



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Producción del combustible hidrógeno a partir de residuos orgánicos

cDra. Virginia Montiel Corona

montiel@xanum.uam.mx

zeltzin24.vm@gmail.com



Contenido

- **Introducción**
- **Fuentes de biomasa**
- **Métodos termoquímicos de producción de H₂**
- **Métodos biológicos de producción de H₂**
- **Viabilidad económica, ambiental y tecnológica**
- **Conclusiones**



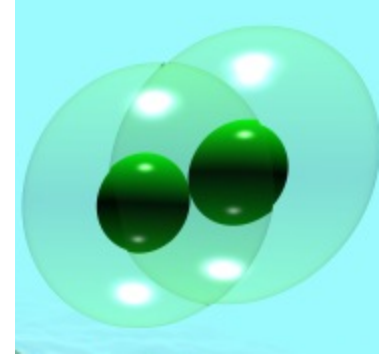
Introducción



**Eólica, solar, mareomotriz,
geotérmica, hidroeléctrica,
biodiesel, bioetanol e hidrógeno**



H₂ alternativa prometedora

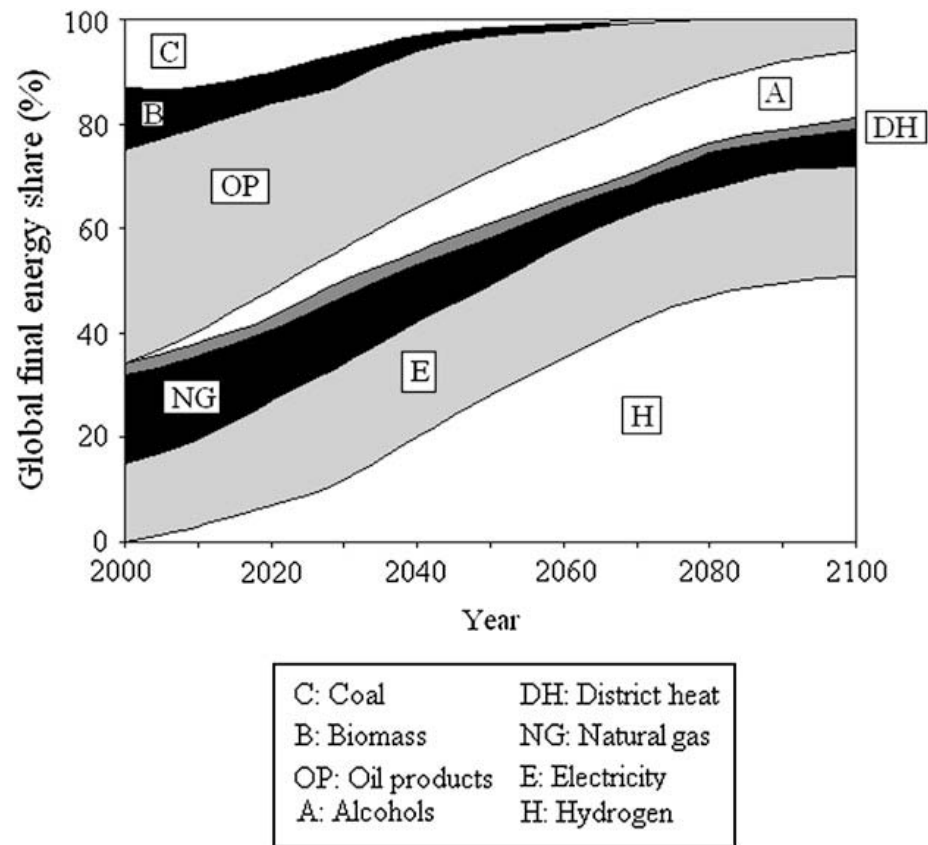


- Alto contenido energético (en base a masa)
- Combustible limpio, sin emisiones de CO_x, SO_x y NO_x

Propiedades clave para hidrógeno y otros combustibles

Tipo de combustible	Energía por unidad de masa (J/Kg)	Energía por unidad de volumen (J/m ³)	Emisiones de carbono (Kg C/Kg combustible)
Hidrogeno líquido	141.9	10.1	0.00
Hidrogeno gaseoso	141.9	0.013	0.00
Gasolina	47.4	34.85	0.86
Etanol	29.9	23.6	0.50
Bio diesel	37.0	33.0	0.50
Gas natural	50.0	0.04	0.46

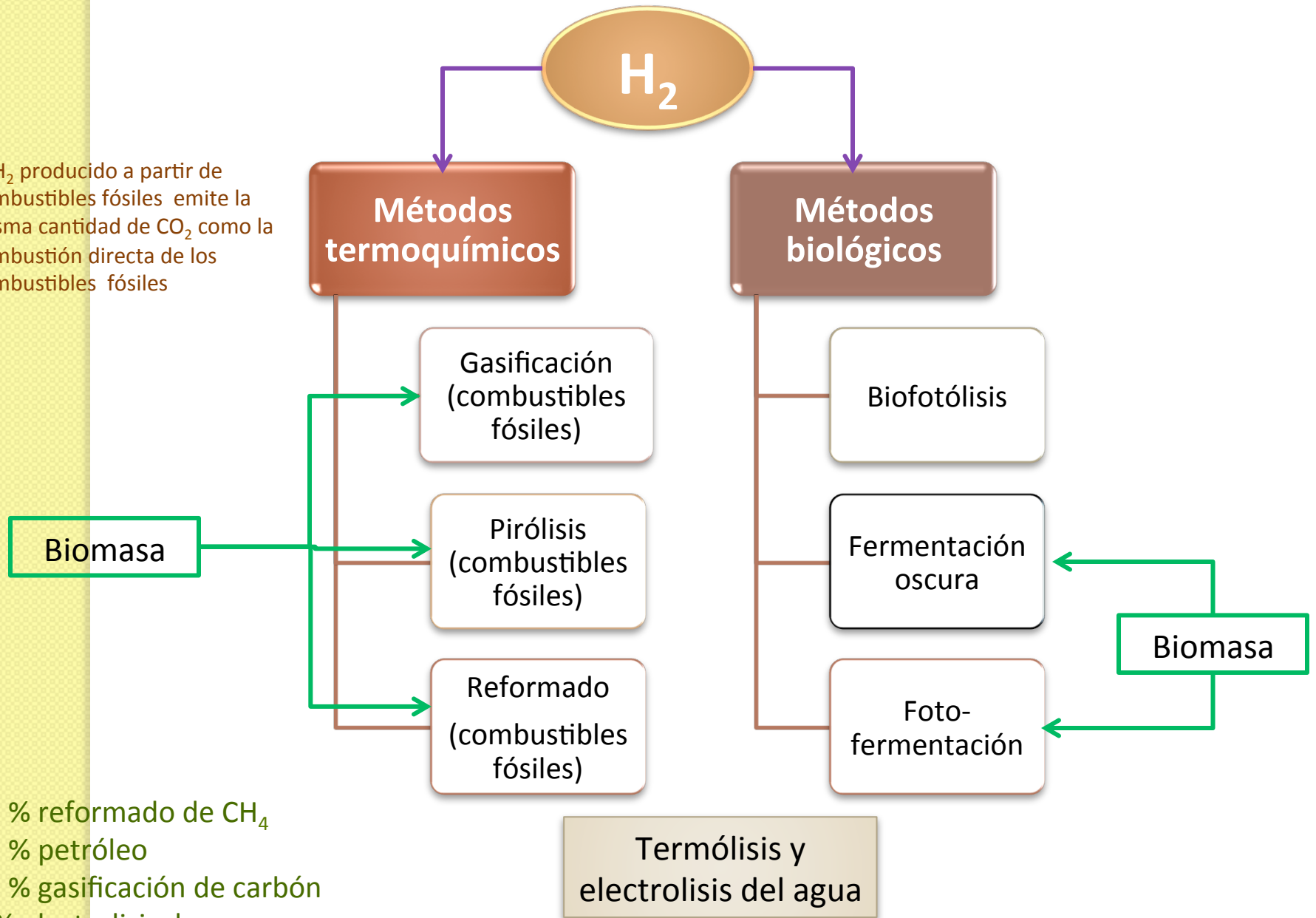
- **Vector energético. El hidrógeno jugará un papel importante como un medio de almacenamiento y transporte de energía renovables**
- **Se ha proyectado que se tendrá una conversión completa a una economía basada en hidrógeno para el 2050**



Evolution of global market shares of different final energy carriers for the period 1990–2100
 Source: Balat *et al.*, 2010.

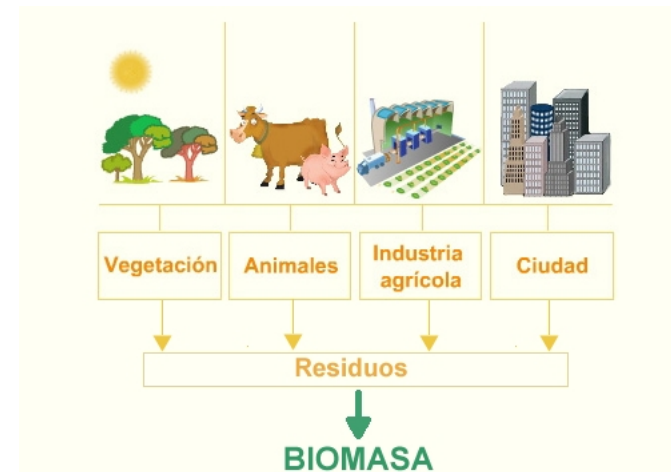
El H₂ producido a partir de combustibles fósiles emite la misma cantidad de CO₂ como la combustión directa de los combustibles fósiles

48 % reformado de CH₄
30 % petróleo
18 % gasificación de carbón
4 % electrolisis de agua



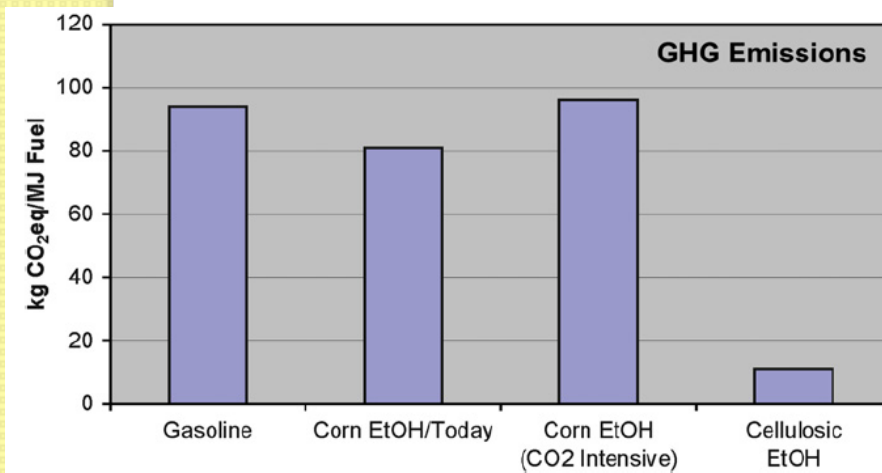
Fuentes de biomasa

1. Cultivos energéticos
2. Los residuos agrícolas
3. Residuos forestales de tala de árboles y limpieza de la tierra
4. Residuos industriales y municipales, así como los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales

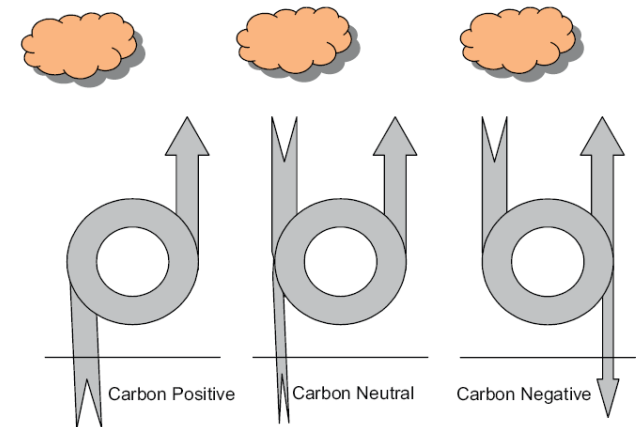


Impacto ambiental

- La biomasa se considera una fuente de energía carbono-neutro
- Algunos estudios recientes han sugerido que el uso de biocombustibles a partir de cultivos energéticos puede aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con el uso de combustibles fósiles. Esta afirmación se basa en los cambios de uso del suelo causada por el creciente uso de biocombustibles y el aumento consiguiente de la tierra agrícola requerida para satisfacer tanto las necesidades alimentarias y de combustible.



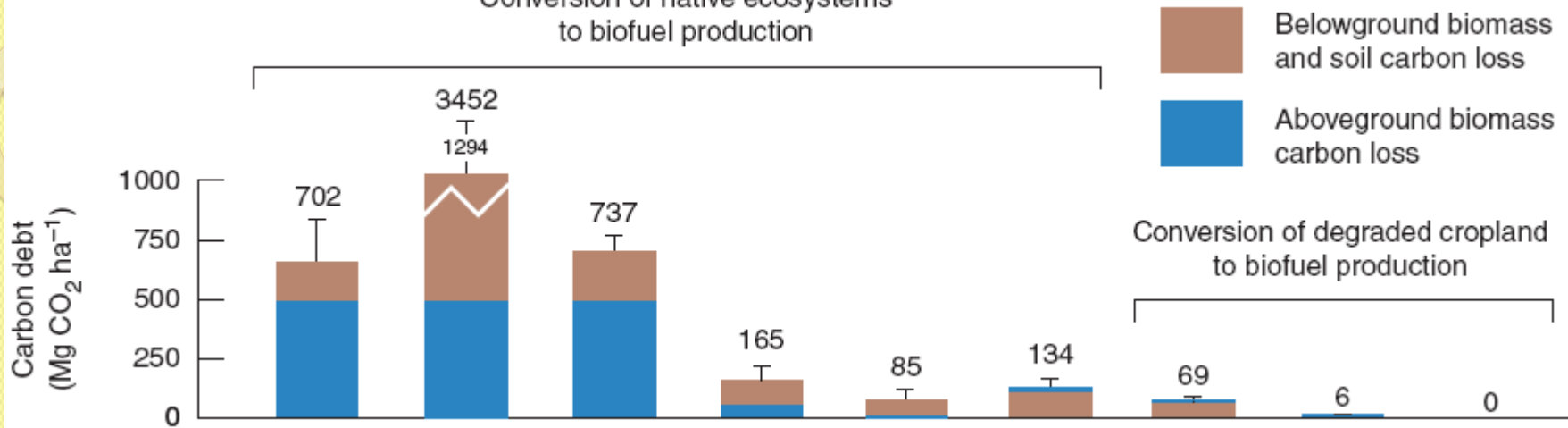
Fuente: Farrel *et al.*, 2008



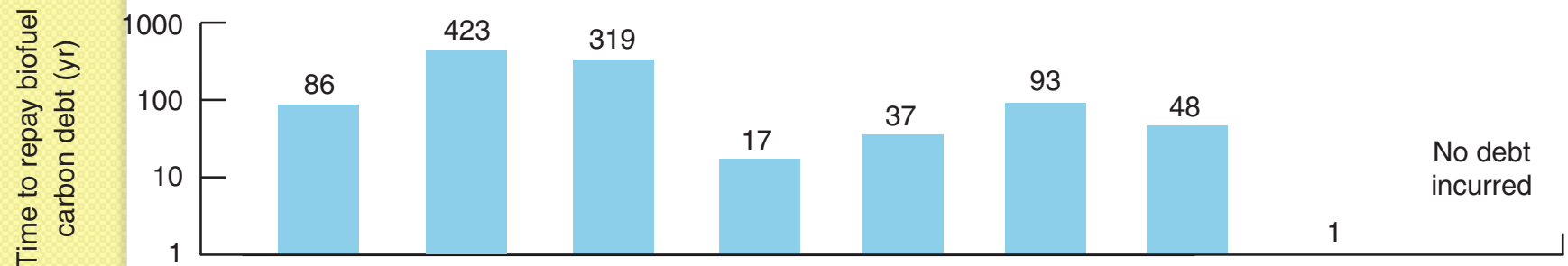
Fuente: Mathews J. A. 2008

“Deuda de carbono” originada por el tipo de biocombustible y por tipo de tierra en que se produce

Conversion of native ecosystems to biofuel production

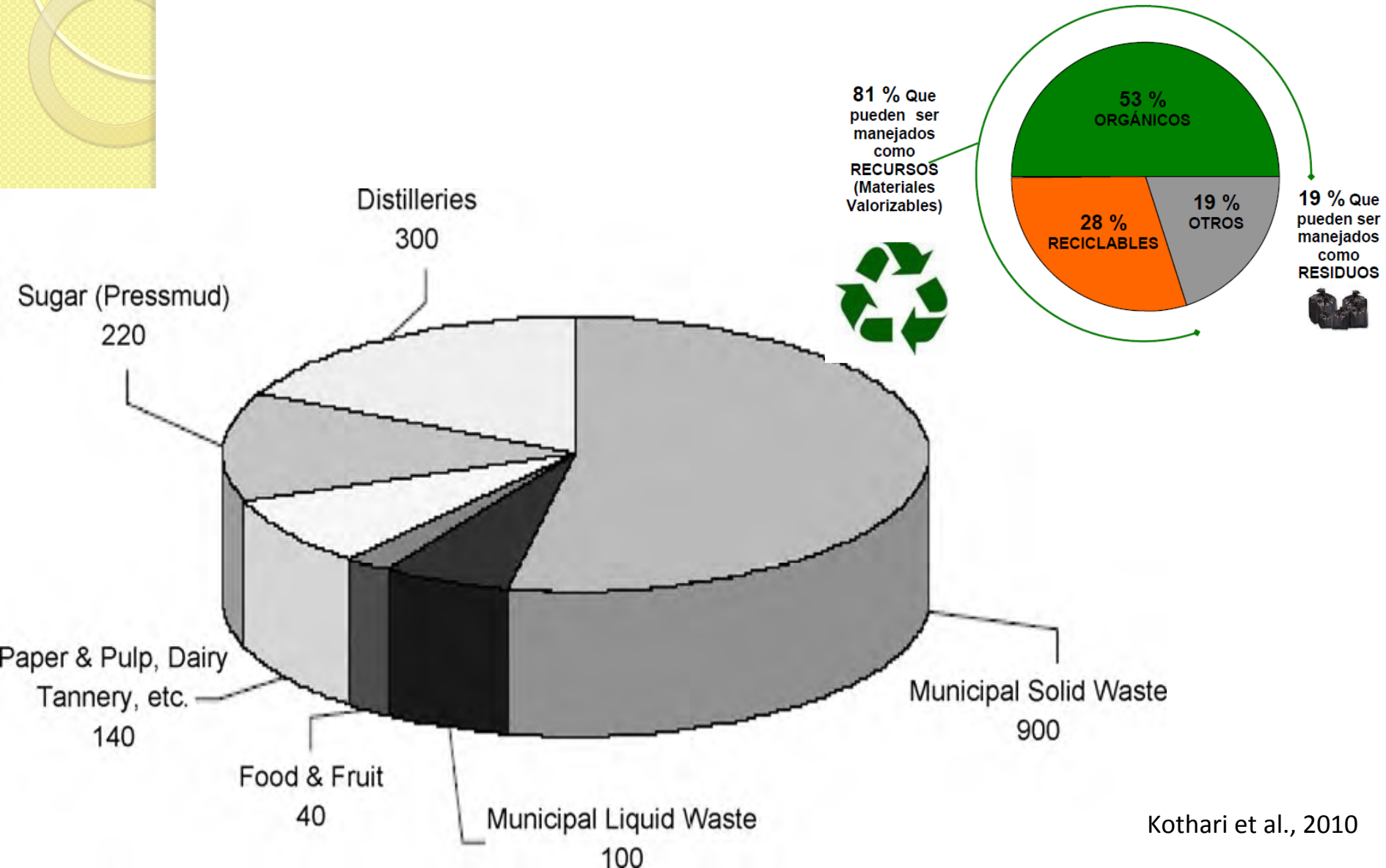


Conversion of degraded cropland to biofuel production



Time to repay biofuel carbon debt (yr)	86	423	319	17	37	93	48	No debt incurred	1
Biofuel	Palm biodiesel	Palm biodiesel	Soybean biodiesel	Sugarcane ethanol	Soybean biodiesel	Corn ethanol	Corn ethanol	Prairie biomass ethanol	Prairie biomass ethanol
Former ecosystem	Tropical rainforest	Peatland rainforest	Tropical rainforest	Cerrado wooded	Cerrado grassland	Central grassland	Abandoned cropland	Abandoned cropland	Marginal cropland
Location	Indonesia/Malaysia	Indonesia/Malaysia	Brazil	Brazil	Brazil	US	US	US	US

Recuperación potencial de energía (MWe) de diferentes residuos



Algunos datos que sirven para tener una idea del volumen de residuos que generan diferentes tipos de industrias son los siguientes:

- **la industria de la cerveza solamente utiliza el 8% de los componentes del grano, el resto 92%, es un residuo;**
- **la industria del aceite de palma utiliza el 9%, el 91% restante es un residuo;**
- **la industria del café utiliza el 9.5%, el 90.5% restante es un residuo y**
- **la industria del papel utiliza menos del 30%, el resto es un residuo.**

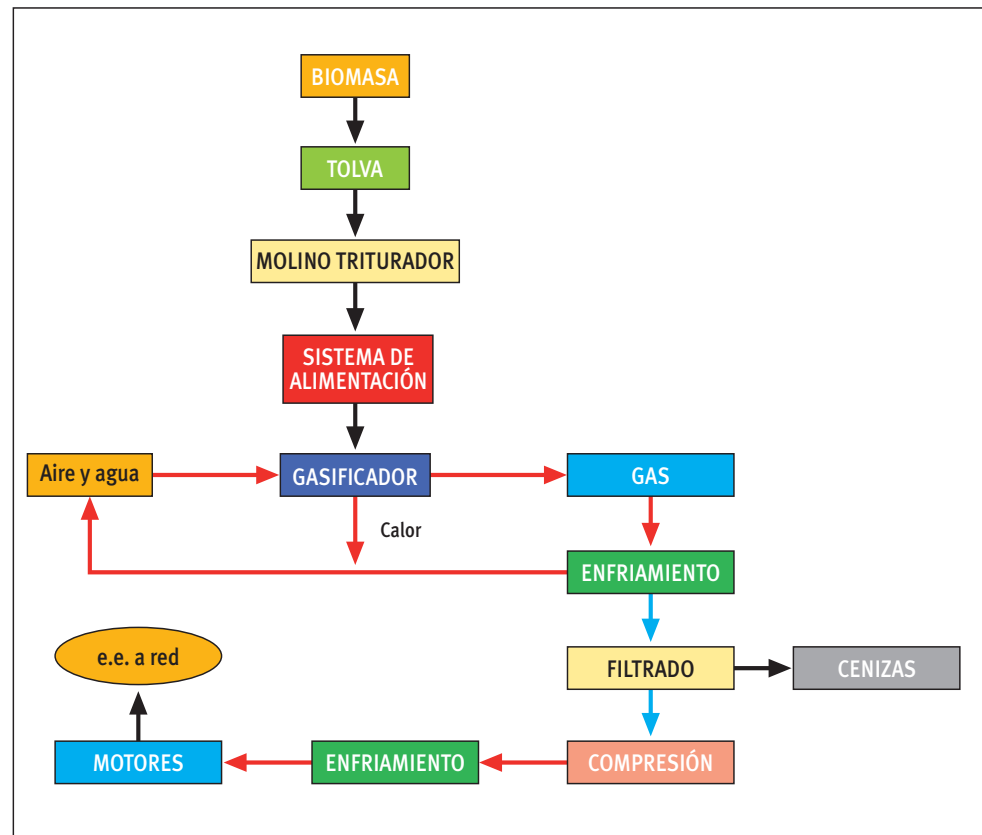
En 2006 en México se produjeron 75.73 millones de toneladas de materia seca residual proveniente de 20 cultivos (maíz, sorgo, caña de azúcar, trigo, frijol, entre otros).

Saval, 2012.

La materia prima representan del 36 al 62% del costo final de producción de hidrógeno

Métodos termoquímicos de producción de hidrógeno a partir de biomasa

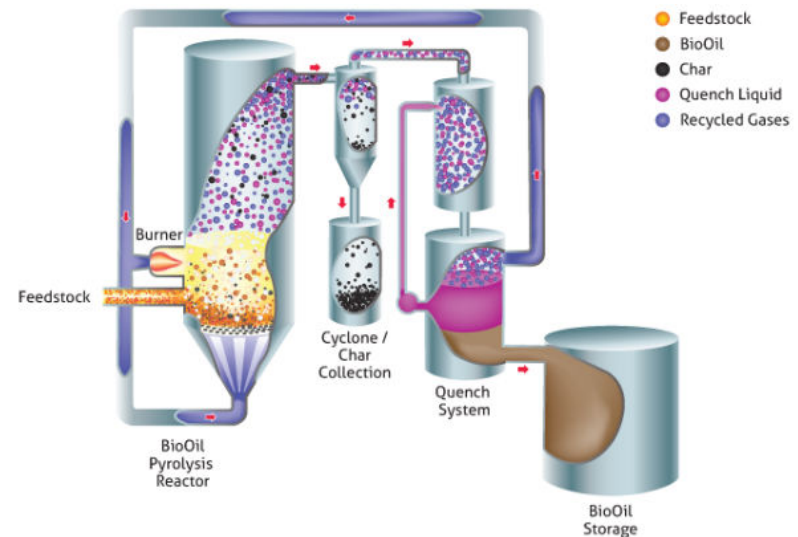
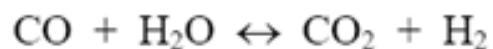
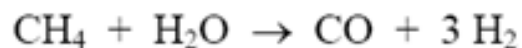
La pirólisis y la gasificación de la biomasa, son los dos principales procesos termoquímicos disponibles para convertir la biomasa en hidrógeno.



Pirólisis de biomasa

- La pirólisis es la conversión de la biomasa en aceites líquidos, carbón sólido, y productos gaseosos. Las temperaturas implicadas están típicamente en el intervalo de 650-800 K a una presión de 1-5 bar, y la velocidad de la reacción y la temperatura determinan el tipo de pirólisis.

- $C + 2H_2O \rightarrow 2H_2 + CO_2$
- $C + H_2O \rightarrow H_2 + CO$
- $CH_4 + 2H_2O \rightarrow 4H_2 + CO_2$
- $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$
- $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 + CO$



$$\Delta H = 206 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H = - 41.2 \text{ kJ/mol}$$

GASIFICACIÓN

Las principales etapas durante la gasificación son:

Secado.

Calentamiento de 100°C a 200 °C, que provoca evaporación del agua contenida



Pirólisis (ruptura por calor), en la que se rompen las moléculas grandes dando lugar a otras de cadena más corta que, a la temperatura del reactor, están en fase gaseosa. (350 y 500 °C).



carbón, cenizas, vapores de agua y una mezcla de compuestos condensables de alto peso molecular, gases como CO, CO₂, H₂ hidrocarburos de bajo peso molecular.



Oxidación. Los productos de pirólisis (vapores condensables y no condensable y carbón) son sometidos a gasificación, donde son parcialmente oxidados. (1100 °C).



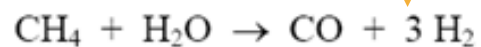
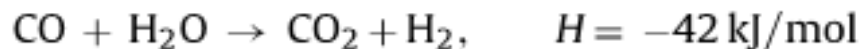
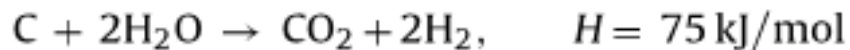
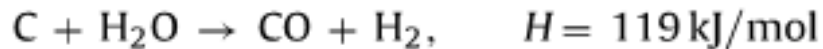
Reducción. Los gases se reducen de forma permanentes en la zona de reducción.

Reacciones

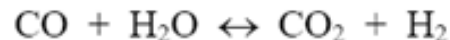
Oxidation zone



Reduction zone



$$\Delta H = 206 \text{ kJ/mol}$$



$$\Delta H = -41.2 \text{ kJ/mol}$$

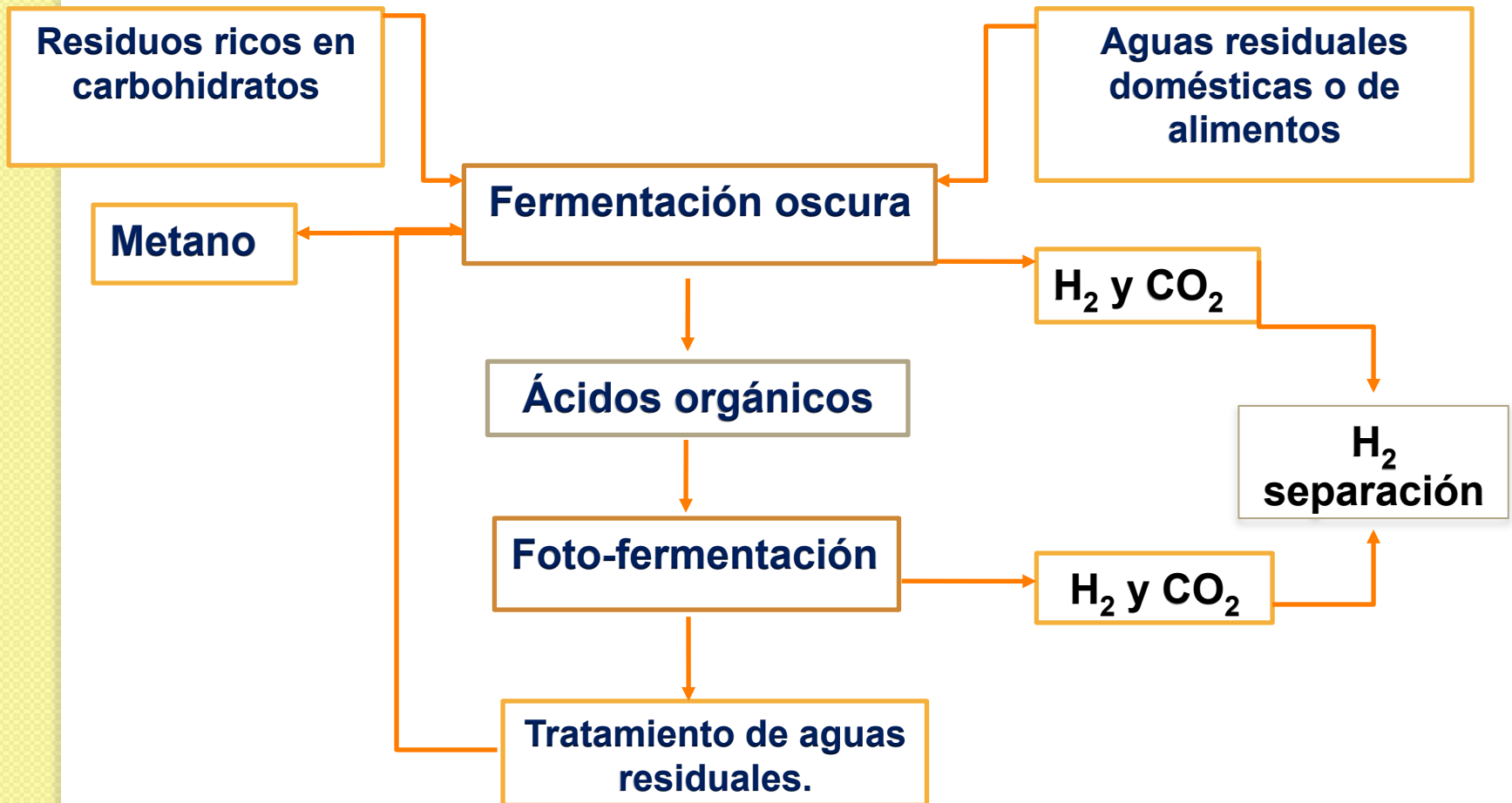
Composición típica del producto gaseoso en la gasificación

Reactor type	Gas composition (vol% dry)					Calorific value (MJ/m ³)
	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	N ₂	
Fluidized bed, air-blown	9	14	20	7	50	5.4
Updraft, air-blown	11	24	9	3	53	5.5
Downdraft, air-blown	17	21	13	1	48	5.7
Downdraft, oxygen-blown	32	48	15	2	3	10.4
Pyrolysis reactor	40	20	18	21	1	13.3

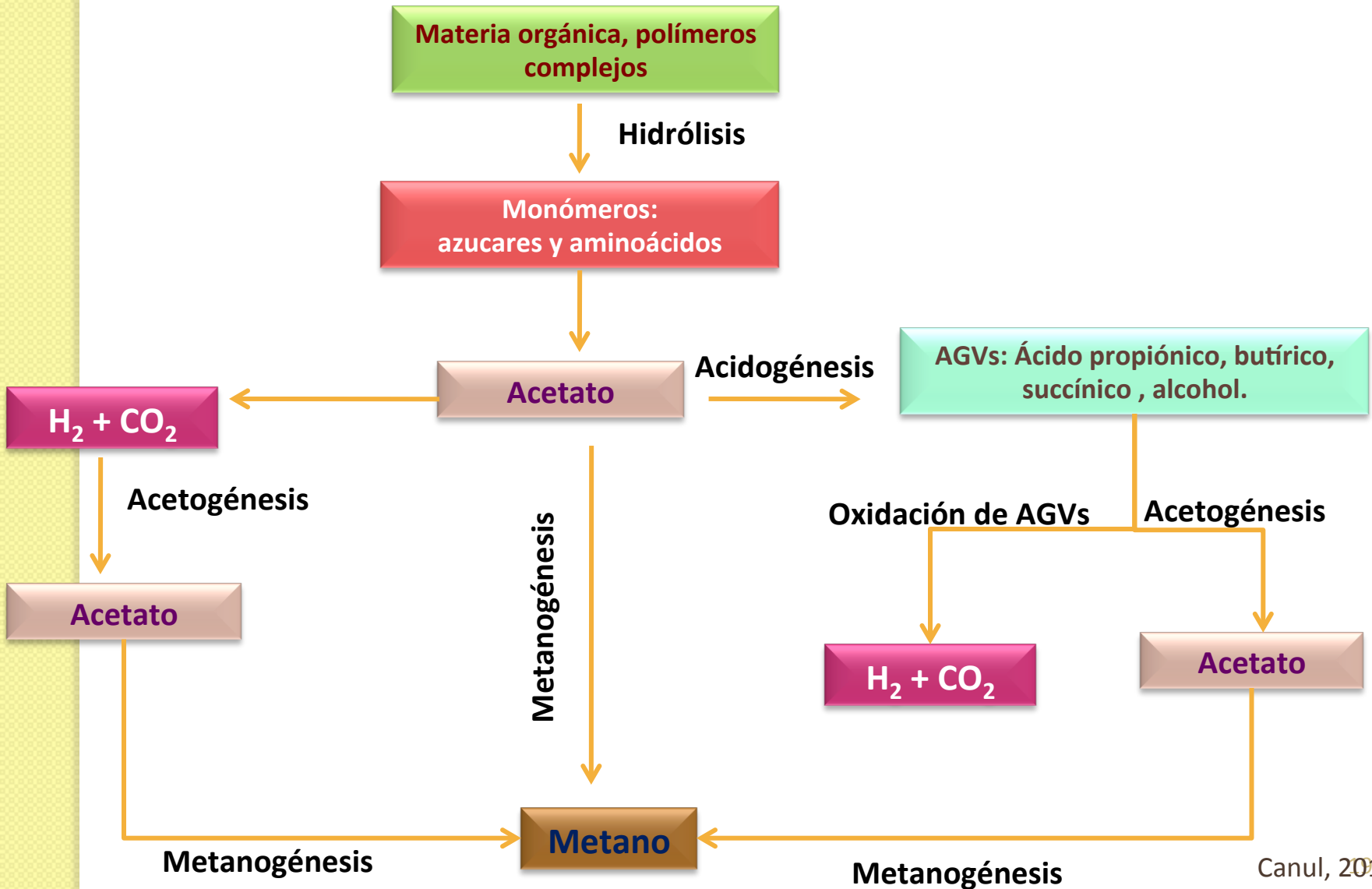


Métodos biológicos de producción de hidrógeno

Producción de H₂ en dos etapas a partir de residuos orgánicos

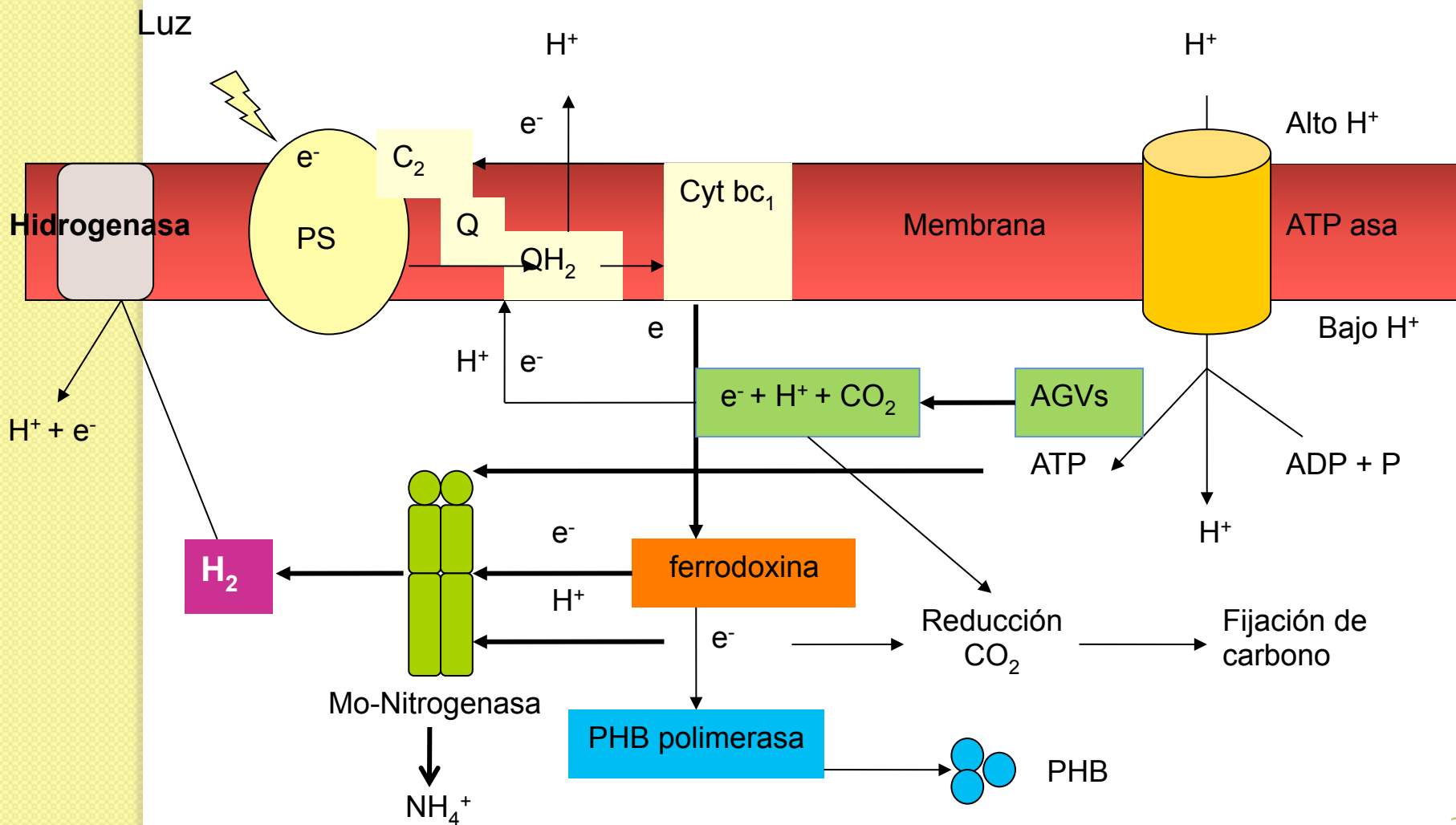


Producción de hidrógeno por fermentación oscura



Producción de hidrógeno por fermentación luminosa

Rhodobacter sphaeroides, *Rhodobacter capsulatus*, *Rhodospirillum rubrum* y *Rhodopseudomonas palustris*

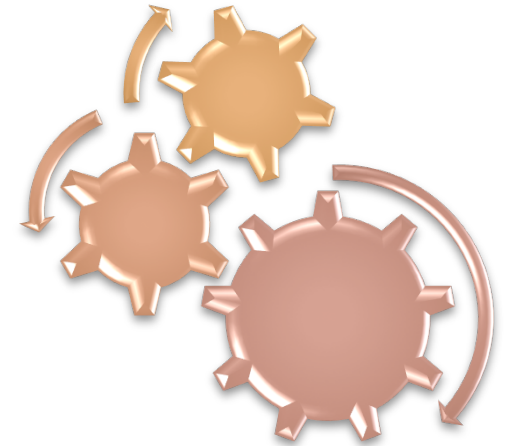


Rendimientos de producción de hidrógeno en proceso secuencial fermentación oscura – foto fermentación

Sustrato	Inóculo. F. oscura	Inóculo. F. luminosa	F. oscura (mol H ₂ /mol glucosa)	F. luminosa (mol H ₂ /mol glucosa)	Modo de operación F.osc./ F. lum.	Ref.
Sacarosa (17.8 g/L)	Clostridium pasteurianum	R. palustris WP3-5	1.9	3.22	Lote/lote	[1]
Almidón de papa dulce (10 g/L)	C.butyricum y Enterobacter aerogenes HO-39	R. sphaeroides M-19	2.4	4.6	Lote/Lote	[2]
Melaza de remolacha (15 g/L)	Caldicellulosi-ruptor saccharolyticus	hup-mutant of R.capsulatus	2.1	4.75	Lote/Lote	[3]
Almidón de mandioca (10.4 g/L)	Mezcla de bac. Anaerobias (principalmente Clostridium)	Rhodobacter palustris	2.53	3.54	Lote/Lote	[4]
Trigo (10g/L)	Lodo anaerobio	Rhodobacter sphaeroides (NRRL-B1727)		0.45 mol H₂/mol acetato	Continuo/ continuo	[5]
Papa	Lodos activados	R. capsulatus B10	0.7	4.9	Lote/Lote	[6]

1. Dasgupta *et al.*, 2010; 2. Yokoi *et al.*, 2001; 3. Ozgur *et al.*, 2010; 4. Cheng *et al.*, 2010; 5. Ozmihci *et al.*, 2010; 6. Laurinavichene *et al.*, 2010.

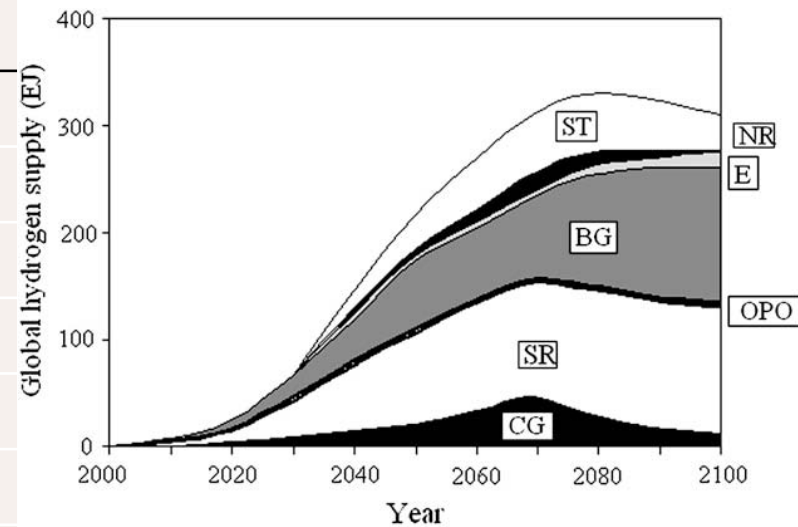
Viabilidad económica, ambiental y tecnológica



Viabilidad económica

Costo estimado de la producción de hidrógeno por fuentes convencionales y energías alternativas

Método	US \$/kg Balat <i>et al.</i> , 2009
Reformado de metano	0.78
Gasificación de carbón	1.41
Gasificación de biomasa	1.24
Pirólisis de biomasa	1.26
Electrolisis (convencional)	2.88
Electrolisis (solar)	4.29
Electrolisis (viento)	3.5
Electrolisis (nuclear)	4.36
Producción fotobiológica	3.77



ST: Solar thermal	OPO: Oil partial oxidation
NR: Nuclear reactors	SR: Steam reforming of natural gas
E: Electrolysis	CG: Coal gasification
BG: Biomass gasification	

Reformado de metano \$1

Fermentación \$ 2-4

Chang *et al.* 2012

Viabilidad económica

En cuanto al costo de producción de hidrógeno por fermentación oscura y fotofermentación hay muy poca información

Análisis del valor para la comercialización de la producción fermentativa de hidrógeno a partir de biomasa

para aumentar el valor de un sistema de tratamiento de aguas residuales



para realizar específicamente la producción de hidrógeno



Viabilidad ambiental y económica

Comparison of biohydrogen production processes

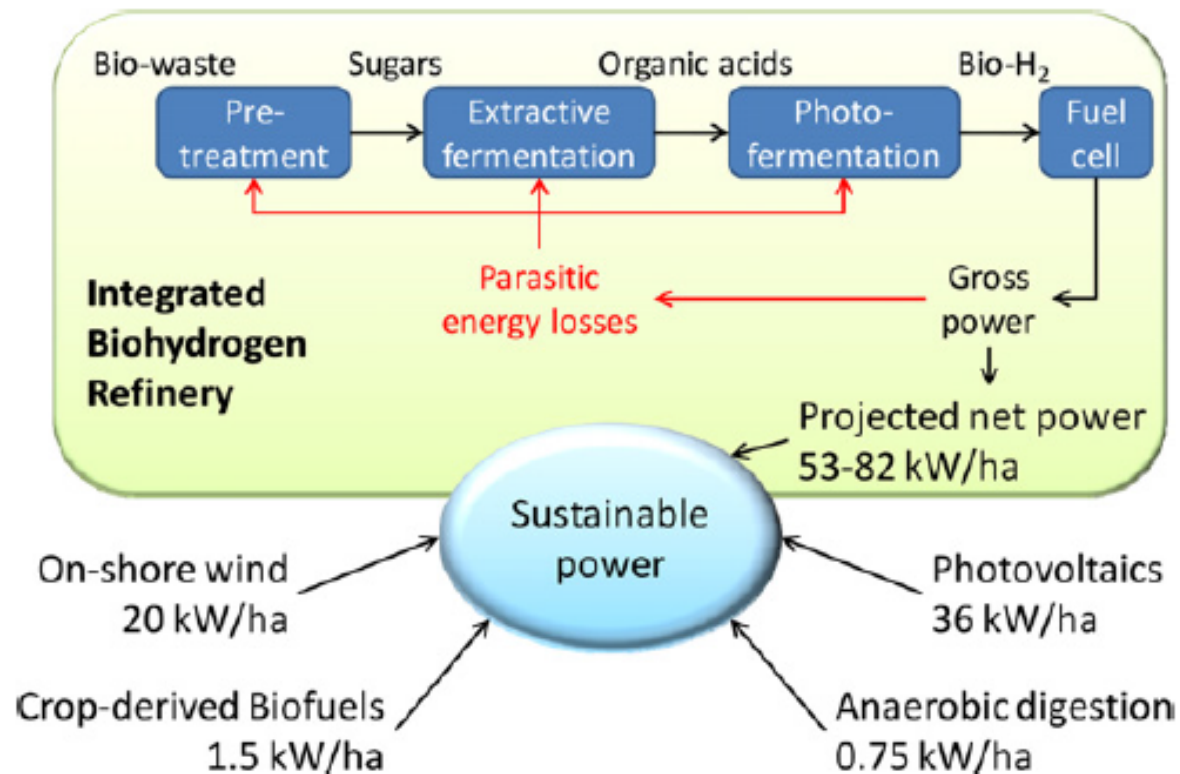
S. Manish, Rangan Banerjee. International Journal of Hydrogen Energy 33 (2008) 279 – 286

Results of net energy analysis (per kg of hydrogen production)

Process	Case 1: Without by-products				Case 2: With by-products		
	GHG (kg CO ₂)	Non-renewable energy use (MJ)	Energy efficiency (%)	Net energy ratio	GHG (kg CO ₂)	Non-renewable energy use (MJ)	Energy efficiency (%)
Steam methane reforming	12.8	188	64	0.64	12.8	188	64
Dark-fermentation	5.5	61.7	9.6	1.9	-87	-1060	89.1
Photo-fermentation	3.5	40.1	25.6	3.0	-21.9	-247.5	82.3
Two-stage process	3.4	39.3	27.2	3.1	-19.5	-218.2	81.6
Biocatalyzed electrolysis	5.3	64.8	25.7	1.8	-17.5	-180	76.8

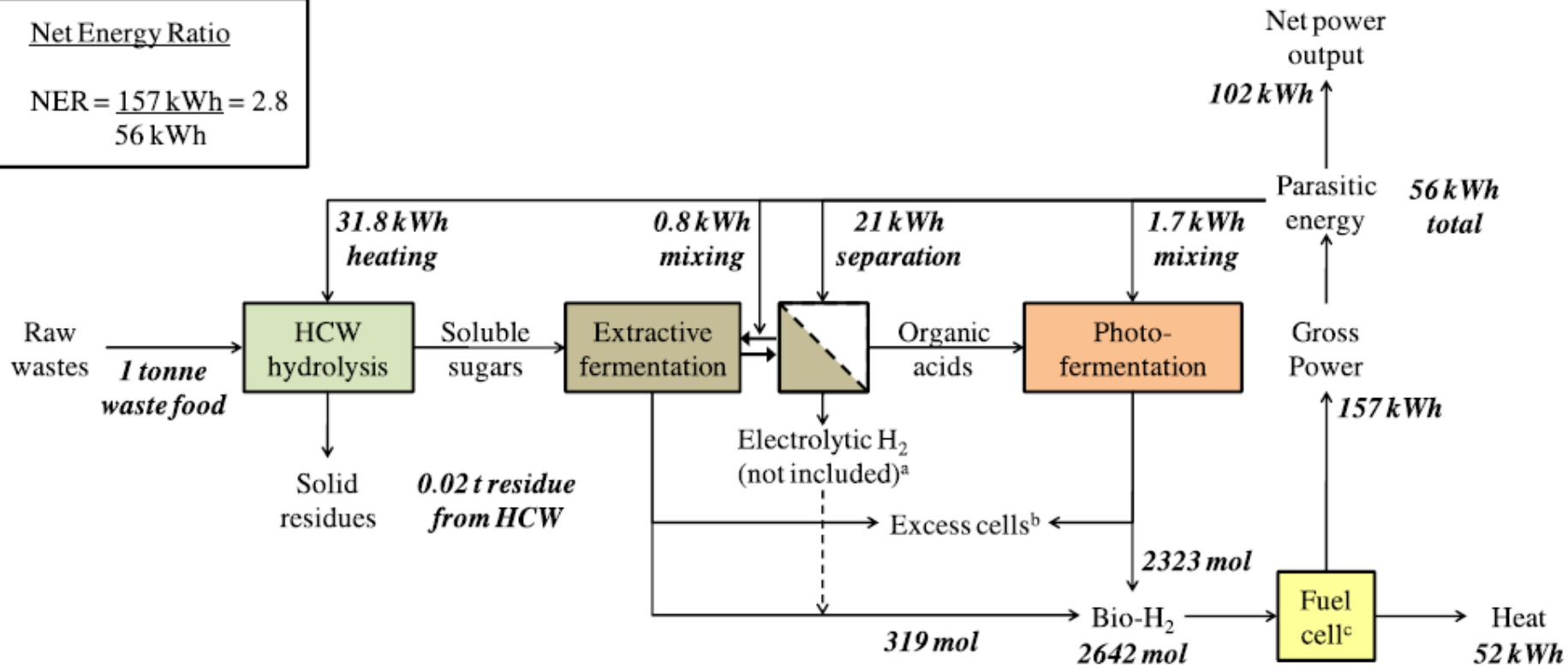
An integrated biohydrogen refinery: Synergy of photofermentation, extractive fermentation and hydrothermal hydrolysis of food wastes

M. D. Redwood, R. L. Orozco, A.J. Majewski, L. E. Macaskie. *Bioresource Technology* 119 (2012) 384–392



Net energy analysis of an integrated biohydrogen refinery (IBHR) using pre-treatment by HCW and extractive fermentation

Net Energy Ratio
 $NER = \frac{157 \text{ kWh}}{56 \text{ kWh}} = 2.8$



Viabilidad ambiental

- Métodos biológicos
- Los procesos puede operar a presión y temperatura ambiente, y son energéticamente menos intensivos y más amigables ambientalmente.
- Emisiones de CO₂
- Métodos termoquímicos
- Los procesos operan a altas temperaturas y presiones, por lo que son energéticamente intensivos y menos amigables con el ambiente.
- Emisiones de CO₂

El costo de la captura de CO₂ representa cerca del 25–30% adicional al costo de producción de hidrogeno por SMR.

Pirolisis y gasificación

En Europa operan comercialmente algunas plantas de gasificación, por ejemplo, en Noruega, Finlandia, Alemania y Francia.

Thermoselect en Alemania tuvo que cerrar en 2004 luego de años de mal funcionamiento, problemas operativos y grandes emisiones de sustancias tóxicas.

Una planta gasificación en Wollongong, Australia, operada por la empresa Brightstar Environmental, cerró luego de cuatro años de mal funcionamiento y de liberar emisiones de sustancias tóxicas por encima de los límites permitidos.

Similares problemas tuvo la planta piloto de gasificación por plasma en la ciudad de Ottawa, Canadá. La empresa no había logrado mantener el nivel de emisiones de sustancias tóxicas por debajo de los límites reglamentarios.

Otro caso reciente es la planta de gasificación en la Isla de Wight, en el Reino Unido, que dejó de operar en julio de 2010 por superar en ocho veces los límites legales de emisiones de dioxinas.

Viabilidad tecnológica

- La pirolisis y la gasificación cuentan con una tecnología bien conocida y desarrollada
- En cuanto a los métodos biológicos, por el momento y en el corto plazo la fermentación oscura es el único proceso factible de escalar.

Conclusiones

Los residuos biomásicos son la mejor opción como materia prima para la producción de hidrógeno.

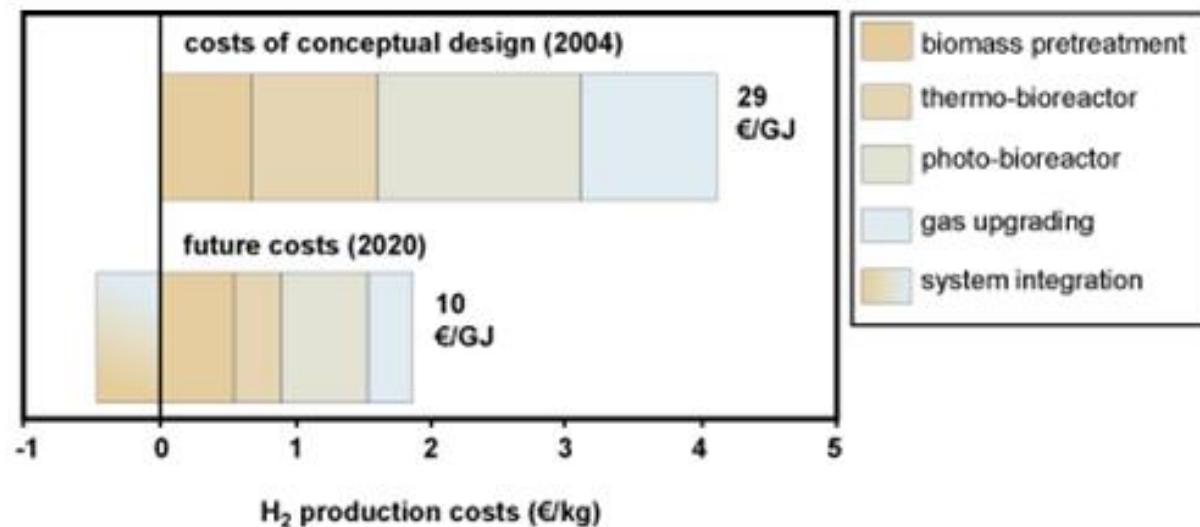
La producción de H₂ en el corto plazo a partir de biomasa será por métodos termoquímicos. Sin embargo su producción por métodos biológicos bajo un esquema de biorrefinería tiene mayores ventajas ambientales, no obstante todavía se encuentran en fase de desarrollo.

HYVOLUTION

Non-Thermal Production of Pure Hydrogen from Biomass

is a European Union 6th framework integrated project that aims to develop such a sequential two-stage bioprocess for the cost-effective production of pure hydrogen at small scale from locally obtained biomass feedstock.

Assembled efforts in HYVOLUTION aimed at a reduction in production costs of hydrogen from biomass in 2020

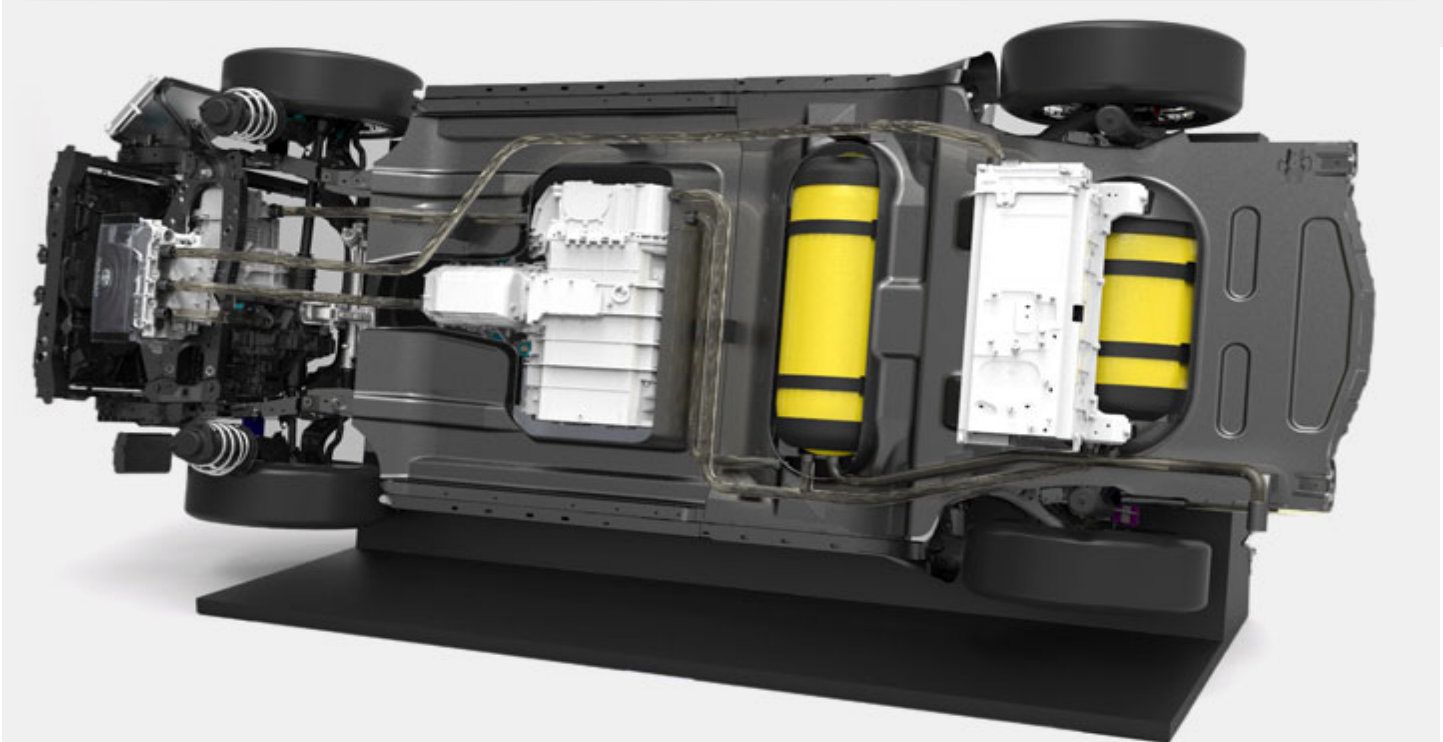


Please select the participants name for more information

Research institute
University
Industry



TOYOTA



HYUNDAI



Por su atención gracias!

montiel@xanum.uam.mx
zeltzin24.vm@gmail.com

