la capacitat d'influir en els gens que regulen la proliferació cel·lular i el cicle cel·lular pel qual les cèl·lules es preparen per dividir-se i duplicar el seu ADN

<sup>16</sup> **Esterificació:** procés químic pel qual se sintetitza un èster, a partir d'un àcid carboxílic ( $\text{COOH}$ ) i un grup hidroxil ( $\text{OH}$ ). Aquests s'uneixen mitjançant un enllaç covalent anomenat enllaç estèric, on l'hidrogen ( $\text{H}$ ) de l'àcid carboxílic s'enllaça amb el grup alcohol ( $\text{OH}$ ) i formen una molècula d'aigua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) i amb els enllaços que queden lliures, es forma la nova molècula anomenada èster.

## **7.7 Publicació dels resultats obtinguts al congrés internacional.**

Per finalitzar el meu treball de camp al LEQUIA he tingut l'oportunitat de presentar els meus resultats experimentals al congrés internacional "5th European Meeting of the International Society for Microbial Electrochemistry and Technology" (ISMET) que es va dur a terme el passat 13-15 de setembre de 2021. La meua participació va ser la realització d'un petit vídeo casolà on explicava en anglès els resultats de la meua recerca en la reducció del CO<sub>2</sub> mitjançant un procés de fermentació anaeròbica a partir de microorganismes. L'experiència va ser molt positiva, i estic orgullós de poder haver pogut aportar el meu gra de sorra en un projecte actual d'investigació. (enllaç vídeo adjunt en un pendrive).

## **CONCLUSIONS**

El món de la ciència, és un món completament dinàmic en el que, constantment hi ha canvis, nous avenços, noves tecnologies i nous descobriments per estudiar.

Amb la realització d'aquest treball s'esperava, per una banda investigar la influència que té el CO<sub>2</sub> a la Terra i alertar del perill que aquest comporta per al canvi climàtic.

Pel que s'ha vist al bloc teòric, la producció d'aquest gas és pràcticament inevitable, ja que intervé en moltes de les reaccions químiques quotidianes i necessàries perquè l'estil de vida actual dels humans es mantingui, i això no es pot produir sense emissions de CO<sub>2</sub> antropològiques. A més, tal i com s'exposa als apartats 2 i 3, si aquest augment d'emissions no s'atura, provocarà danys irreversibles, que poden tenir desencadenants catastròfics en el clima terrestre.

És per aquest motiu, que la segona part del treball va destinada a la recerca d'un nou mètode per a la reducció de CO<sub>2</sub> on s'observa que sí que és factible la reducció d'aquest gas a partir de reaccions químiques com la de fermentació. A més, tot i ser un projecte relativament recent, també hem pogut constatar que és un dels objectius ambiciosos dels científics portar-lo a gran escala, tal i com

ens ha confirmat la investigadora pre-doctoral Meritxell Romans en la seva entrevista.

De fet, podem afirmar que el procés experimental ha estat tot un èxit, ja que ha complert amb totes les expectatives planejades a l'inici del treball:

- En primer lloc, he sigut capaç de dissenyar les condicions experimentals necessàries per al desenvolupament dels microorganismes en els fermentadors inoculats.
- He pogut entrevistar a l'estudiant pre-doctoral Meritxell Romans, qui m'ha proporcionat tota la informació necessària per a l'execució d'aquest experiment i que ha permès realitzar-lo amb la rigurositat necessària perquè aquest succeís.
- He realitzat un anàlisi exhaustiu dels fermentadors, on n'he estudiat la producció bacteriana tant dels compostos líquids (àcids) com dels gasosos (majoritàriament  $H_2$ ), la variació del pH, la densitat òptica, la pressió exercida pels gasos i la conductivitat elèctrica de partida.
- En realitzar una anàlisi comparativa dels dos fermentadors (el procedent de microorganismes fermentatius, i el procedent d'una pila bioelectroquímica) s'ha pogut constatar, que s'obtenen més productes de valor afegit (àcid capròic i butíric) al fermentador F, al igual que en la reducció de diòxid de carboni i àcid acètic.
- He tingut la possibilitat de publicar els resultats obtinguts al congrés de caràcter internacional "5th European Meeting of the International Society for Microbial Electrochemistry and Technology" (ISMET) realitzat el passat 13-15 de setembre online (vídeo adjunt al pendrive).

I finalment considero que aquest treball m'ha permès aportar el meu granet de sorra en un sector d'investigació relativament recent que encara està en curs de desenvolupament, i que necessita ser investigat amb urgència.

A més, la oportunitat que m'ha brindat l'equip de treball del LEQUIA m'ha servit per constatar que aquest és exactament el tipus de feina que m'agradaria tenir en un futur. Les característiques que aquest implica de constància, ambició i evolució en un projecte basat en la millora de l'estil de vida humana són precisament el que jo busco per a la meva dedicació professional.

# BIBLIOGRAFIA

## Índex de les fonts

### *Iconogràfiques*

#### **Figura 1 i Figura 2**

<https://www.xataka.com/ecologia-y-naturaleza/cuanto-co2-emite-un-volcan>

#### **Figura 3**

<https://www.diaridegirona.cat/dominical/2020/10/30/l-amazones-pitjor-mai-48637514.html>

#### **Figura 4**

<https://www.encyclopedia.cat/ec-gec-0233175.xml>

#### **Figura 5 i Figura 6**

<https://www.nieveaventura.com/2019/08/27/jaque-mate-a-los-glaciares-de-los-pirineos-por-el-calentamiento-global/>

#### **Figura 7**

<https://www.lavanguardia.com/natural/20170512/422517830331/eurodiputado-gambus-pide-amparo-resgresion-delta-ebro.html#foto-4>

#### **Figura 8** Ministeri de medi ambient

<http://morato2a.blogspot.com/2016/03/desertizacion-y-desertificacion-el-caso.html>

#### **Figura 9**

<http://biopili.weebly.com/fermentacions.html>

#### **Figura 10**

[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642013000600004](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642013000600004)

## *Gràfiques i estadístiques*

### **Gràfic 1**

<https://www.lavanguardia.com/natural/cambio-climatico/20201123/49644635062/la-concentracion-de-co2-bate-records-pese-al-confinamiento-por-la-pandemia.html>

### **Gràfic 2**

<https://cnnespanol.cnn.com/2019/05/13/hay-mas-co2-en-la-atmosfera-hoy-que-en-cualquier-otro-momento-desde-la-evolucion-humana/>

### **Gràfic 3**

<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202101>

### **Gràfic 4 i Gràfic 7**

OMM: Un decenio de fenómenos climáticos extremos - Agència Estatal de Meteorologia - AEMET. Govern d'Espanya

### **Gràfic 5 i Gràfic 6**

<https://gml.noaa.gov/aggi/aggi.html>

## *Taules*

### **Taula 1**

<https://www.ub.edu/ossma/medi-ambient/indicadors-ambientals/emissio-co2>



## Índex de pàgines Web:

[1] Javier Jiménez. *Cuánto CO<sub>2</sub> puede llegar a emitir un volcán*. [en línea] Xataka {última consulta: 10 setembre 2021} Disponible a:

<https://www.xataka.com/ecologia-y-naturaleza/cuanto-co2-emite-un-volcan>

[2] Carola Solé. *SOS Amazonas: la deforestación amenaza el pulmón del planeta*. Ara.cat {última consulta: 10 setembre 2021} Disponible a:

[https://www.ara.cat/internacional/sos-amazonas-deforestacio-amenaca-planeta\\_1\\_1759997.html](https://www.ara.cat/internacional/sos-amazonas-deforestacio-amenaca-planeta_1_1759997.html)

[3] Antonio Cerillo. *La concentración de CO<sub>2</sub> bate récords pese al confinamiento por la pandemia*. [en línea] La Vanguardia, última actualización 24/11/2020 {última consulta: 10 setembre 2021} Disponible a:

<https://www.lavanguardia.com/natural/cambio-climatico/20201123/49644635062/la-concentracion-de-co2-bate-records-pese-al-confinamiento-por-la-pandemia.html>

[4] James Griffiths. *Hay más CO<sub>2</sub> en la atmósfera hoy que en cualquier otro momento desde la evolución humana*. [en línea] Conclusiones con Fernando del Rincon, 13/5/2019 {última consulta: 10 setembre 2021} Disponible a:

[Hay más CO<sub>2</sub> en la atmósfera hoy que en cualquier otro momento desde la evolución humana | CNN](#)

[5] *Les emissions de CO<sub>2</sub> de les empreses puguen un 6,2% l'últim any*. [en línea] La Vanguardia 11/04/2018 {última consulta: 10 setembre 2021}. Disponible a: <https://www.lavanguardia.com/vida/20180411/442457723948/les-emissions-de-co2-de-les-empreses-pugen-un-62-lultim-any.html>

[6] *Emissió de diòxid de carboní*. [en línea] Universitat de Barcelona, Oficina de seguretat, Salut i Medi Ambient {última consulta: 10 setembre 2021} Disponible a:

<https://www.ub.edu/ossma/medi-ambient/indicadors-ambientals/emissio-co2>

[7] *Informe Mundial sobre el Clima*. [en línea] National Centers for Environmental Information, National Oceanic and Atmospheric Administration, gener 2021 {última consulta: 10 setembre 2021} Disponible a:

[Global Climate Report - January 2021 | National Centers for Environmental Information \(NCEI\) \(noaa.gov\)](#)

[8] *The NOAA annual greenhouse gas index*. [en línea] National Centers for Environmental Information, National Oceanic and Atmospheric Administration (AGGI) {última consulta: 10 setembre 2021} Disponible a:

[Laboratori Global de Monitoratge de la NOAA - ÍNDEX ANUAL DE GASOS D'EFECTE HIVERNACLE \(AGGI\) DE LA NOAA](#)

[9] *Acuerdo de París*. [en línea] Comisión Europea, Climate Action {última consulta: 10 setembre 2021} Disponible a:

[https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris\\_es](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es)

[10] Jaume Madeu/ Antonio Cerrillo. *La UE reduirà un 55% las emisiones de CO2 en 2030*. [en línia] La Vanguardia 11/12/2020 {última consulta: 10 setembre 2021} Disponible a:

[La UE reducirá un 55% las emisiones de CO2 en 2030 \(lavanguardia.com\)](https://www.lavanguardia.com)

[11] *El Pacte Verd Europeu*. [en línia] Gencat.cat, última actualització 08/06/2020 {última consulta: 10 setembre 2021} Disponible a:

<https://agaur.gencat.cat/ca/detalls/article/El-pacte-verd-europeu>

[12] Paula Clemente. *Entra en vigor el nou impost al CO2 per als conductors catalans*. [en línia] Ara.cat 01/09/2021 {última consulta: 10 setembre 2021} Disponible a:

[https://www.ara.cat/economia/entra-vigor-nou-impost-co2-als-conductors-catalans\\_1\\_4102188.html](https://www.ara.cat/economia/entra-vigor-nou-impost-co2-als-conductors-catalans_1_4102188.html)

[13] *Així ens afecta el canvi climàtic*. [en línia] Greenpeace 28-11-2018 {última consulta: 10 setembre 2021} Disponible a:

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

[14] *Piden el amparo de Europa para frenar la regresión del delta del Ebro*. [en línia] La Vanguardia 12/05/2017 {última consulta: 10 setembre 2021} Disponible a:

<https://www.lavanguardia.com/natural/20170512/422517830331/eurodiputado-gambus-pide-amparo-resgresion-delta-ebro.html#foto-4>

[15] *OMM: Un decenio de fenómenos climáticos extremos*. [en línia] Plan de recuperación, transformación y resiliencia 04/07/2013 {última consulta: 10 setembre 2021} Disponible a:

[OMM: Un decenio de fenómenos climáticos extremos - Agència Estatal de Meteorologia - AEMET. Govern d'Espanya](https://www.aemet.gub.es/omms)

[16] *Fermentació*. [en línia] Enciclopèdia.cat {última consulta: 10 setembre 2021} Disponible a:

<https://www.enciclopedia.cat/ec-gec-0108648.xml>

[17] Grupo de Investigación en Bioelectroquímica (BEQ). *Celdas de Combustible Microbianas (CCMS): un reto para la remoción de materia orgánica y la generación de energía eléctrica*. SciELO [en línia] {última consulta: 10 setembre 2021} Disponible a:

[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642013000600004](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642013000600004)

# ANNEX

## 1. Gas H<sub>2</sub>

El gas H<sub>2</sub> (dihidrogen) és una molècula diatòmica composta per dos àtoms d'hidrogen que a temperatura ambient es troben en estat gasos, inflamable, incolor i inodor al que en les últimes dècades se li han trobat múltiples aplicacions.

- Producció d'àcid clorhídric, combustible per a coets, i reducció de minerals metàl·lics.
- El dihidrogen líquid s'empra en aplicacions criogèniques<sup>17</sup> com a refrigerant, ja que és l'element amb major conductivitat tèrmica i la respectiva investigació de la superconductivitat.
- S'utilitzava com a gas per emplenar globus i zepelins en aprofitar la seva lleugeresa (la seva densitat correspon a un cinquè respecte a la de l'aire), tot i que es va deixar d'usar després del desastre de Hindenburg que va evidenciar el seu perill d'inflamació.
- Els seus isòtops tenen aplicacions tant en la fissió com en la fusió nuclear com en la producció de bombes d'hidrogen.
- Processament i refinament de combustibles fòssils en indústries petroquímiques
- Producció i síntesi de l'amoníac per mitjà del procés "*Haber-Bosh*"
- Realització de ressonàncies magnètiques nuclears en aprofitar la capacitat d'espín (moment angular intrínsec associat amb partícules microscòpiques estudiat en la mecànica quàntica) de la molècula dihidrogen homogèniament mitjançant ones de radiofreqüència.
- Ús sanitari i terapèutic, ja que presenta propietats antiinflamatòries i antioxidants, així com augmenta i activa la producció de substàncies antioxidants pròpies, neutralitza selectivament les espècies reactives d'oxigen, regulador del metabolisme energètic mitocondrial, reduir

---

<sup>17</sup> **Aplicacions criogèniques:** conjunt de tècniques utilitzades per refredar un material a la temperatura d'ebullició de nitrogen o a temperatures encara més baixes(-195,79 °C)

l'estrès del reticle endoplàsmic, regular el sistema immunitari i redueix la mort cel·lular. De fet, ja existeixen més de 500 publicacions científiques en l'àmbit biomèdic i més de 1.500 investigadors a nivell mundial explorant els seus efectes preventius i terapèutics en més de 300 malalties diferents.

- Ús com a combustible, combinant-lo elèctricament amb el dioxigen per produir energia dins d'un reactor anomenat *pila de combustible*.

## **2. Celles electroquímiques i electròlisi**

L'electròlisi és un procés en el qual se separen els elements d'un compost per mitjà de l'electricitat. Existeixen certes substàncies anomenades electròlits (àcids, hidròxids, sals i alguns òxids metàl·lics dissolts o fosos) que són elements que tenen la capacitat de conduir electricitat en dissociar-se en els seus respectius ions. A aquest fenomen se li denomina electròlisi i constitueix fonamentalment en un procés d'oxidació reducció que es desenvolupa "no espontàniament" (conjunt de transformacions que impliquen un augment d'energia lliure del sistema procedent d'una força d'energia externa)

Igual que en les piles electroquímiques, una reacció d'electròlisi pot ser considerada com el conjunt de dues mitges reaccions, una oxidació anòdica i una reducció catòdica. Quan connectem els elèctrodes amb una font d'energia (generador de corrent directe), l'elèctrode que s'uneix al born positiu del generador és l'ànode de l'electròlisi i l'elèctrode que s'uneix al born negatiu del generador és el càtode.

### **3. Entrevista a la Srta. MERITXELL ROMANS CASAS**

#### **Què has estudiat?**

Doble grau en biologia i biotecnologia i posteriorment un màster en ciència i tecnologia dels recursos hídrics

#### **A quina universitat?**

A la UdG

#### **Tenies pensat fer la tesi doctoral?**

Inicialment...no. Després de fer les pràctiques de màster, quan m'ho van oferir, vaig decidir quedar-me.

#### **Com has entrat al LEQUIA?**

Vaig entrar-hi a fer les pràctiques de la carrera (les segones, les primeres les havia fet en una empresa privada de recuperació de cèl·lules mare del cordó umbilical i la posterior criogenització). Tot i que era molt diferent del que havia fet anteriorment, em va agradar molt.

#### **Per què el LEQUIA i no un altre departament?**

Vaig entrar-hi perquè en Sebastià Puig em va animar quan va ser el meu professor. M'hi vaig quedar perquè em va encantar veure que la ciència era molt més aplicable a la indústria del que em pensava i vaig veure que la meua investigació realment podia tenir un impacte en el món real, no només en la ciència bàsica.

#### **En quins projectes has treballat al LEQUIA?**

He treballat en diversos projectes, tots relacionats amb la re-valorització del CO<sub>2</sub> (formació de compostos orgànics d'elevat valor afegit). Els projectes s'anomenaven: DigesTake (projecte català del RIS3CAT), BioReCO2Ver (projecte europeu) i COOMET (projecte Espanyol).

#### **I actualment?**

Actualment estic immersa de ple en el projecte COOMET.

#### **Quins resultats esperes obtenir?**

Difícil de dir. Espero ser capaç de produir compostos cada vegada més allongats (i per tant més energètics i més valuosos). També espero ser capaç d'obtenir un cultiu suficientment robust i resistent per tal que aguanti alteracions en les condicions d'operació (per exemple, el pH) quan vulgui produir alcohols

(en lloc d'àcids), ja que són molt més valuosos i a més son considerats precursors de biocombustibles.

Però la ciència no funciona així, molts cops tens un objectiu, però mentre estàs intentant complir-lo et topes amb uns altres resultats interessants i la teva investigació es bifurca.

### **Com es financen aquests projectes?**

Depèn. Poden ser finançats de manera pública (qualsevol organisme, ja sigui ministeri de ciència espanyol, la unió europea o un ministeri català) o privada (qualsevol empresa que faci un conveni amb la universitat).

Els projectes en els quals he estat inclosa eren finançats amb fons públics; el primer per un organisme català, el segon per un europeu i l'actual per un espanyol.

### **Coneixes investigadors que treballin en la mateixa línia?**

Si, conec altres doctorands d'altres països que duen a terme una investigació semblant (per exemple, pertanyents als laboratoris Angenent, d'Alemanya) però disposen de molts més recursos.

### **Creus que aquest mètode pugui arribar a desenvolupar-se a escala més gran o es quedarà a nivell de planta pilot?**

És aviat per dir-ho. Crec que és necessària més investigació perquè sigui factible la seva aplicació a escala industrial, però també considero necessària la seva aplicació ja que cal fer front al repte de la disminució d'emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera a més de complir les polítiques verdes europees establertes recentment. Aquesta tecnologia és molt prometedora, però també molt nova. Probablement jo apostaria per la seva combinació amb altres tecnologies per tal d'obtenir rendiments elevats i que fossin competitius per tal de poder entrar a l'escala industrial.

- L'exemple perfecte és el que hem fet aquests dies. Es va veure un sistema bioelectroquímic (BES, de tipus H), que s'alimentava amb CO<sub>2</sub> i produïa compostos més reduïts (orgànics) com són l'àcid acètic i l'etanol (C<sub>2</sub>) a més de compostos allongats (C<sub>4</sub> i C<sub>6</sub>). A més, posteriorment es va utilitzar inòcul dels sistemes bioelectroquímics (BES), en comparativa amb inòcul de fermentadors, i s'hi va addicionar acetat i etanol (prèviament produït als BES). Així, es va estudiar l'elongació dels

compostos (és a dir, la formació de compostos de més nombre de carbonis, com ara l'àcid caproic i l'octanoic).

### **Existeixen altres mètodes per descompondre CO<sub>2</sub> i valoritzar-lo?**

No descomponem CO<sub>2</sub>. El que es proposa amb la tecnologia és reduir-lo (utilitzar-lo) i formar compostos més reduïts (orgànics); és a dir, dur a terme un procés bio-sintètic (dut a terme pels microorganismes del càtode). Altres mètodes com la fermentació anaeròbia es dedica també a la valorització de compostos de carboni, tot i que la base és diferent, ja que no utilitza processos electroquímics.

### **L'elevada concentració de CO<sub>2</sub> en l'atmosfera representa el problema més gran per a l'imminent canvi climàtic i tots els efectes que aquest comporta al planeta. Creus que s'haurien de destinar més esforços humans i econòmics per desenvolupar processos que revaloritzessin el CO<sub>2</sub>?**

Indiscutiblement. Tant per disminuir les emissions de CO<sub>2</sub> originades antropogènicament com per pal·liar les elevades concentracions que ja es troben a l'atmosfera i que dia a dia causen problemes de contaminació arreu del món.

### **Creus que aquest projecte pot representar la fi d'aquest problema, o simplement és una alternativa que pot contribuir de forma secundària?**

No considero que aquesta tecnologia sigui la panacea i actuï com un "miracle". Hem de ser realistes i ens trobem en un punt molt perillós pel que fa a l'escalfament global i el canvi climàtic. A més, s'ha de tenir en compte la utilització de combustibles fòssils, cada cop més elevada, i la poca disponibilitat d'aquests. És per això, que aquesta tecnologia pot ser un puntal, ja que pot atacar el problema des de dues vessants diferents. Així i tot, és necessari dur a terme accions conjuntes en molts àmbits i esforços per part de la població i els governs per pal·liar aquest problema (no solucionar-lo, perquè no penso que es pugui solucionar en la societat en la qual vivim).

### **Creus que la pràctica d'aquest mètode pot generar ingressos considerables o es quedarà en un procés de reutilització de CO<sub>2</sub>?**

Considero que aquesta tecnologia pot ser rentable, potser fins i tot a curt termini. Per una banda, els compostos formats cada cop augmenten més de valor i d'altra banda la captura de CO<sub>2</sub> està cada cop més valorada (és a dir, el

preu que paguen per tona utilitzada de CO<sub>2</sub> emès; o dit d'una altra manera, el que es paga per convertir una tona de diòxid de carboni prèviament utilitzada i emesa a l'atmosfera). Considero que és un àmbit molt prometedor i que la seva investigació és primordial per avançar en el coneixement i l'optimització d'aquest.