

Cicle de conferències

Bioenergia i Biomaterials

Abril – juny 2026

Organitza:



Enginyers
Industrials de Catalunya

amb la col·laboració de:



amb el suport de:



Sessió 2. Residus biodegradables

Fermentació en estat sòlid i bioproductes

Antoni Sánchez

GICOM/Departament d'Enginyeria Química, Biològica i Ambient

Universitat Autònoma de Barcelona



Índex de la presentació

El GICOM.

Residus orgànics (biodegradables).

El compostatge com a origen de la fermentació en estat sòlid.

Fermentació en estat sòlid (SSF):

- Definicions (tècnica i pràctica).
- Funcionament.
- Potencial en forma de bioproductes.
- Reptes: escalat i formulació dels bioproductes.
- Integració en biorefineries.
- El cas específic del digestat com a matèria primera.

Conclusions.

El GICOM, els residus i el compostatge

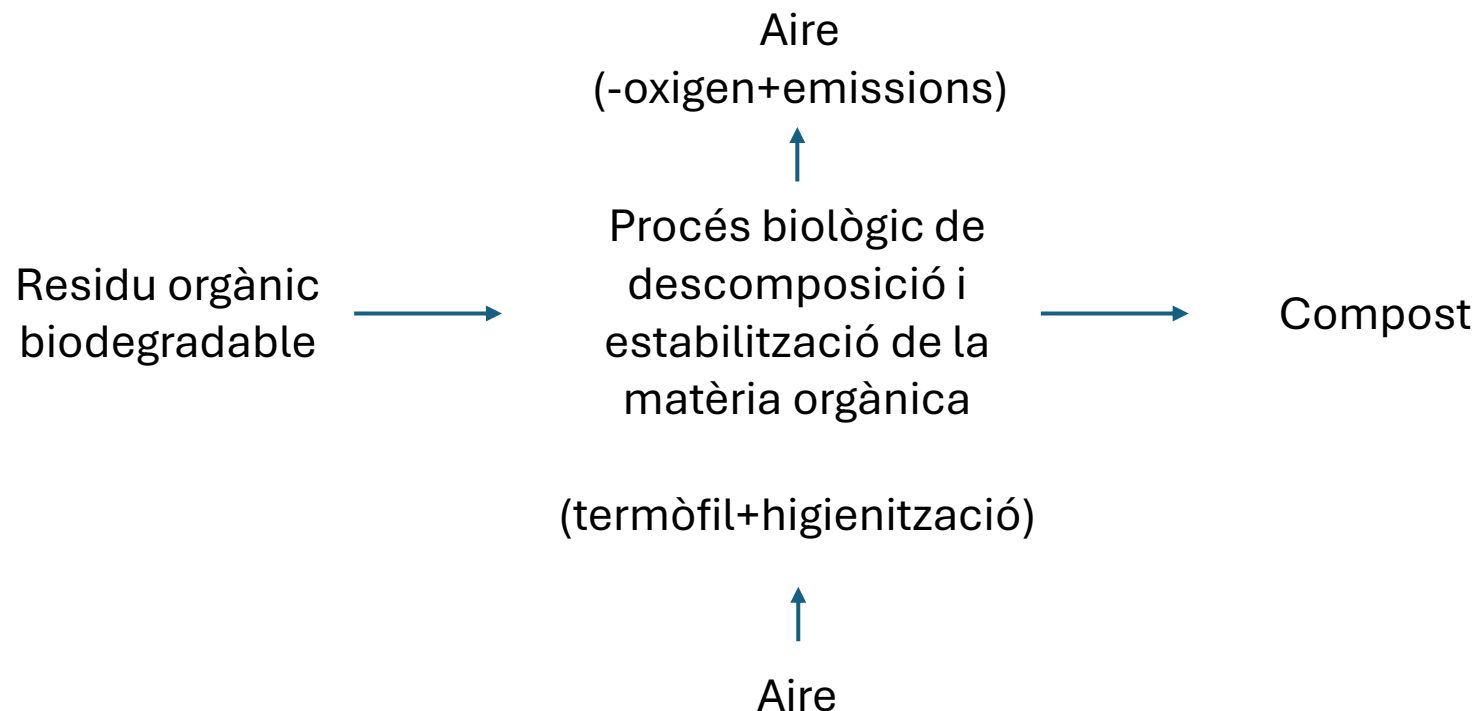
Nascut l'any 2000, el GICOM (Grup d'Investigació en Compostatge, ara Grup d'Investigació en Compostatge en bioConversió de residus Orgànics i nous Materials), ha centrat la seva activitat en la valorització de residus orgànics biodegradables, en tres grans eixos que són consecutius en el temps:

- 1. Compostatge**
- 2. Digestió anaeròbia**
- 3. Fermentació en estat sòlid**

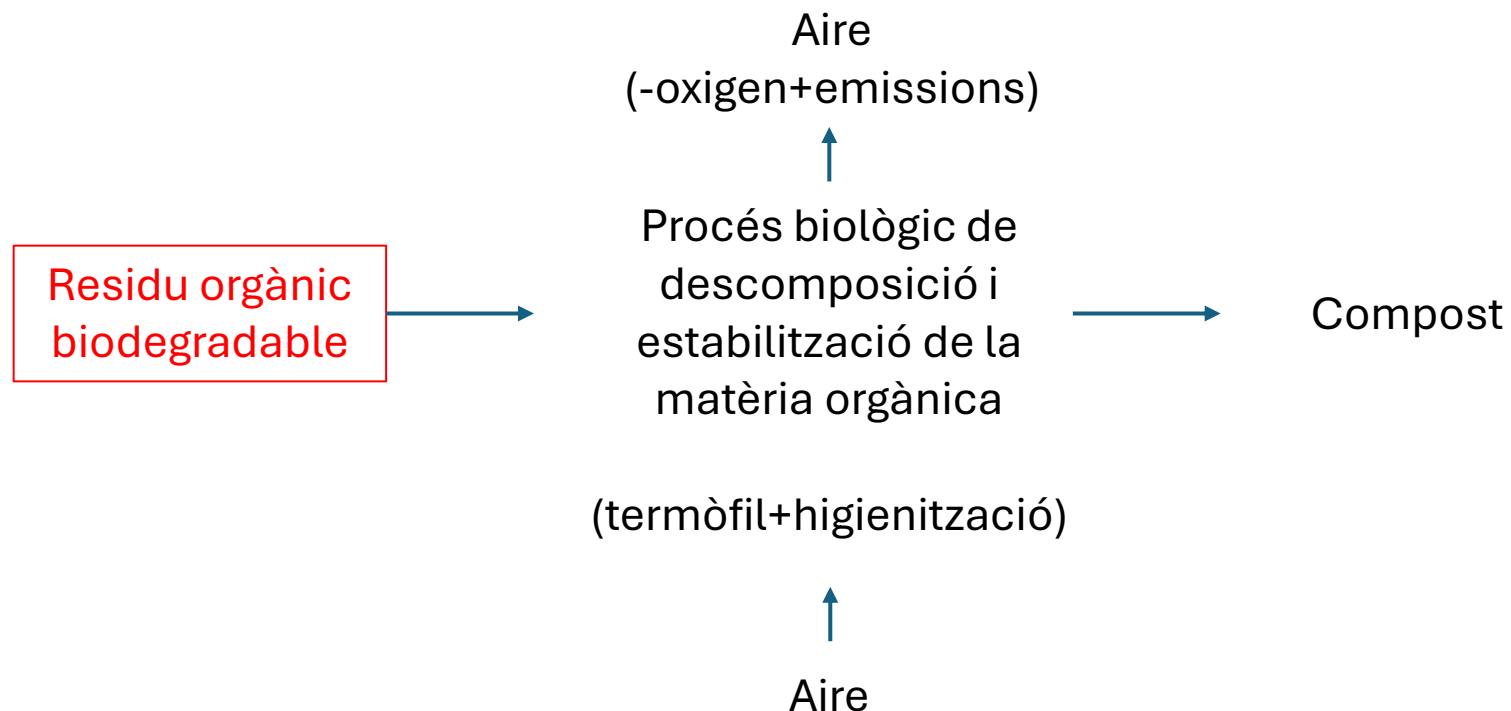
A data d'avui, totes tres biotecnologies segueixen actives al GICOM.

De digestió anaeròbia ja us han parlat abans, així que jo no m'hi referiré, excepte en el tema del digestat, quan acabi de parlar de **SSF**, però parlant de **SSF**, crec que la millor forma d'entendre-la és a partir del **compostatge** i els seus fonaments científicotècnics.

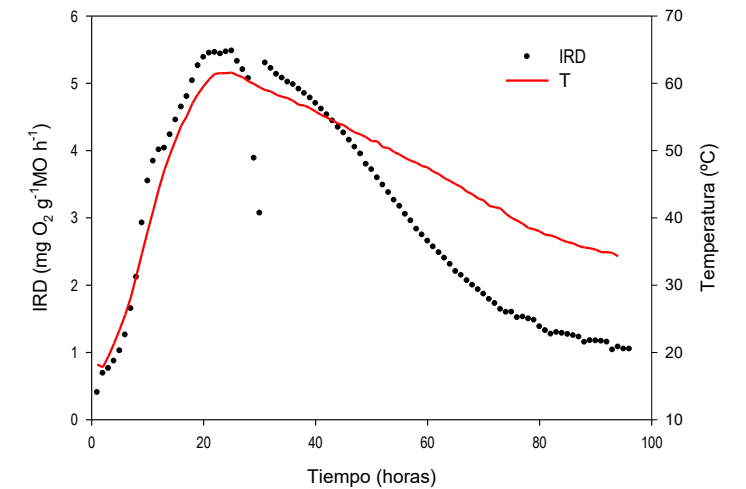
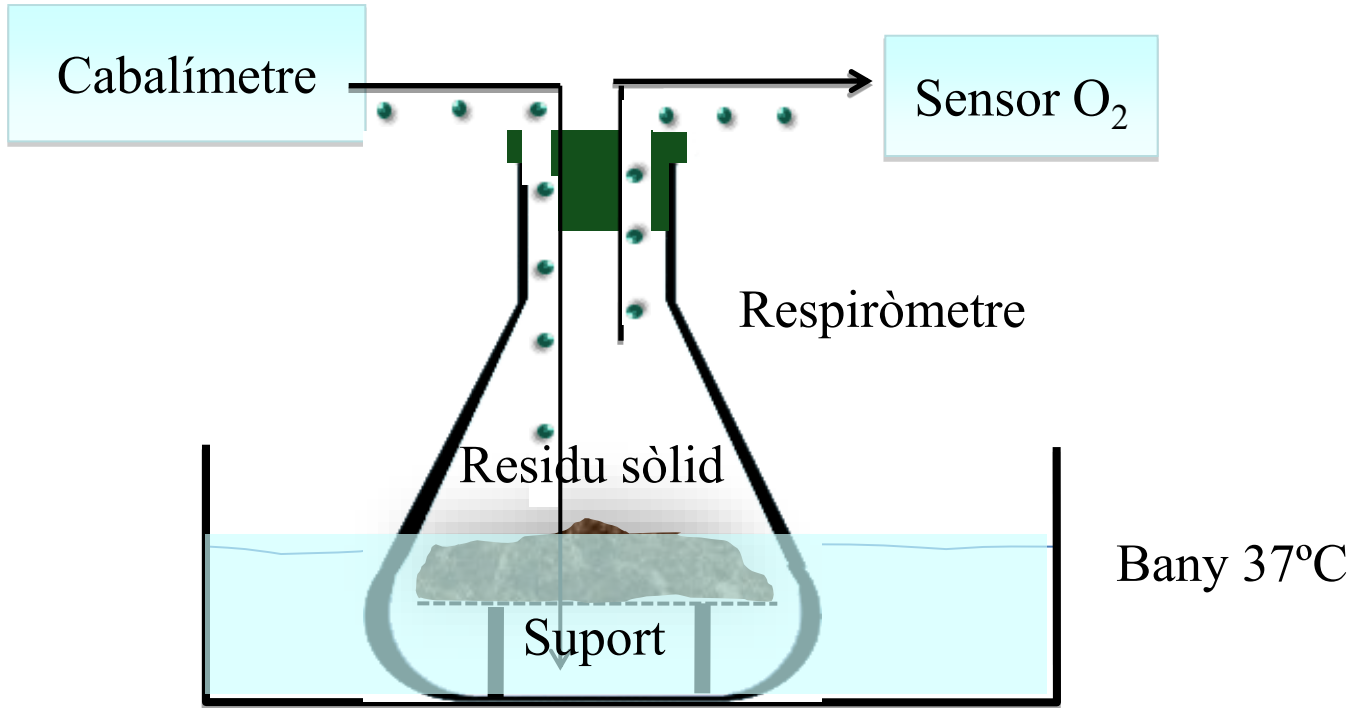
El compostatge és pot representar, de manera molt senzilla, com:



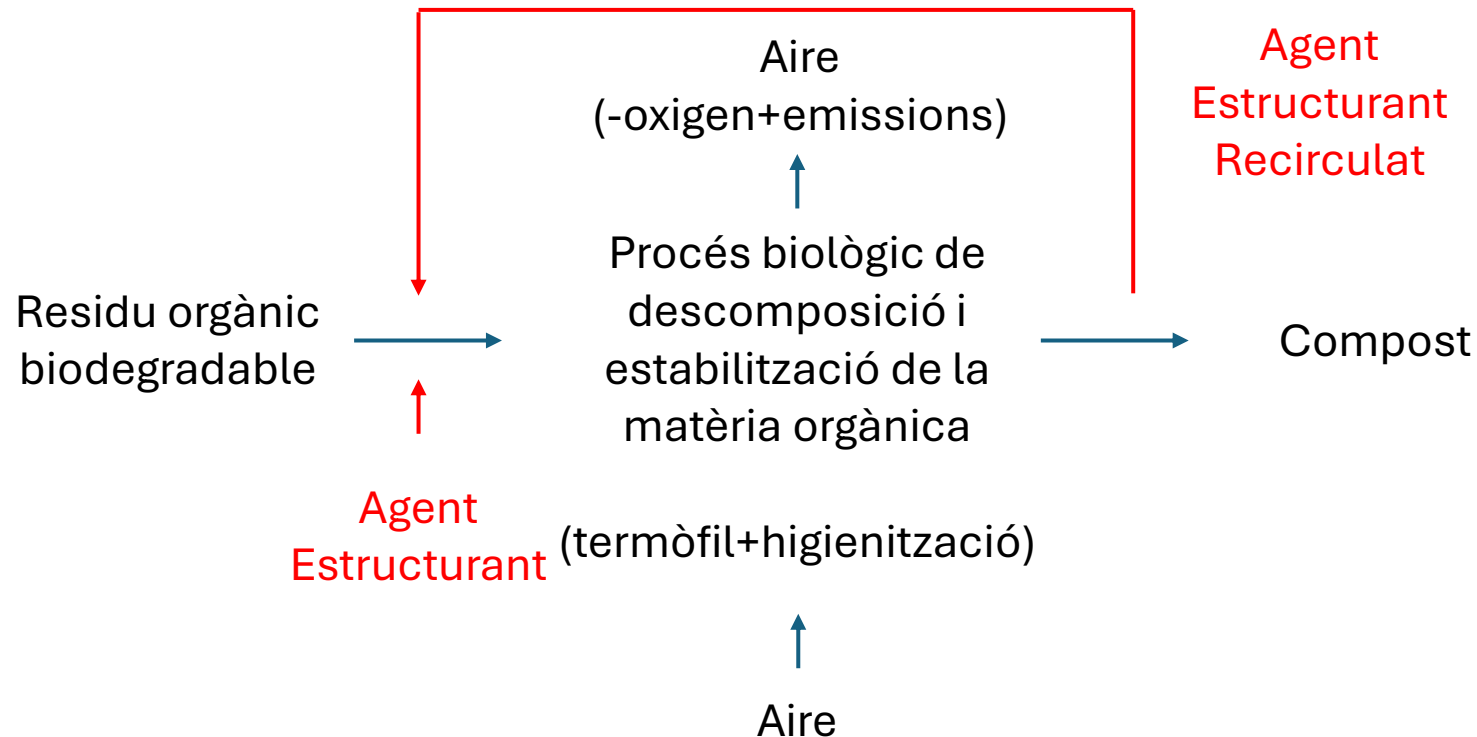
Primer incís: residu orgànic **biodegradable**...com es mesura aquesta biodegradabilitat aeròbia de manera quantitativa? Mitjançant **índexs respiromètrics** (la DBO dels residus sòlids).



Els índexs respiromètrics i la biodegradabilitat dels materials



Segon incís: procés aerobi en un residu sòlid (matriu sòlida)...implica, en la majoria dels casos, la presència d'un **agent estructurant** (material lignocel·lulòsic no biodegradable en els temps del procés).



Els agents estructurants



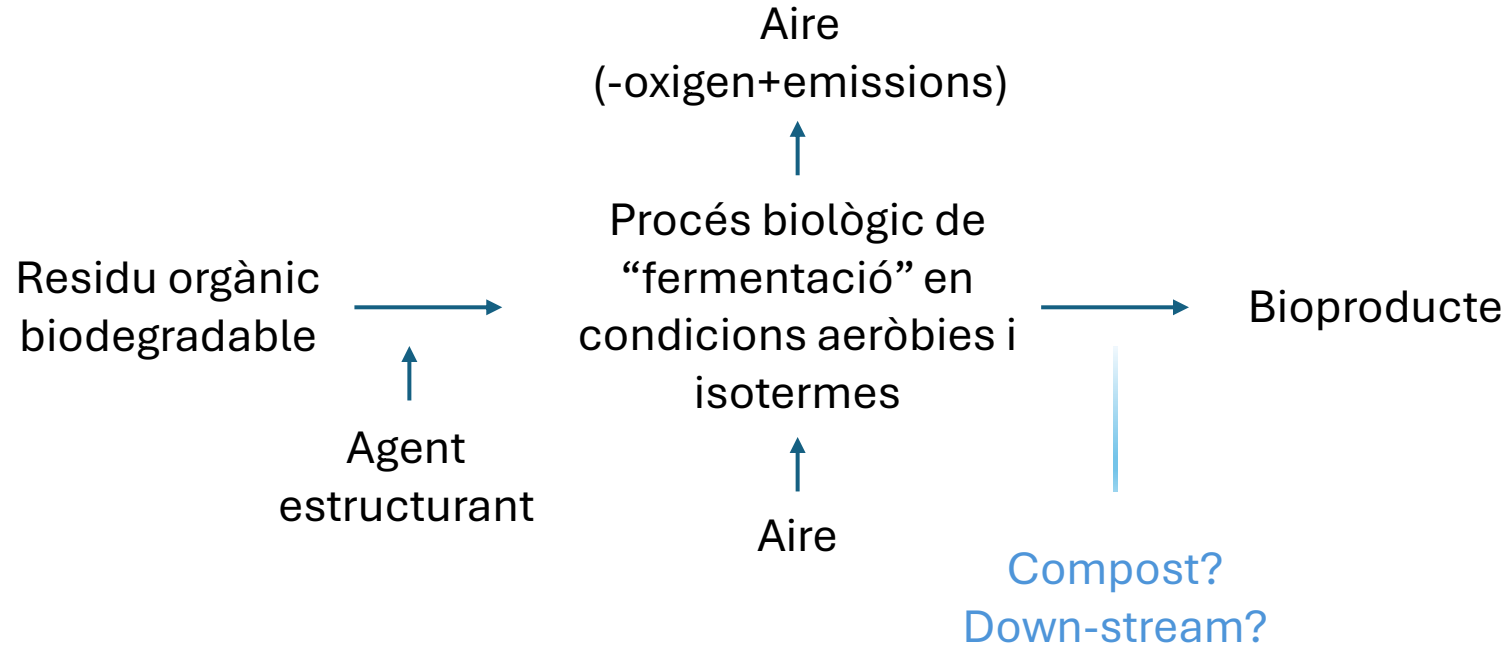
Del compostatge a la SSF

Aquests incisos són importants per a la **SSF**, ja que aquests principis també s'han de mantenir:

- **Biodegradabilitat** dels residus.
- **Porositat** que permeti una bona difusió de l'oxigen:
 - La degradació és aeròbia.
 - L'aeració ajuda a la regulació de la temperatura.

En canvi, la **higienització**, que és clau en el compostatge, és perjudicial a la SSF, tot i que aquest fet s'ha de matisar.

Amb tot això, ja ens podem apropar a una **definició esquemàtica de la SSF** i del seu funcionament:



Tot i que a mi m'agrada més la **definició pràctica** en comparació a la clàssica:

Pandey, 2003:

“Solid-state fermentation (SSF) is defined as the fermentation involving solids in absence (or near absence) of free water; however, substrate must possess enough moisture to support growth and metabolism of microorganisms.”

Sánchez, 2024:

“The biological solid-state aerobic transformation of organic biodegradable waste into bioproducts that permits the substitution of raw sources of materials and energy.”

La SSF a fons

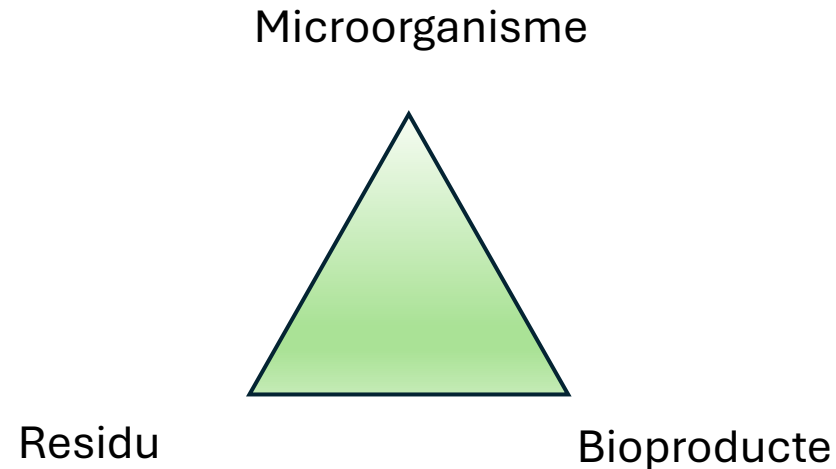
Al GICOM hem passat de fer part de la recerca en compostatge a fer-la en SSF. En aquest sentit, la SSF ens permet:

- Estar més alineats amb la (bio)economia circular.
- Proposar tecnologies de producció més neta.
- Tenir productes biodegradables com a resultat final.
- Integrar la SSF, la digestió anaeròbia i el compostatge en un esquema tipus biorefineria.
- Afrontar reptes: a nivell científic i tecnològic.

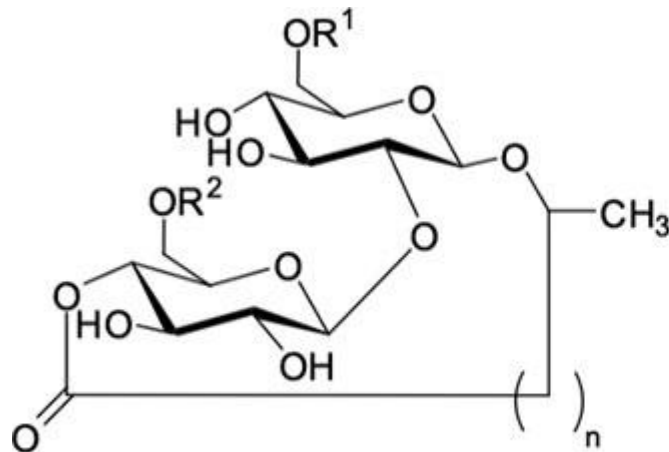
Com funciona

Els passos que hem (més o menys estandarditzat), de manera molt sintètica, inclouen:

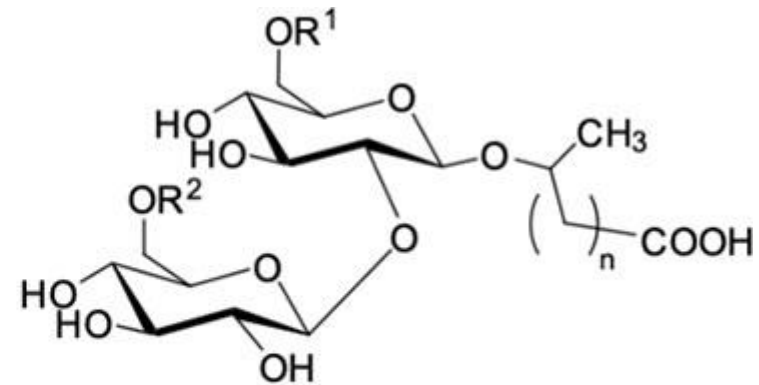
Pas 1: el triple nexa, clau de la SSF:



Exemple: es volen produir biosurfactants (**bioproducte**), primer, cal ser una mica més concret ja que “biosurfactants” és només una etiqueta, per exemple, soforolípid (i quina forma):



Lactonic Model



Acidic Model

Exemple: cal preguntar-se quin (quins) **microorganismes** són capaços de produir-los, en aquest cas, la bibliografia és bàsica. I no cal anar molt lluny...

Això diu Google amb la seva IA entrant “Sophorolipids production”:

Sophorolipids are high-value, biodegradable glycolipid biosurfactants produced primarily by the yeast [*Starmerella bombicola*](#) (formerly *Candida bombicola*) through fermentation. Production involves feeding the yeast glucose and hydrophobic substrates (e.g., vegetable oils). [ScienceDirect.com](#) and [ScienceDirect.com](#)

Fixem-nos en punts clau:

Sophorolipids are high-value, biodegradable glycolipid biosurfactants produced primarily by the yeast *Starmerella bombicola* (formerly *Candida bombicola*) through fermentation. Production involves feeding the yeast glucose and hydrophobic substrates (e.g., vegetable oils).

Bioproducte: Sophorolipids, però no diu quins.

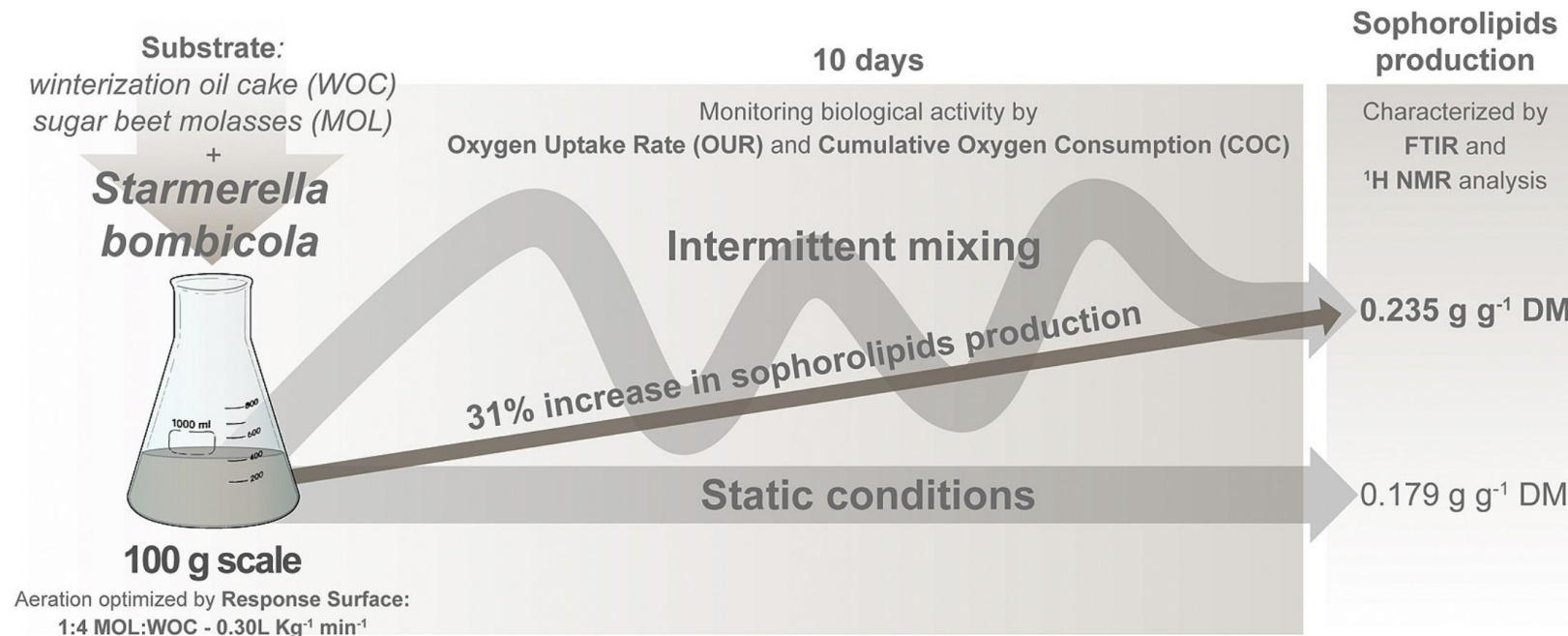
Microorganisme: és molt clar, estem de sort.

Fermentació: no diu res de SSF, gairebé sempre la gran majoria és SmF.

Residu (substrat): molt interessant, parla de un sucre i un oli, això vol dir que necessita una combinació de materials, i en SSF triem: molasses de la producció de sucre i residus de winterització en la producció d'olis.

Com funciona

Pas 2: recerca bàsica, optimització del creixement i rendiments de producte, necessitats d'oxigen, porositat (agent estructurant, tercer residu), esterilització?, etc.:

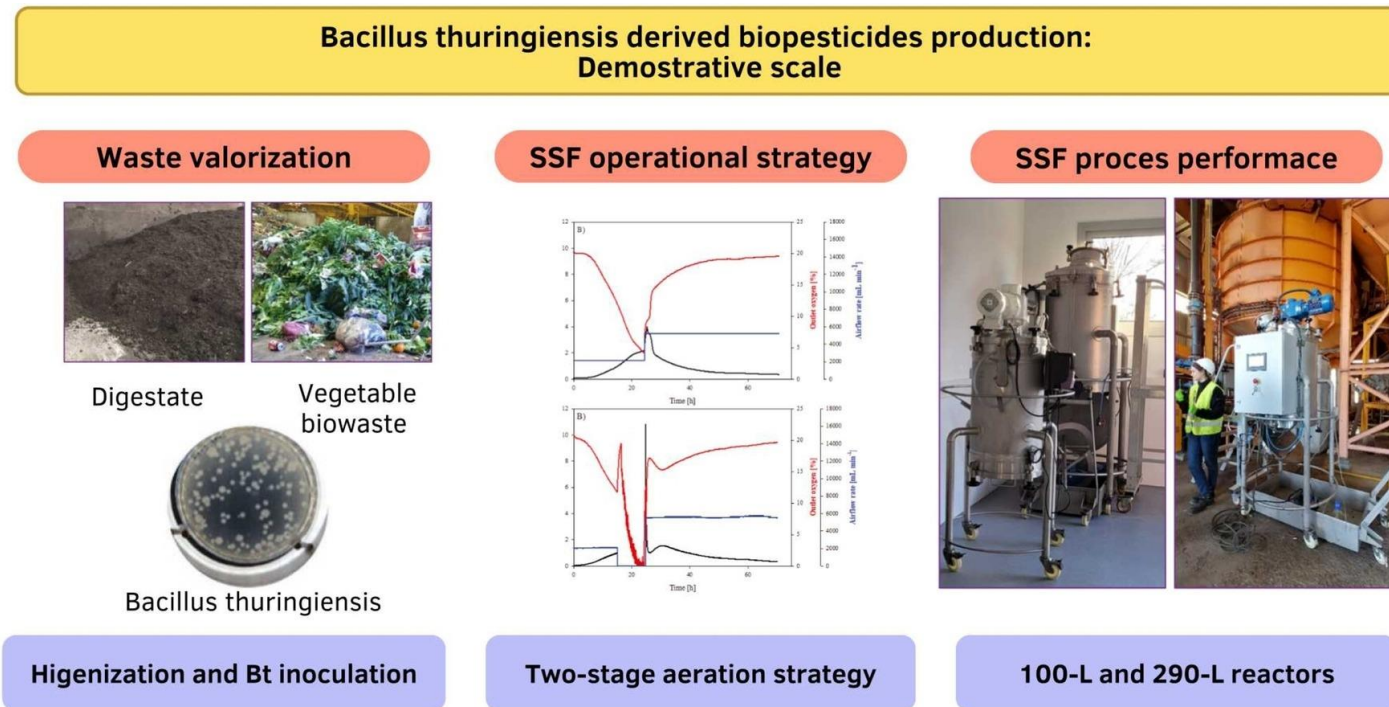


<https://doi.org/10.1016/j.bej.2016.08.006>

Com funciona

Pas 3: recerca aplicada, aquí hi ha dos punts importants:

1) Escalat: un dels punts claus i reptes de cara a la implementació industrial de la SSF, amb pocs estudis en l'actualitat.



Escalat al GICOM

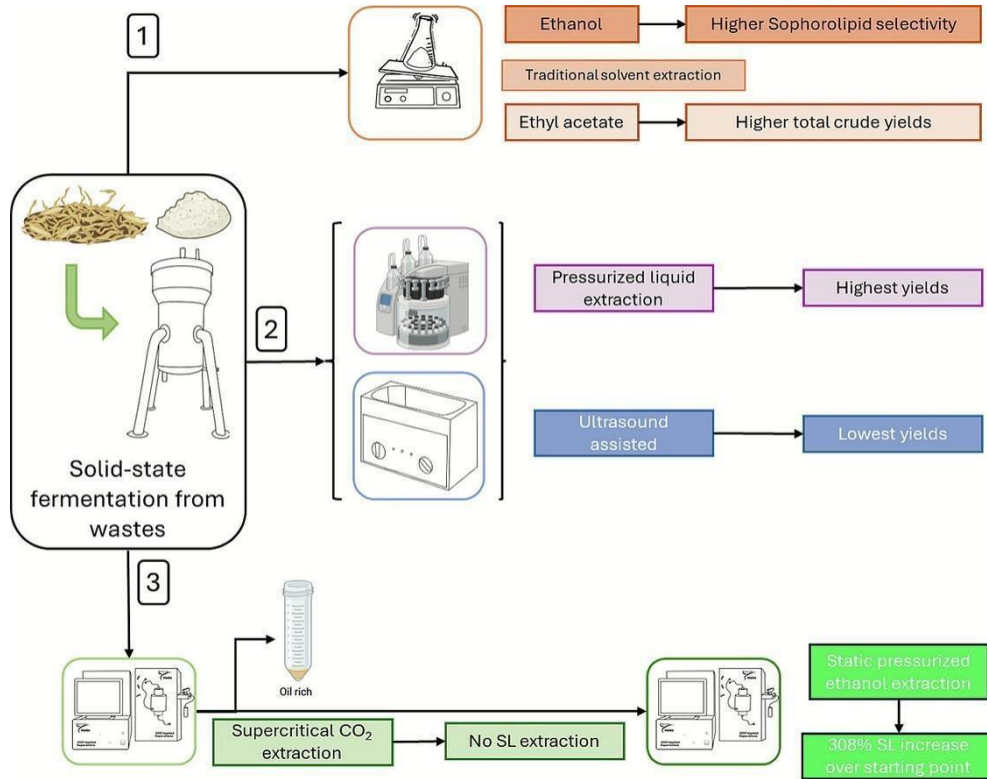


Com funciona

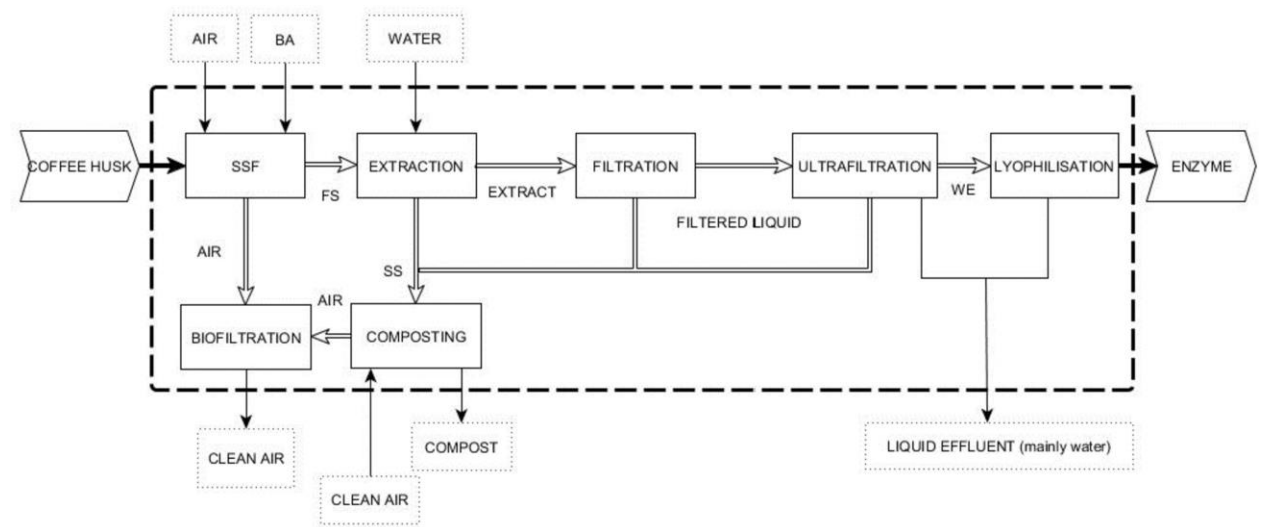
Pas 3: recerca aplicada, aquí hi ha dos punts importants:

2) Down-stream (no confondre amb purificació): un altre gran repte i el gran oblidat, quan és clau per a la formulació del bioproducte.

Purificació (aplicable?)



Down-stream (viable econòmicament?)



<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2025.136501>

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.100>

Com funciona

Down-stream: i amb una pregunta clau: Cal? Sempre?

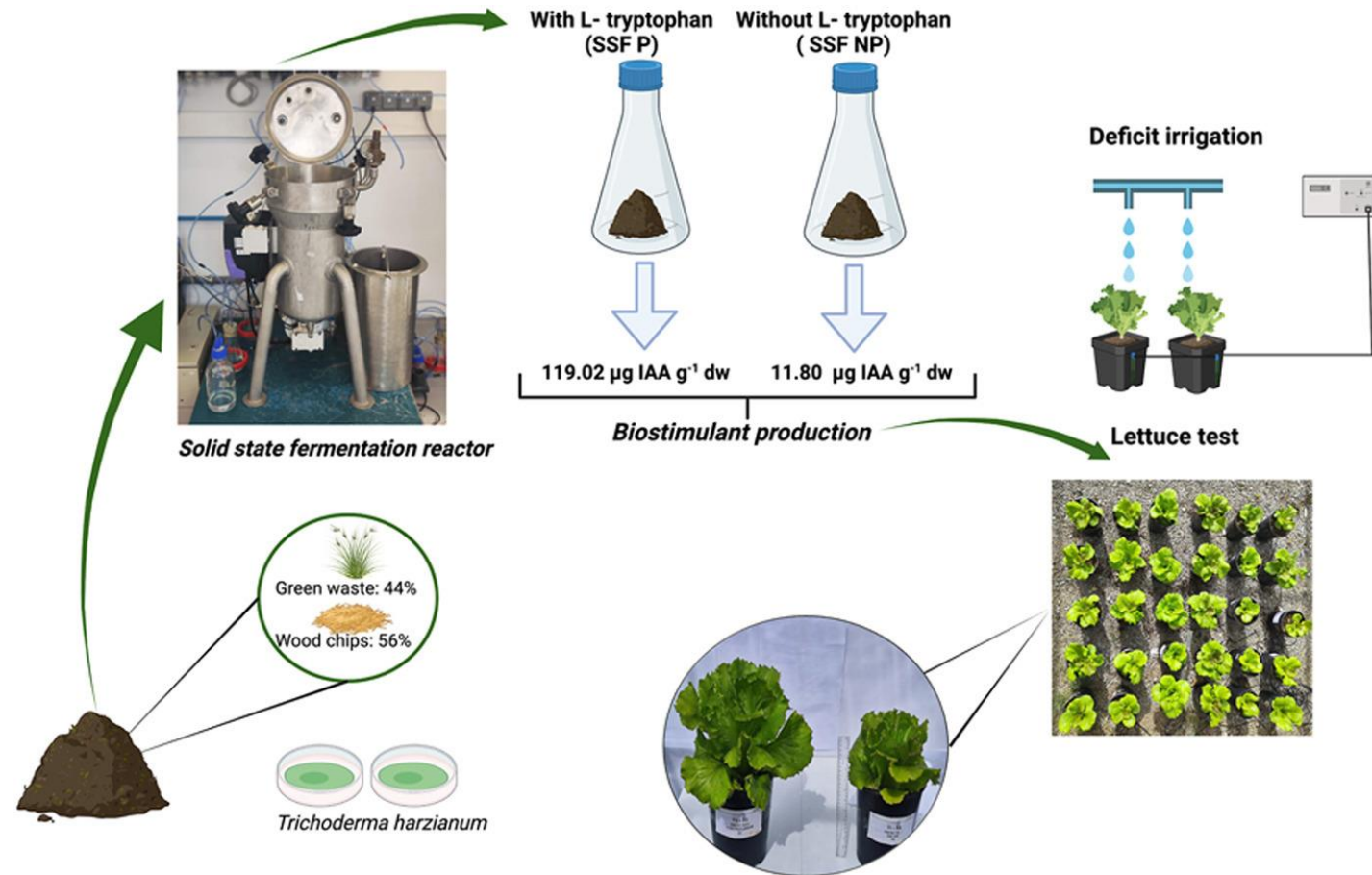
Cal mirar quina serà l'aplicació del producte:

- Volem un biosurfactant per fer bioremediació de sòls?
- Volem un biosurfactant per millorar el procés d'hidròlisi en la digestió anaeròbia d'un altre residu?
- Volem un biosurfactant que acabi sent un detergent?



Com funciona

Down-stream: per exemple, amb productes agrícoles com bioestimulants sovint no cal fer res:



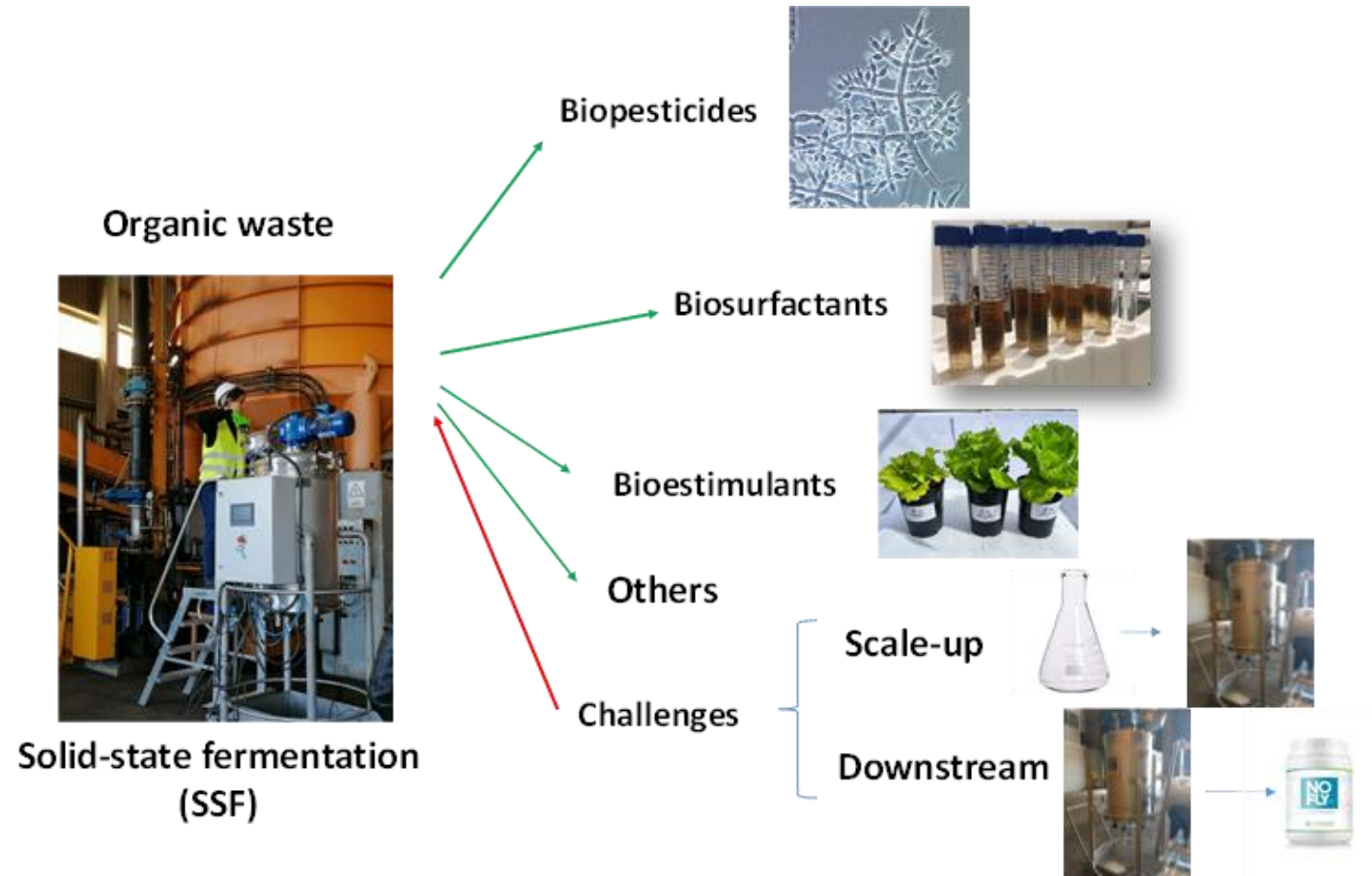
Sense down-stream, pot ser contraproduent



Com funciona

Pas 4: recerca aplicada, aquí podria haver un punt que normalment queda fora del camp del GICOM, que seria provar el bioproducte i veure la seva eficiència comparat amb el producte químic existent, fer les corresponents anàlisis de cicle de vida i econòmics, etc.

SSF i bioproductes



SSF i bioproductes

Aquesta figura la vaig fer per a un article del 2022:

Solid-State Fermentation from Organic Wastes: A New Generation of Bioproducts

<https://doi.org/10.3390/pr10122675>

On intentaven fer una llista de “novetats” en el camp de la SSF després d’un treball pioner on donàvem les bases de la biotecnologia i assenyalàvem els primer productes (bàsicament enzims):

From Wastes to High Value Added Products: Novel Aspects of SSF in the Production of Enzymes

<https://doi.org/10.1080/10643389.2015.1010423>

SSF i bioproductes

En aquell “llunyà” 2022, es comentaven com a productes “estrella”:

- Biosurfactants
- ~~Biopesticides~~-Bioplaguicides
- Bioestimulants
- Antibiòtics
- Antioxidants
- Aromes i sabors
- Bioplàstics
- Pigments

Avui dia, uns pocs anys després, la llista seria interminable.

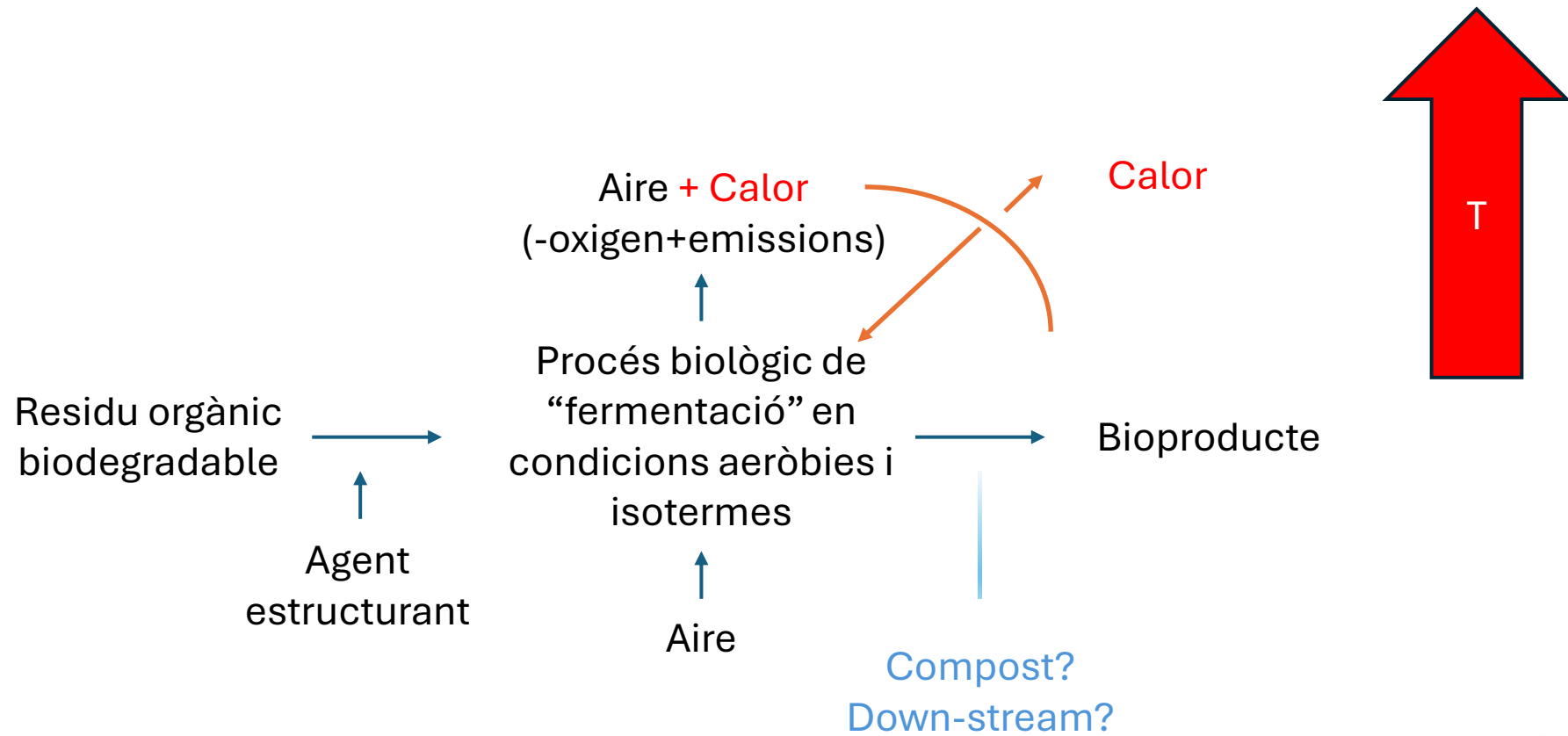
Reptes de la SSF

A banda del down-stream, que ja he comentat amb detall, l'altre gran repte a nivell d'enginyeria i, especialment, a nivell de bioreactors, és l'escalat del procés, un escalat que mantingui els rendiments i les avantatges de la SSF a una escala comercial.

En aquest sentit, a la SSF passa el mateix que en el compostatge: la baixa conductivitat tèrmica de la matèria orgànica i el valor metabòlic procedent de la descomposició aeròbica del residus provoca una acumulació del calor, que resulta en una pujada significativa de la temperatura.

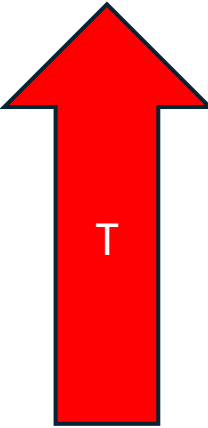
I què implica?

Que el procés és més adiabàtic que isoterm:



I?

Doncs això que és positiu en el compostatge ja que augmenta la temperatura, necessari per a la higienització del material, l'acceleració del procés o el control de la humitat, és perjudicial per a la majoria de microorganismes responsables del nexa bàsic de la SSF.



Estratègies-Enginyeria

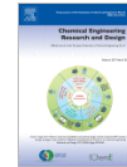
Aquí l'estratègia passaria per tenir un model que permeti simular perfils de temperatura tenim en compte la complexitat del sistema.





Chemical Engineering Research and
Design

Available online 20 March 2026

In Press, Journal Pre-proof [?](#) [What's this?](#)



A Comprehensive Methodology for Parameter Assessment in Solid-State Fermentation Modelling

[Anna Carrasco-García](#)¹, [Albert Guisasola](#)², [Javier Moral-Vico](#)¹  , [Teresa Gea](#)¹


[Show more](#) 

[+](#) Add to Mendeley [🔗](#) Share [📄](#) Cite

<https://doi.org/10.1016/j.cherd.2026.03.024> 

[Get rights and content](#) 

Under a Creative Commons [license](#) 

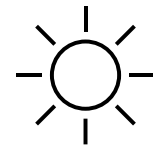
 [Open access](#)

Estratègies-Enginyeria

I això només per a l'estimació de paràmetres crítics del model, tot i que s'ha aconseguit (encara no publicat) un primer model que dona estimacions relativament raonables de l'evolució de la temperatura, però amb moltes simplificacions.

En la meva opinió, les eines tradicionals de modelització de l'Enginyeria Química basades en el fenòmens de transport de matèria i energia requereixen massa esforç per als resultats que proporcionen.

És temps d'una aproximació diferent?






Journal of Environmental Chemical Engineering



Volume 12, Issue 5, October 2024, 114084



Mining of thermophilic biosurfactant producers for solid-state fermentation


Syeda Amna Farooq, Raquel Barrena, Teresa Gea  

Show more 

 Add to Mendeley  Share  Cite

<https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.114084> 

[Get rights and content](#) 

Under a Creative Commons [license](#) 

 [Open access](#)

Estratègies-Biologia





Biochemical Engineering Journal


Volume 227, March 2026, 110037




Regular article

Addressing temperature gradient challenge in scaling up solid-state fermentation: A strategy using thermophilic strains for biosurfactant production

[Jose Bueno-Mancebo](#), [Adriana Artola](#), [Syeda Amna Farooq](#), [Raquel Barrena](#)  ,
[Teresa Gea](#)

[Show more](#) 

 Add to Mendeley  Share  Cite

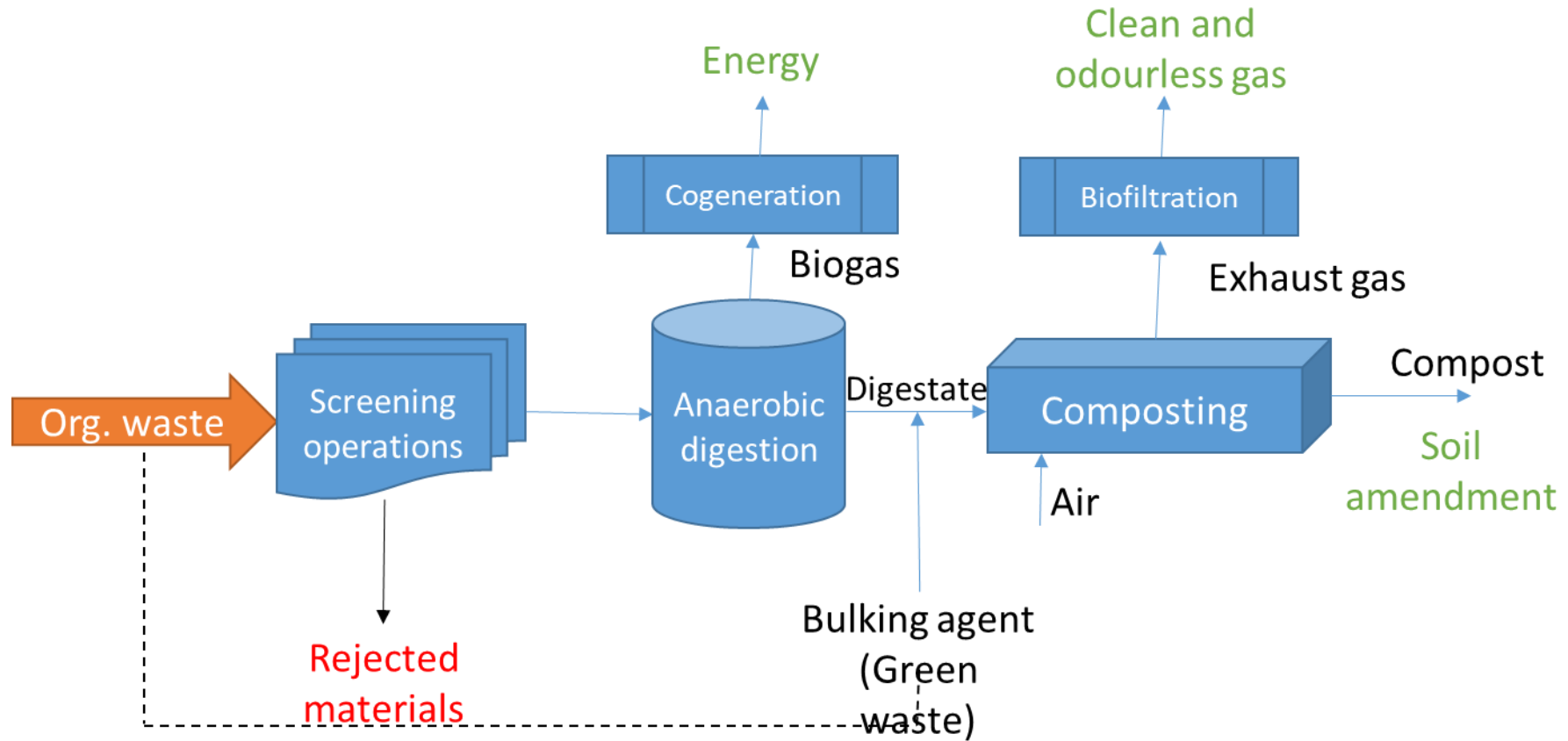
En alguns casos poden resultar exitoses, però de nou el treball a fer no compensa els resultats i no hi ha cap certesa de que el triple nexa de la SSF existeixi.

Integració amb altres processos

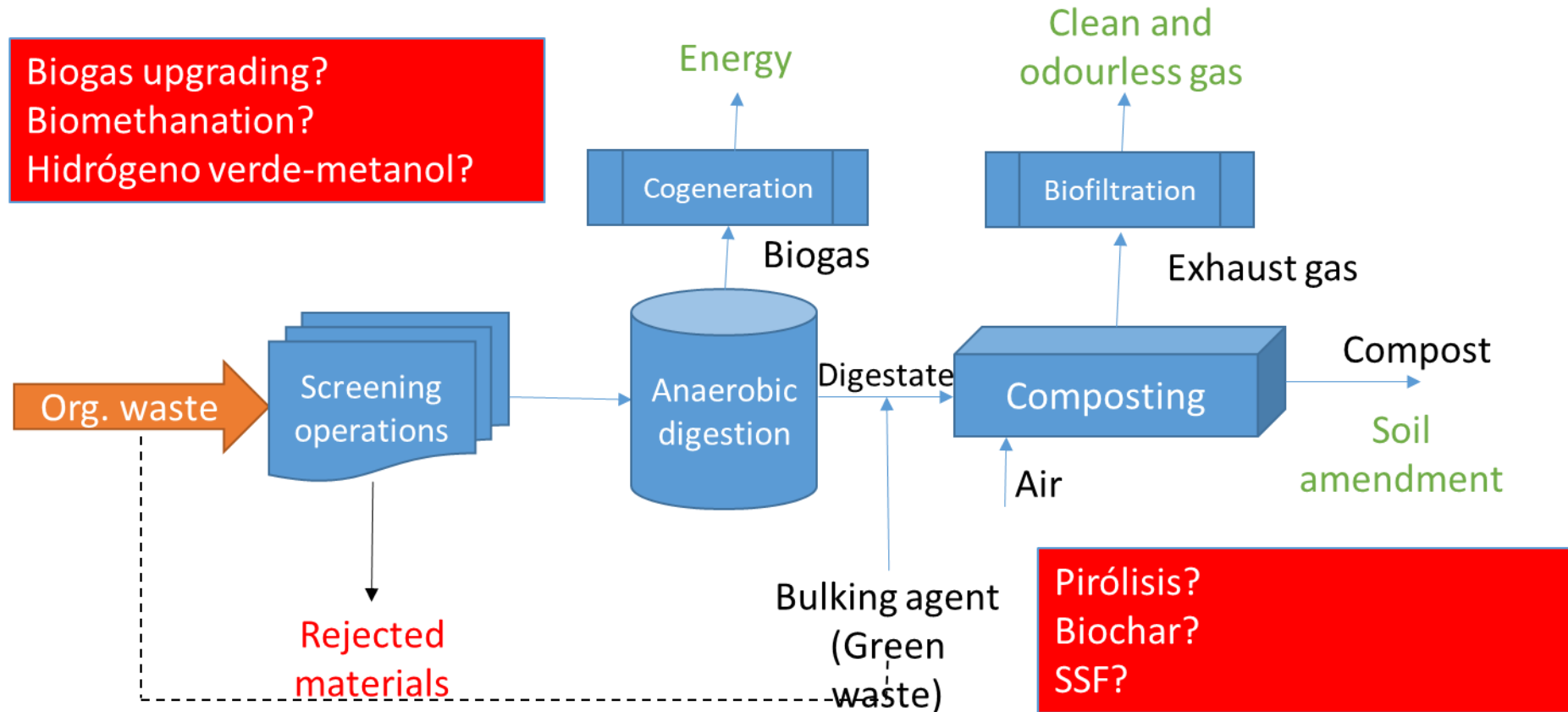
Aquí el ventall d'opcions és molt gran, quan considerem la SSF com a part d'una biorefineria, que integra altres processos biotecnològics, com ara la digestió anaeròbia o el compostatge, però també altres tecnologies com ara tractaments químics, i especialment els tèrmics.

A mode d'exemple, un exercici que vaig fer primer per a un llibre, després per a un article, i després per a un curs...

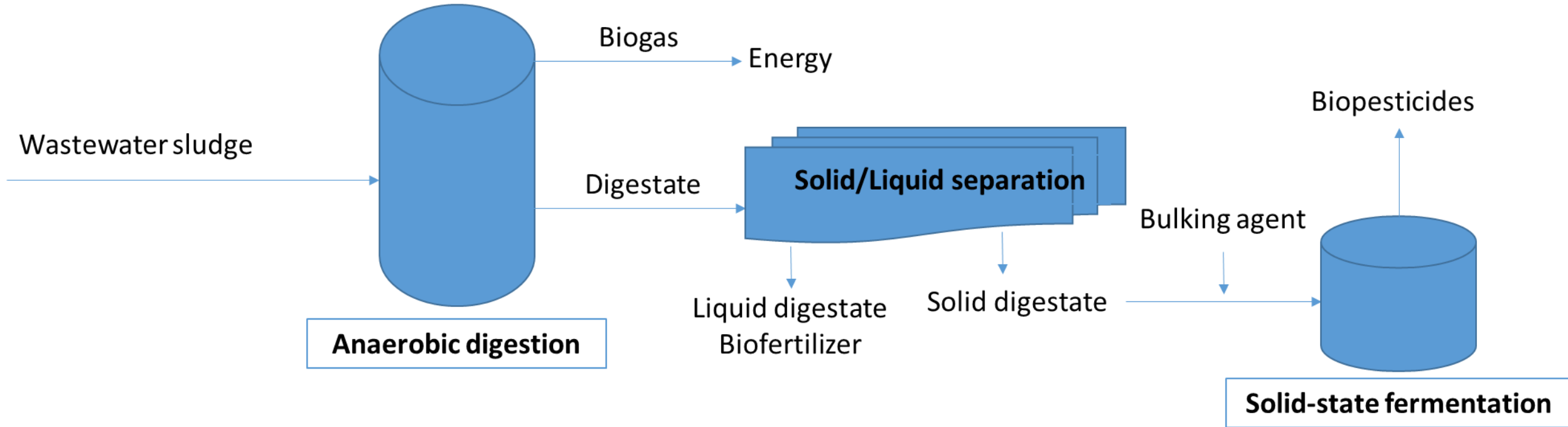
Exemple d'Ecoparc actual



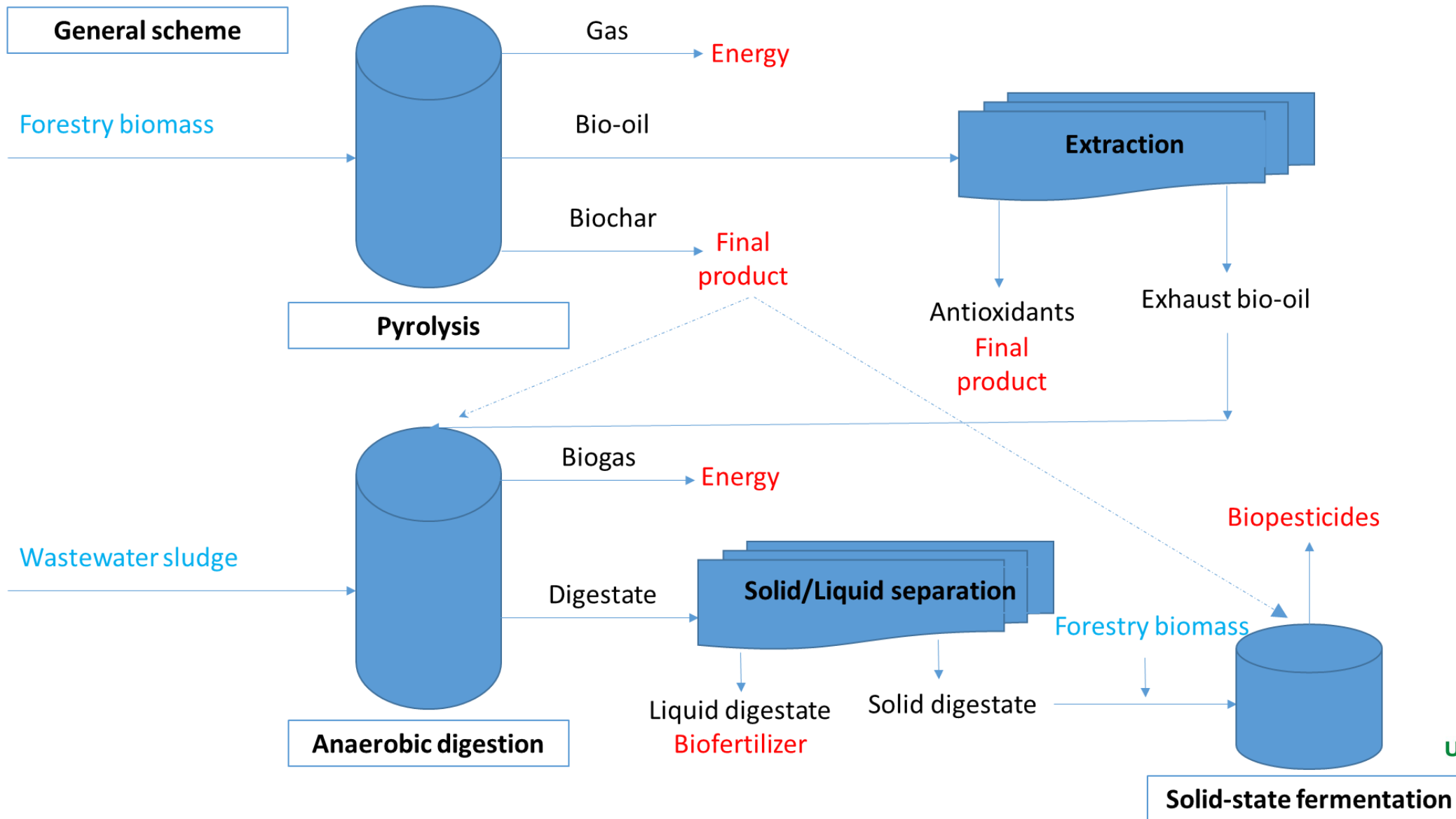
Exemple d'Ecoparc transformat en biorefineria (una opció de moltes)



Exemple d'Ecoparc transformat en biorefineria (per exemple)



Exemple d'EDAR transformada en biorefineria (per exemple)



Un cas particular: el digestat

Qualsevol que vegi el panorama actual en la gestió dels residus orgànics, sap que aquests passaran a ser, en bona part, digestats.

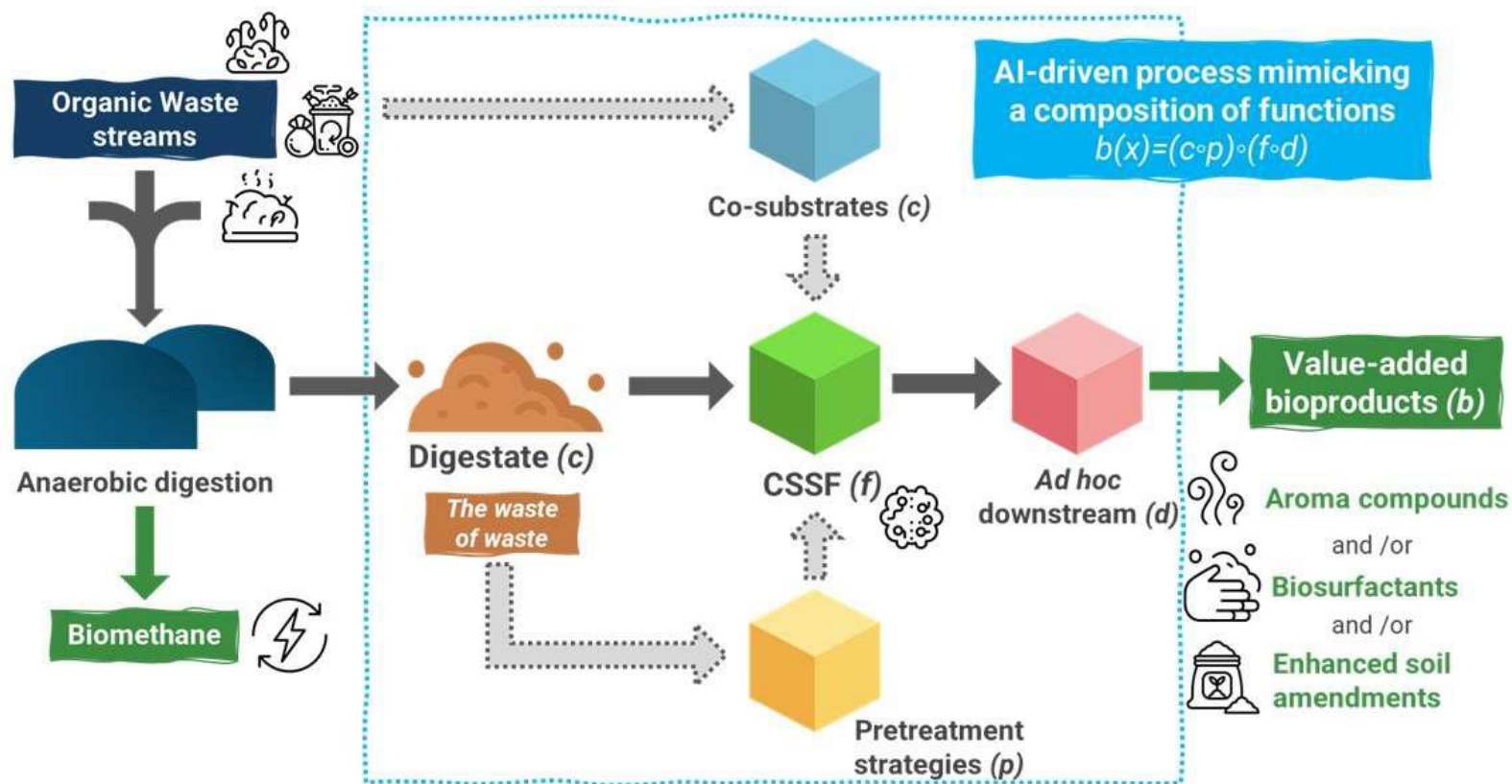
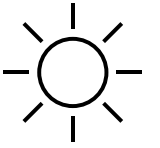
I què hi té a dir la SSF respecte el digestat?

Per això, i com a final de la meva xerrada, us volia introduir el projecte ReWoW (Pathfinder):

Revolutionizing the Waste of Waste: A new bioeconomy-based business for digestate

Un cas particular: el digestat

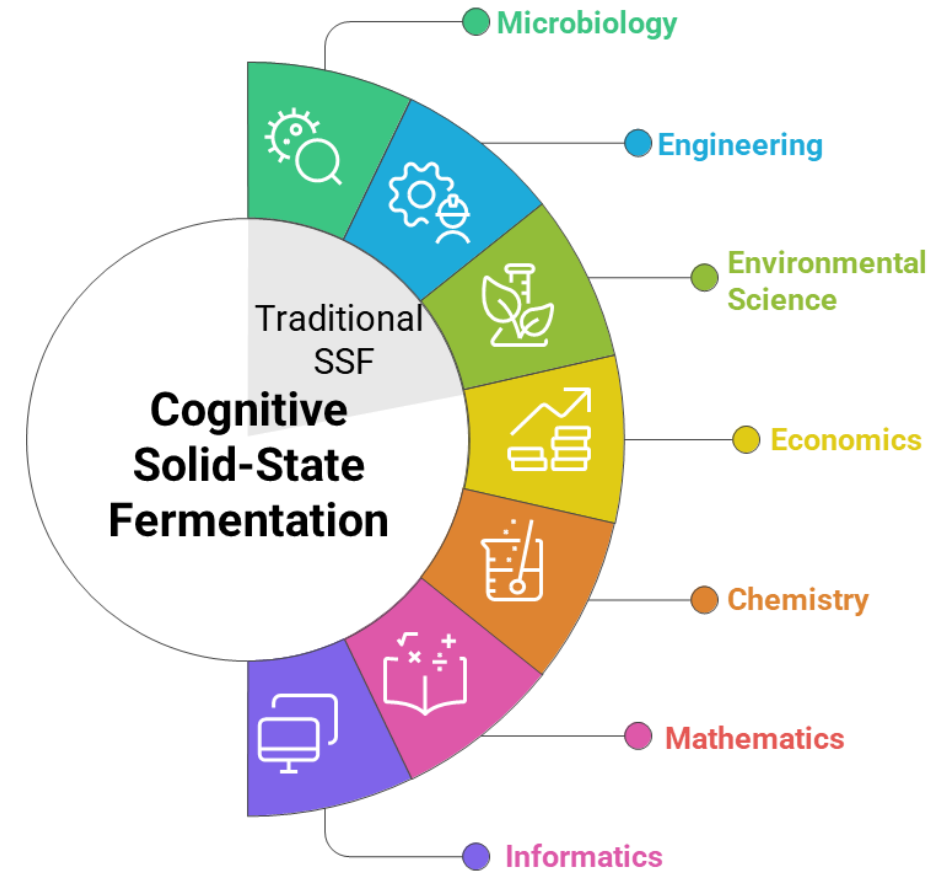
On proposem una altra aproximació a la SSF no basada en models clàssics sinó amb IA:



Un cas particular: el digestat

I en lloc de SSF parlem de CSSF:

“Therefore, by merging microbiology, chemistry, engineering, environmental science, mathematics, and informatics, ReWoW breaks the ceiling of current SSF limitations and introduces “cognitive solid-state fermentation (CSSF)” as a new technological paradigm, smart, scalable, adaptive, and deeply integrated into the principles of the circular bioeconomy.”



Conclusions (reflexions)

A nivell telegràfic i sintetitzant molt:

- El potencial de la SSF és enorme, però rara vegada serà la solució única.
- És molt versàtil quant a productes, però també en la seva integració amb altres tecnologies i biotecnologies.
- Té uns reptes clars per pujar de TRL i ser atractiu comercialment, malauradament en l'escalat o el down-stream, que són camps que a la recerca tenen una productivitat esforç/resultats baixa.
- És un camp relativament poc investigat: això ens va bé per ser la referència, però per contra ens fa estar bastant sols, com a mínim a nivell europeu.

Moltes gràcies per la vostra atenció

antoni.sanchez@uab.cat

<https://webs.uab.cat/gicom/>



Per no oblidar que aquests treballs són fruit d'un Grup, que el Nadal passat va fer els 25 anys...