



# Hidrógeno Verde

Oportunidades & Aplicaciones

Curso gratuito en modalidad online

## Tecnologías de hidrógeno en generación y almacenamiento

Biohidrógeno

Karin Von Osten



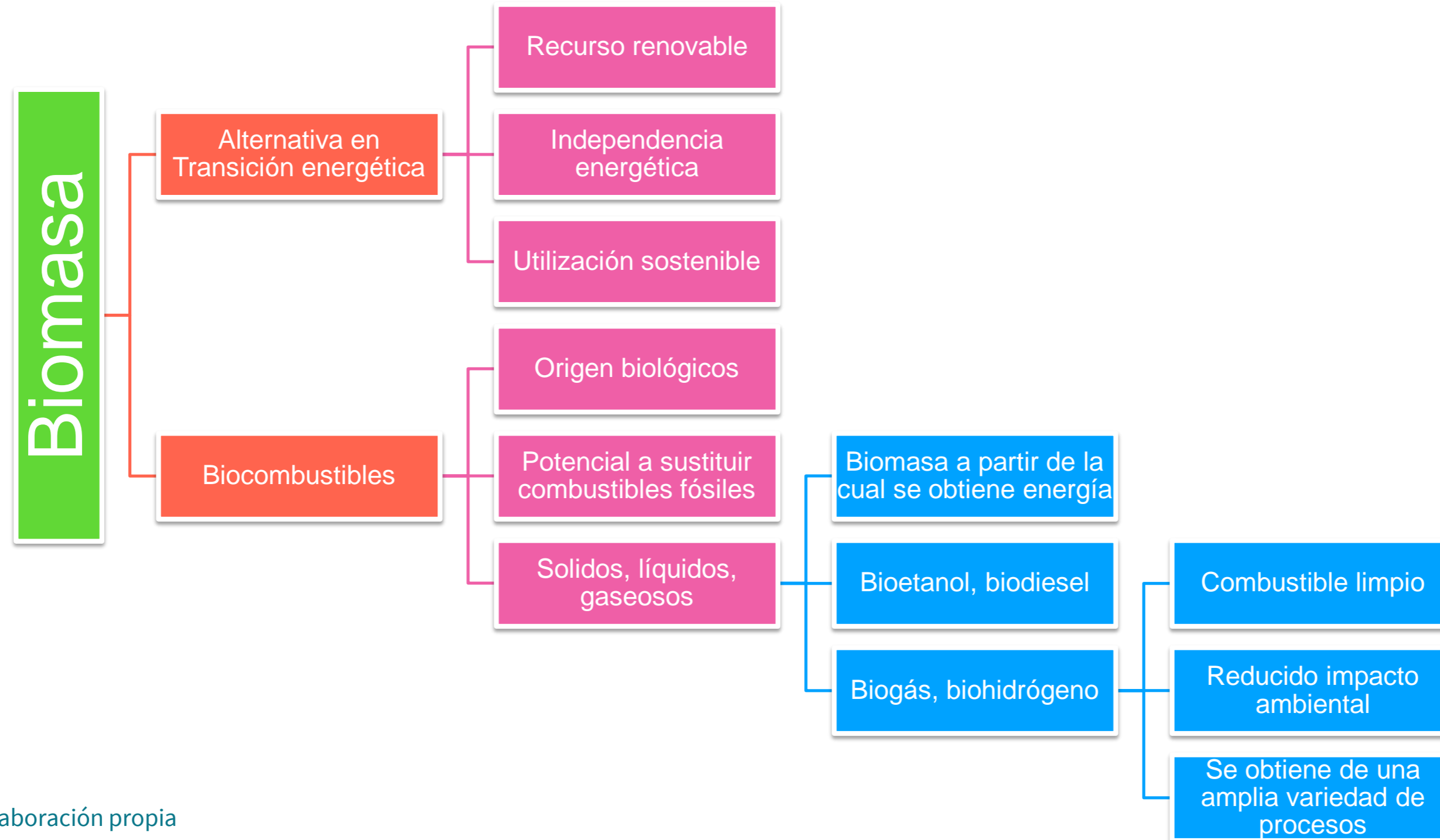
## Contenidos Clase:

- Introducción
- Procesos
- Biofotolisis
- Fotofermentación
- Fermentación Oscura
- Comentarios Finales



# Introducción

# Introducción



Fuente: Elaboración propia



# Definición



EL BIOHIDRÓGENO ES AQUEL QUE TIENE UN ORIGEN BIOLÓGICO:

Métodos  
tradicionales

Reformado con vapor de Biogás

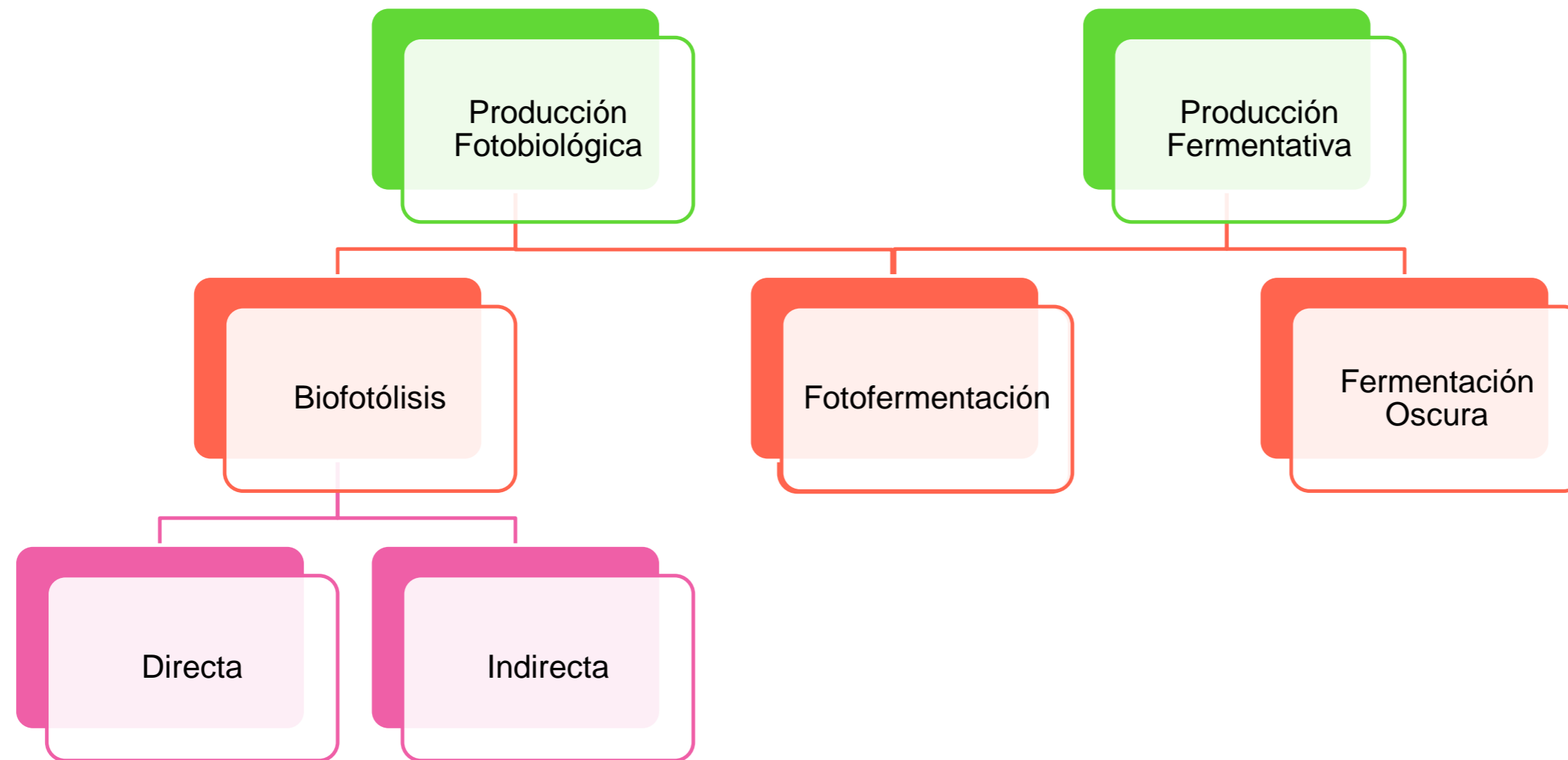
Gasificación de Biomasa

Métodos  
biológicos

Fotobiológica

Fermentativa

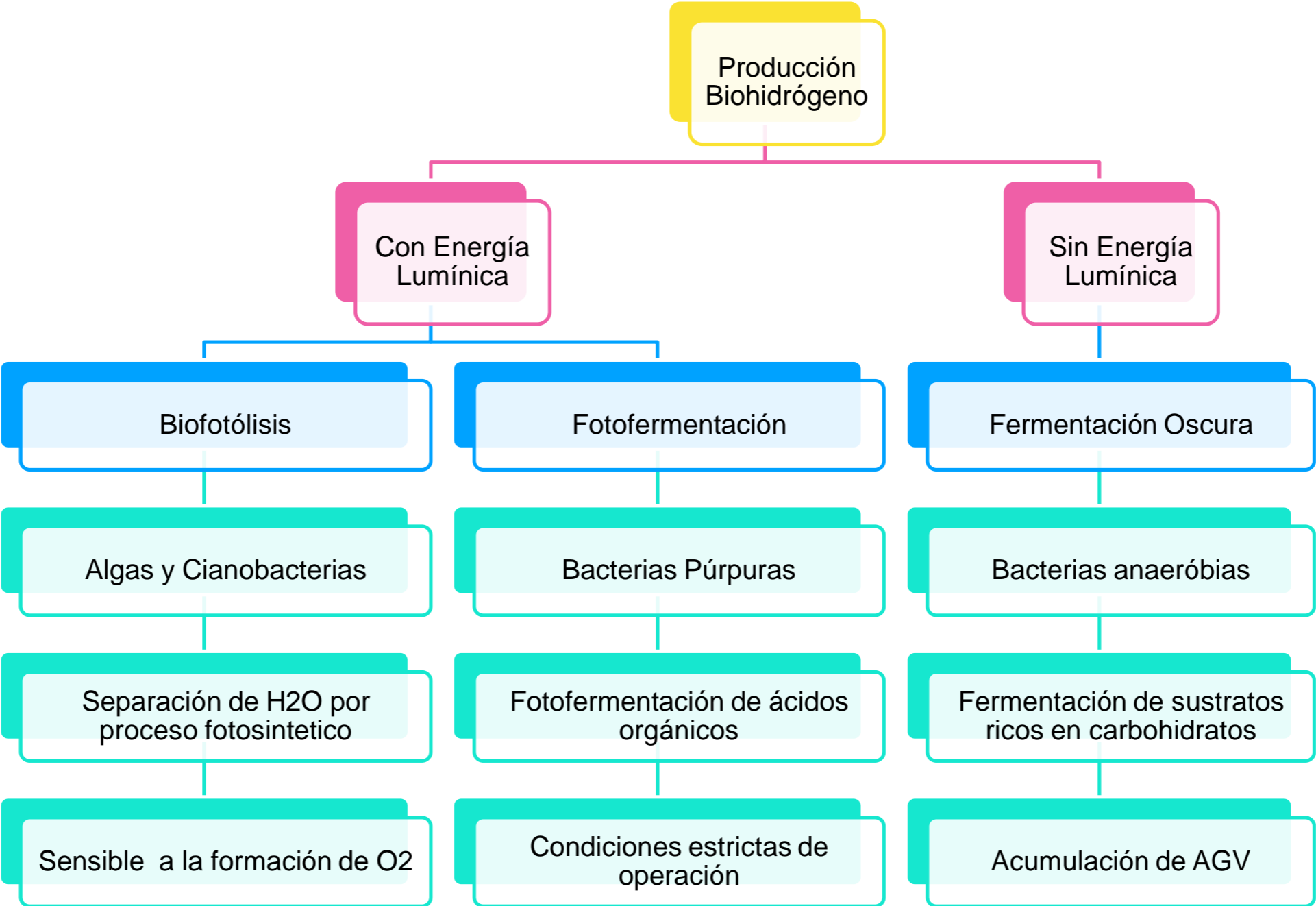
# Métodos biológicos



Fuente: Ciemat



# Métodos biológicos



Fuente: Blanco y Rodriguez, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia, 2012



# Procesos





# **Biotofofosis**



# Biotofofolisis

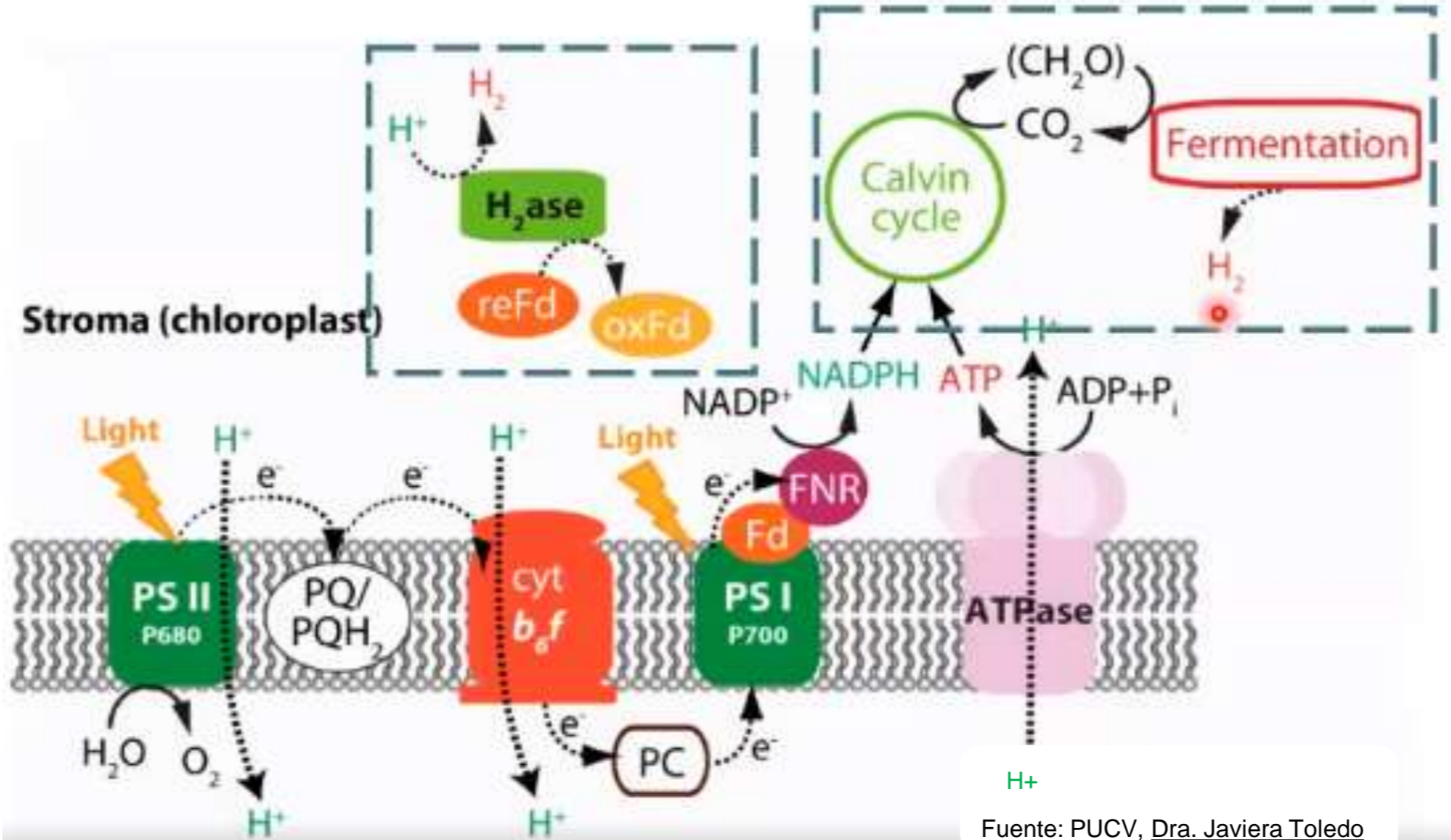
- Proceso **biológico** de producción de H<sub>2</sub> a partir de la **hidrólisis** del agua por **fotosíntesis**.
- Mecanismo análogo a la electrólisis

	Electrólisis	Biofotólisis
Catalizador Rx	EERR	Luz Solar directa
Mediadores	Electrodos	MOO autótrofos fotosintéticos

Fuente: Elaboración propia



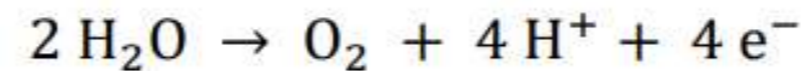
# Biotofofolisis





# Biotofofolisis directa

- Ruptura del agua en oxígeno y protones, llevada a cabo por moo fotosintéticos como cianobacterias y algas.

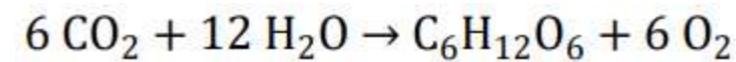


- Los protones se reducen a H<sub>2</sub> gaseoso por la acción de enzimas (Fe-Hidrogenasa) presente en los cloroplastos de los moo.
- Desventajas
  - Producción simultanea de oxígeno, el que inhibe la Fe-Hidrogenasa
  - Altos requerimientos de agua
  - Requerimiento de gran superficie de reactor para aprovechar luz solar
- En Investigación:
  - Reducir azufre (nutriente) para inhibir la producción de oxígeno
  - Modificación genética
  - Promover el desarrollo de moo productores de hidrógeno

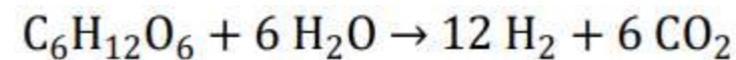


# Biotofofolisis indirecta

- Ruptura de la molécula de agua en dos etapas  
(1 Fase Luminosa) Producción de materia orgánica, captando CO<sub>2</sub> y transformarlo en Carbohidratos (almacenamiento de energía por parte de los moo)



- (2 Fase oscura de crecimiento microbiano) Producción de hidrógeno a partir de las azucares bajo condiciones limitantes de oxígeno



- Desventajas:  
Requerimiento de grandes superficies; se calcula que la máxima producción es de 20 Kg H<sub>2</sub> cada 1000 m<sup>2</sup> de superficie de cultivos, a la fecha solo se ha logrado el 10% capacidad fotosintética de las algas.
- Investigación:  
Modificación genética, producir más hidrógeno.
- Potencial: Captura de CO<sub>2</sub> y posibilidad de revalorizar H<sub>2</sub> gris en H<sub>2</sub> azul



# Fotofermentación



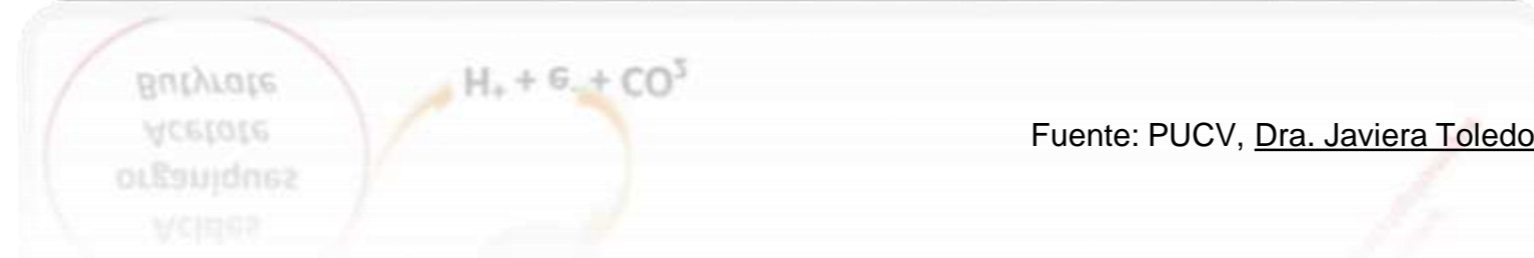
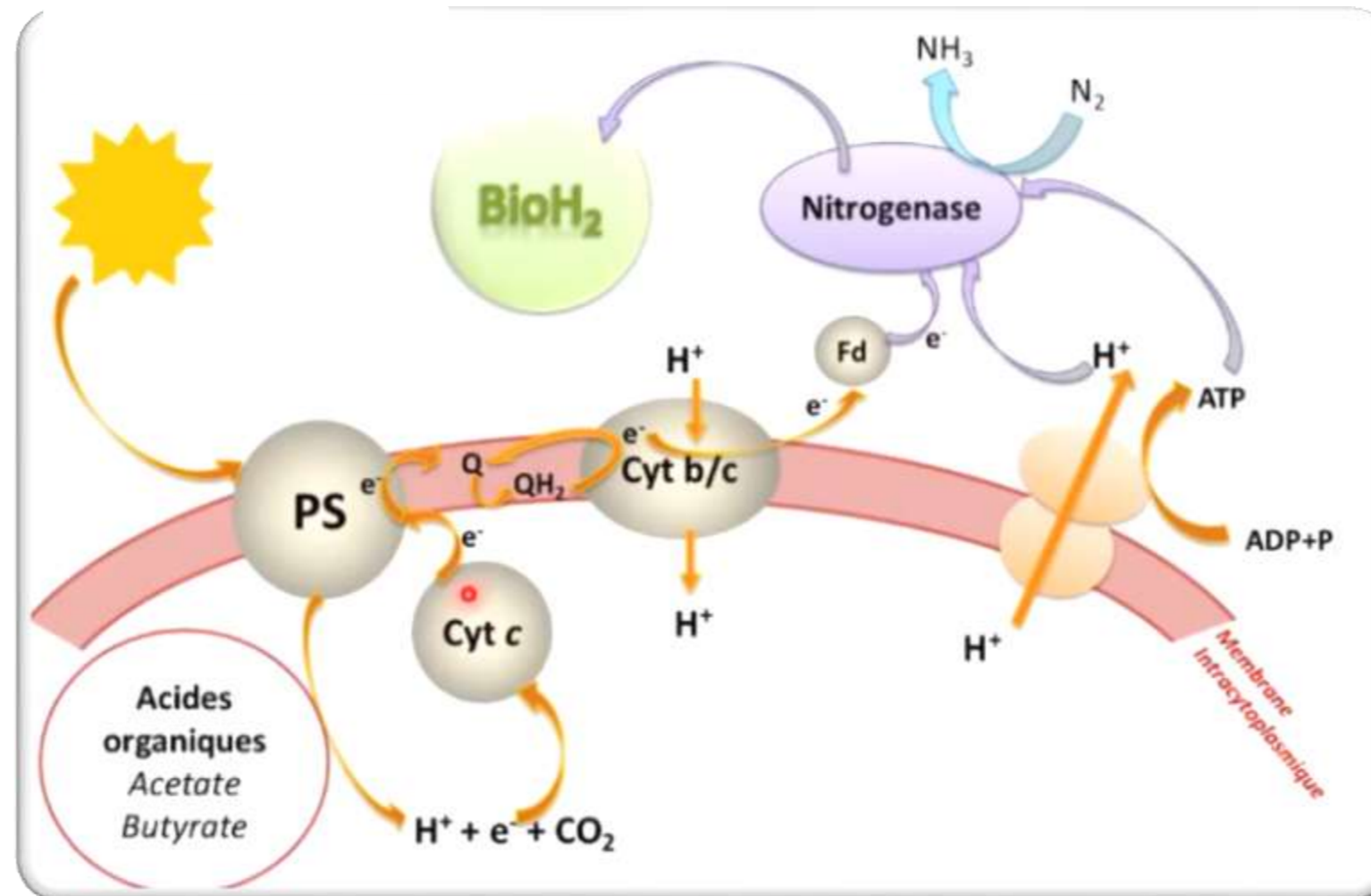
# Fotofermentación

- Proceso bajo condiciones anaeróbicas las bacterias fotosintéticas realizan una fotosíntesis anóxicas, transforman de materia orgánica en hidrógeno
- Actúan principalmente las bacterias púrpuras (PNS)
- Rhodospseudomonas y Rhodobacter
- O. heterótrofos, fototróficas y captan la energía de la luz mediante bacterioclorofilas y carotenos que le dan el color.
- Requieren fuente de carbono como fuente de electrones.
- No lo captan CO<sub>2</sub> del aire como las plantas verdes sino que utilizan una gran variedad de compuestos orgánicos como fuente de carbono
- Fuente de carbono muy diversa, ácidos grasos, azúcares, aminoácidos.





# Fotofermentación



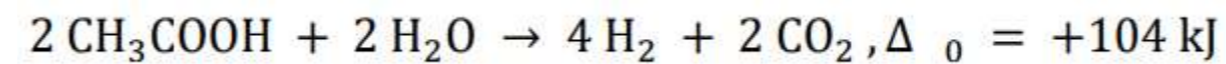
Fuente: PUCV, [Dra. Javiera Toledo](#)





# Fotofermentación

- Ejemplo: Reacción de conversión de Ac. Acético a Hidrógeno



- Reacción NO espontánea, requiere energía externa
- Las bacterias toman la energía necesario de la luz
- Nitrogenasa, enzima responsable en la producción de hidrogeno gaseoso

Transforma nitrógeno en amoníaco captando protones y liberando hidrogeno molecular

- La nitrogenasa se inhibe por la presencia de amoníaco y de oxígeno

El oxígeno es extracelular, se debe asegurar condición anaeróbica

El amoníaco es producto de actividad de la enzima en presencia de Nitrógeno, por lo que se buscan condiciones limitantes de Ni

Los electrones provienen de la oxidación de sustrato orgánico a través del ciclo de Krebs, donde se liberan protones y CO2 junto con electrones.

Electrones se transportan a la nitrogenasa en una seguidilla de reacciones oxidación/reducción empleando portadores de electrones (ferredoxina, nicotinamida adenina dinucleotido)



# Fotofermentación

- Los microorganismos en la Fotofermentación principalmente son mesófilos
- pH neutro a ligeramente básico (6-9)
- Concentración microbiana óptima: 0,5 a 0,7 gr/L
- Requerimiento de extensas superficies
- Sustrato favorito de las PNS son AGV como acético, butírico, málico
- Proceso en consecuencia a un proceso de Fermentación Oscura para mejorar rendimientos en la producción de hidrógeno



Fuente: Biotech Magazine, 2016



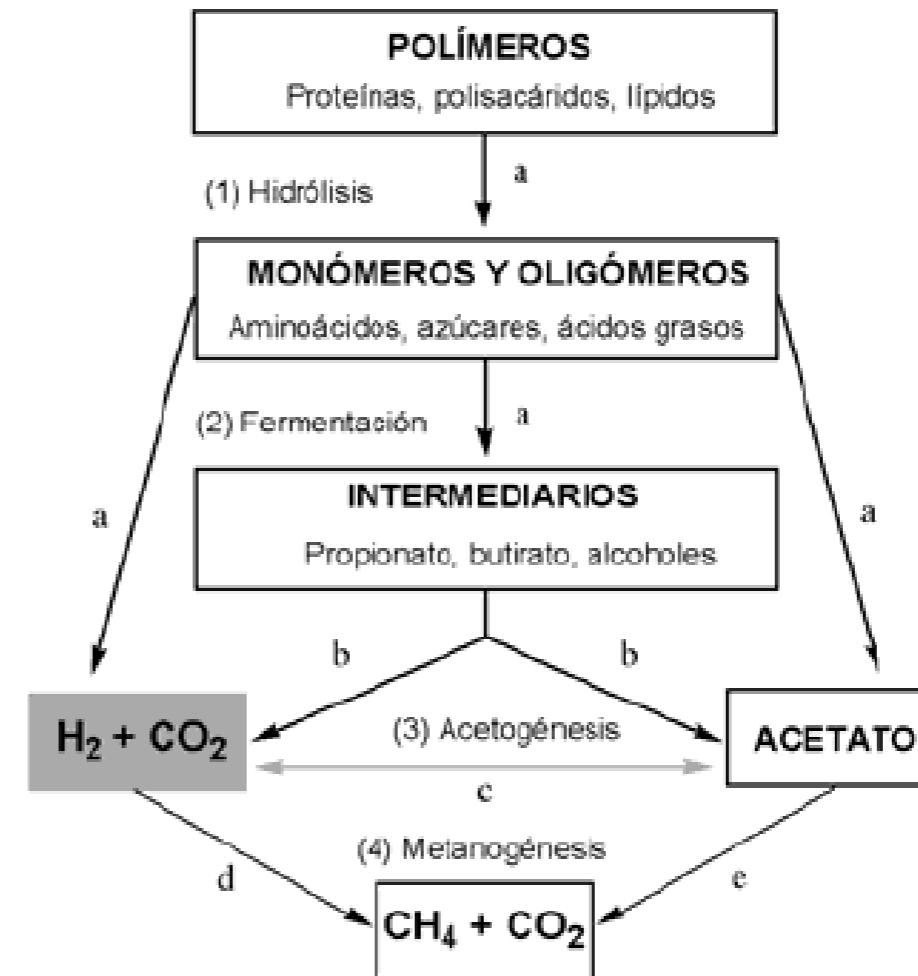
Fuente: Carbon BioCapture LLC



# Fermentación Oscura

# Fermentación Oscura

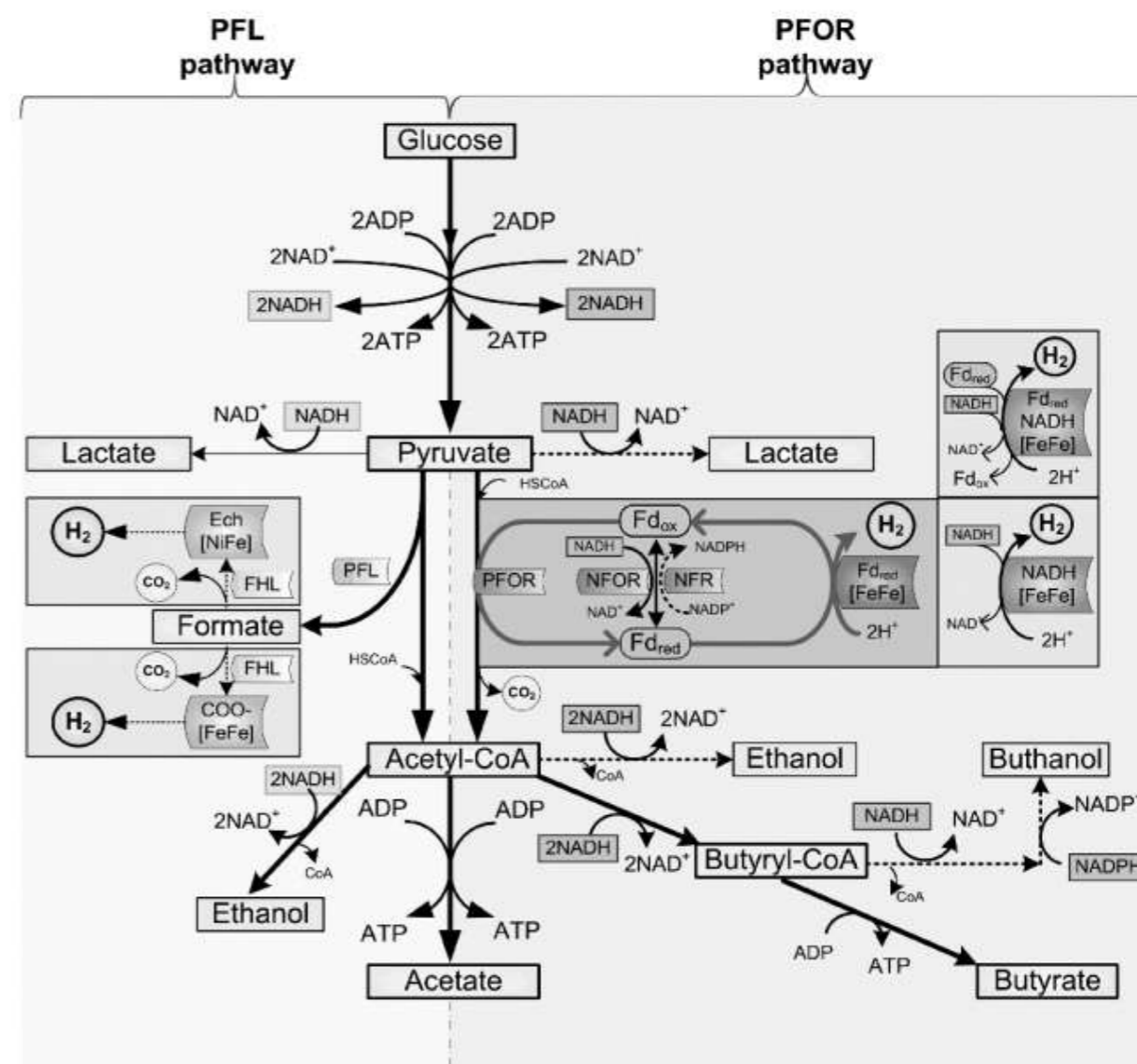
- Se produce por la acción de variadas colonias de microorganismos que no necesitan luz para realizar el proceso fermentativo, similares a los empleados en procesos de D.A. para la obtención de biogás.
- La principal ventaja es la amplia variedad de sustratos que se pueden utilizar para la obtención de biohidrógeno. En general residuos orgánicos, azúcares, residuos alimentarios, riles, Lodos PTAS, Purines de animales, etc...
- Hay una valorización de los residuos orgánicos, clave para la transición hacia una economía circular.



<https://www.researchgate.net/publication/259781183>

# Fermentación Oscura

- Diferentes rutas metabólicas según microorganismo.
- En la realidad el biohidrógeno corresponde a un subproducto de un proceso de fermentación de materia orgánica en distintos ácidos grasos.



Fuente: CIEMAT



# Fermentación Oscura

- Como el biohidrógeno se puede producir de diversas maneras, dependiendo del tipo moo se emplean consorcios mixtos de moo. Con esto se logra:
  - Menores costos operacionales,
  - Menores exigencias en su manejo,
  - Una mayor diversidad de sustratos a emplear.
- La falta de selección de moo trae como consecuencias agentes consumidores de hidrógeno:
  - Estimular el crecimiento microbiano de mayor interés,
  - Manejan las variables de proceso.



# Fermentación Oscura

## Variables:

- Proceso anaeróbico; oxígeno acción inhibitoria.
- $T^a$ , mesófilos (25-45 °C), termófilos (45-65 °C), termófilos extremos (65-80 °C), hipertermófilos (> 80°C).
- pH, 5-7. <5 se inhibe proceso metanogénico que consume hidrógeno, también limita la capacidad de las bacterias de controlar el medio intracelular.
- Es fundamental extraer el hidrógeno en la medida que se produce para evitar inhibición del proceso.



# Fermentación Oscura

- Método de producción biológica con mayor futuro:
  - Mayor productividad y rendimiento de biohidrógeno,
  - Versatilidad en el uso de sustratos,
  - Se lleva a cabo independiente a la luz,
  - Requerimientos energéticos son menores,
  - Posibilidad de tener un proceso secuencial con una segunda etapa de fotofermentación





# Comentarios Finales

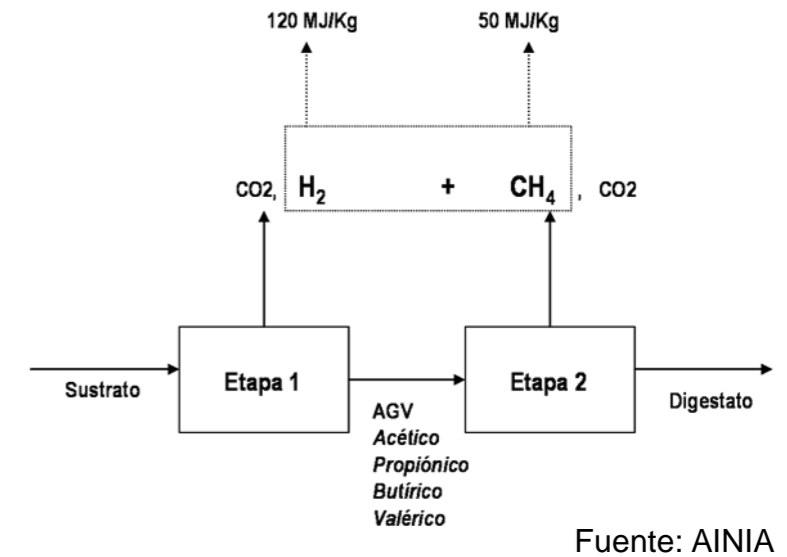


# Comentarios Finales

- Las vías biológicas de producción de hidrógeno actualmente se encuentran en una etapa de I+D.
- La velocidad y volumen de producción son muy reducidos en comparación a otros procesos de fuentes renovables.
- Biohidrógeno tiene un gran potencial bajo un modelo de economía circular, en el cual los residuos orgánicos son aprovechados y reintegrados en la cadena de valor.
- La producción de biohidrógeno fermentativo es considerada una manera de valorización energética de biomasa residual.

# Comentarios Finales

- El proceso mas prometedor es a través de la vía fermentativa, en especial al considerar procesos fermentativos secuenciales, primero fermentación oscura y luego fotofermentación.
- Actualmente se ha estimado que la producción de biohidrógeno por medio de la fermentación oscura presenta un costo de 50 US\$/kg H<sub>2</sub>.
- En comparación con otros procesos como el SMR 1 – 2 US\$/kg H<sub>2</sub>, o el hidrogeno proveniente de la electrólisis en torno a 4 – 6 US\$/kg H<sub>2</sub>.
- En este sentido es interesante considerar el SMR usando metano renovable, el que ofrece grandes beneficios.



# Comentarios Finales

- SMR es una tecnología madura.
- En mercados más desarrollados, los procesos de D.A. son procesos con huella de carbono negativa, así se puede ver en la DIRECTIVA (UE) 2018/2001 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, relativa al uso de energía procedente de fuentes renovables.
- El H2 proveniente de CH4 renovable es
- considerado renovable.
- Hoy existe tecnología acorde.

Valores típicos y valores por defecto para biometano

Sistema de producción de biometano	Opción tecnológica	Emissiones de gases de efecto invernadero, valores típicos (g CO <sub>2</sub> eq/MJ)	Emissiones de gases de efecto invernadero, valores por defecto (g CO <sub>2</sub> eq/MJ)
Biometano de estiércol húmedo	Digestato en abierto, sin combustión de los gases desprendidos (?)	-20	22
	Digestato en abierto, con combustión de los gases desprendidos (?)	-35	1
	Digestato en cerrado, sin combustión de los gases desprendidos	-88	-79
	Digestato en cerrado, con combustión de los gases desprendidos	-103	-100

Fuente: Luis Puchades ppt



# Referencias

- (1) Producción biológica de hidrógeno por vía fermentativa: Fundamentos y perspectivas  
[https://www.researchgate.net/publication/259781183\\_Produccion\\_biologica\\_de\\_hidrogeno\\_por\\_via\\_fermentativa\\_Fundamentos\\_y\\_perspectivas](https://www.researchgate.net/publication/259781183_Produccion_biologica_de_hidrogeno_por_via_fermentativa_Fundamentos_y_perspectivas)
- (2) PRODUCCIÓN DE BIOHIDRÓGENO A PARTIR DE MICROALGAS  
[https://www.researchgate.net/publication/305317868\\_PRODUCION\\_DE\\_BIOHIDROGENO\\_A\\_PARTIR\\_DE\\_MICROALGAS](https://www.researchgate.net/publication/305317868_PRODUCION_DE_BIOHIDROGENO_A_PARTIR_DE_MICROALGAS)
- (3) Sergio Andrés Blanco Londoño, Tatiana Rodríguez Chaparro, Producción de biohidrógeno a partir de residuos mediante fermentación oscura: una revisión crítica (1993-2011), Revista chilena de ingeniería, vol. 20 N° 3, 2012, pp. 398-411
- (4) Bedolla, Castrillon, Ramirez, Vasquez, Zavala PRODUCCIÓN BIOLÓGICA DE HIDRÓGENO: UNA APROXIMACIÓN AL ESTADO DEL ARTE, Dyna, Año 75, Nro. 154, pp. 137-157. Medellín, Marzo de 2008. ISSN 0012-7353
- (5) Contreras Pérez, José Bernardino, Scott, José A., Mendoza, Carmen Leticia, Espinal, Georgina, Zapata, Zoraida Potencial de algas verdes para la producción fotobiológica de hidrógeno. Ciencia y Sociedad [en línea]. 2008, XXXIII(3), 307-326[fecha de Consulta 16 de Junio de 2021]. ISSN: 0378-7680. Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87011545001>
- (6) Doménech Martínez , TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO BASADAS EN MÉTODOS BIOLÓGICOS, Ciemat, diciembre 2020
- (7) Dra. Javiera Toledo, ppt Bio-hidrógeno: Contexto y alternativas de producción biológica, escuela de Ingeniería Bioquímica – PUCV, Chile, 2020



# Hidrógeno Verde

Oportunidades & Aplicaciones

Curso gratuito en modalidad online